

ECLIPSES SOLARES EN ESPAÑA (1000-2005)

Manuel Vázquez Abeledo
3 enero 2025

CONTENIDO

PRÓLOGO.....	7
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS.....	9
Los tres protagonistas.....	9
Los eclipses cíclicos (Saros).....	12
Tipos de Eclipses solares	16
Conos de una eclipse.....	19
Eclipse Solar Total paso a paso	21
Observando un eclipse	24
Óptica del ojo humano	25
Retinopatía de Newton	26
Radiometría y Fotometría	29
TELESCOPIOS Y FILTROS.....	35
La cámara oscura	35
Observaciones históricas del Sol con telescopio	36
Logística.....	39
CAPÍTULO II: ECLIPSES HISTÓRICOS (Una selección)	43
China.....	44
El Oriente Bíblico (Mesopotamia)	44
Egipto.....	46
Grecia	52
Geometría y Matemáticas	54
ECLIPSES HISTÓRICOS EN ÉPOCA CIENTÍFICA.....	57
1612 mayo 30	57

1715: La primera predicción físico-matemática	58
1919: El eclipse de Einstein.....	60
Eclipses en la España, insular y continental (900-1700)	64
Año 939 julio.....	64
1239 junio 3	65
1354 El eclipse híbrido del 17 de septiembre.....	67
Eclipses vistos desde Canarias (siglos XIV- XV)	68
CAPÍTULO III: EL SIGLO XVIII.....	73
1706 Mayo 12	73
1753 Octubre 26	77
1778 Junio 24.....	79
CAPÍTULO IV: ECLIPSES EN ESPAÑA SIGLO XIX	89
1842 JULIO 8	89
LA FOTOGRAFÍA	91
Los colodiones fotográficos	94
Positivos fotográficos.....	95
1860 Julio 18 EL NACIMIENTO DE LA ESPECTROSCOPIA	96
1878 Julio 29 UN ECLIPSE EN LA CUBA ESPAÑOLA	169
1900 Mayo 28 EL FINAL DEL SIGLO.....	173
CAPÍTULO V: ECLIPSES EN ESPAÑA SIGLO XX	203
1905 Agosto 30: El eclipse Real	203
1912 EL ECLIPSE GALLEGO HÍBRIDO	275
1952 ECLIPSE EN GUINEA ECUATORIAL	295
1959 EL ECLIPSE TOTAL CANARIO	301

1973 ECLIPSE PARCIAL EN EL ROQUE E IZAÑA.....	312
2005 El eclipse anular reciente del siglo XXI	321
CAPÍTULO VI: EL FINAL DE LOS ECLIPSES	327
Momento angular y su ley de conservación.....	329
Variaciones de la Rotación a la Escala de Miles de años	334
Variaciones de la rotación a la escala de Millones de años.....	336
Época actual	340
Consecuencia sobre los eclipses.....	343

PRÓLOGO

Cuando este libro vea la luz, nos estaremos acercando al año 2026. Entonces en España se iniciará una serie de eclipses solares, dos totales y uno anular, que pondrán de actualidad el tema.

La Comisión Nacional de Astronomía ha creado el *Comité Nacional del Eclipse* que tendrá como misión coordinar los esfuerzos que se hagan al respecto. No es nuestra intención solapar esfuerzos sino más bien complementar. Al fin y el cabo también los eclipses pasados nos pueden enseñar algo para organizar los venideros, aunque somos conscientes que las circunstancias sociales y acceso a medios de captación de imágenes han cambiado substancialmente. Tengo más dudas sobre el conocimiento científico del fenómeno.

Siguiendo los conceptos de los filósofos socráticos los objetos que vemos en el Cielo no tienen imperfecciones y son de forma circular. Poco a poco numerosos casos se fueron acumulando sobre la mesa, incluso antes del descubrimiento del telescopio.

Manchas a simple vista fueron observados sobre el Sol, cometas de forma extraña aparecían frecuentemente y no se conocía si pertenecían o no a nuestra atmósfera.

Sin embargo, algo despertó el interés tanto a políticos como a científicos. El Sol y la Luna parecían colisionar en el Cielo provocando momentos de oscuridad que llenaba a la gente de inquietud. Las consecuencias eran comunes a otras imperfecciones celestes: males de salud y muertes. La predicción detallada de un eclipse por E. Halley en 1715 vino a marcar una nueva época, aunque siempre quedaba algún residuo de miedos ancestrales.

El primer capítulo se dedica, como en muchos libros de divulgación científica, a una introducción sobre los mecanismos que gobiernan los eclipses y su frecuencia (los saros). Trataremos de las precauciones que se deben tomar para ver un eclipse a simple vista. La retinopatía es la principal enfermedad producida por tal exposición solar.

A partir de aquí entramos en una narración cronológica. En el capítulo segundo lo hacemos sin centrarnos en España. China y Mesopotamia fueron los primeros lugares donde surgió la civilización y por lo tanto en tener interés en observar el cielo. Caso especial lo constituye Egipto con su dios alado y el período de Akhenaton con su Dios único, el disco solar Atón. Grecia fue la primera en preguntarse por la razón de los fenómenos de la Naturaleza y sobre todo en enseñar a otros lo que habían aprendido.

Con el siguiente capítulo iniciamos la narración de los eclipses españoles en el siglo XVIII. Poca repercusión científica tuvieron, salvo la observación en el Atlántico del de 1788, por A. Ulloa, y el descubrimiento del resplandor rojizo de la cromosfera.

Lo que no tuvo de científico el siglo XVIII lo tuvo el siguiente. El eclipse de 1860 supuso la aplicación de la fotografía. Ello nos permite ir describiendo en paralelo los avances en esta nueva forma de detectar la luz, método que sería el utilizado hasta la última década del siglo XX.

El siglo XX tiene dos eclipses fundamentales, el de 1905 en la zona del Mediterráneo y el de 1959 visible en una parte importante de las Islas Canarias, y del cual hay numerosos testigos. Fuerteventura y Las Palmas fueron los principales lugares de observación. A continuación, incluimos el observado parcialmente el 30 de junio de 1973, por haber sido fotografiado durante una de las primeras campañas de prospección en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Finalmente concluimos con el de 1999, que a pesar de no haber sido observado como total en España, tuvo un carácter europeo, que atrajo el interés de la sociedad española a todos los niveles.

Finalmente, tratamos de un mecanismo operativo en nuestros días: el frenado de la rotación terrestre. La conservación del momento angular del sistema Tierra-Luna nos lleva a un progresivo alejamiento de nuestro satélite y la disminución del tamaño aparente de su disco. En un tiempo del futuro ya no tendremos Eclipses. A la escala de millones de años en que ocurrirá, puede que entonces tampoco haya Homo Sapiens para disfrutarlos.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS

Todo fluye, todo cambia, nada permanece
Heráclito (535-480 BCE, antes de la Era Común)

LOS TRES PROTAGONISTAS

Esta obra trata de la interacción entre tres protagonistas que son astros de nuestro Sistema Solar. Una estrella, nuestro Sol; un planeta, nuestra Tierra y un satélite, nuestra Luna.

No vamos a hablar de la génesis y evolución de estos astros, sino de sus movimientos.

El Sol: A todos los efectos el Sol está fijo en el centro del Sistema, enviando luz y calor a los planetas y satélites

La Tierra: Desde tiempos de Copérnico sabemos que gira en torno al Sol. Muestra un movimiento de traslación, 1 año con cuatro estaciones y de rotación, 24 horas, con el eje de rotación inclinado con respecto al plano de traslación.

Nuestro planeta describe alrededor del Sol una órbita elíptica con un perímetro de 940 millones de kilómetros, con una distancia promedio de 149 597870 km (Figura A-01), distancia que se conoce como unidad astronómica (U.A.). De esto se deduce que la Tierra se desplaza en el espacio exterior a una velocidad media de 107 227 km/h, o 29.8 km/s, en el plano de la eclíptica¹.

¹ Por ser la órbita elíptica y no circular, la velocidad no es constante, oscila entre 30.3 km/s de velocidad máxima en el perihelio y 29.3 km/s de velocidad mínima en el afelio

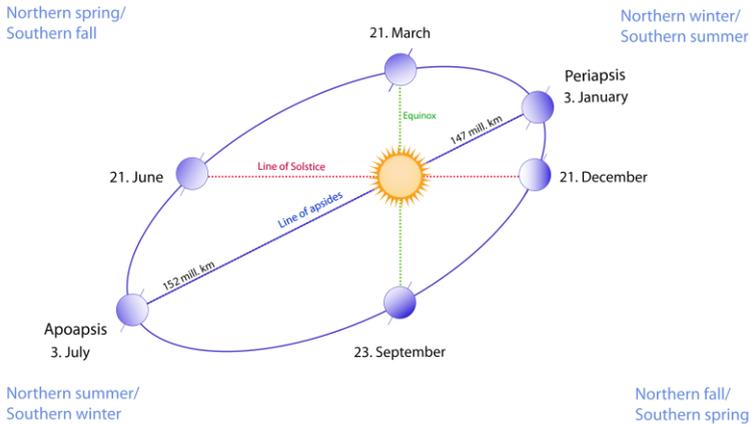


Figura A-01: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol, con los solsticios (21 junio y 21 diciembre) y los equinoccios (21 marzo y 23 de septiembre). La línea de los ápsides conecta el perihelio (3 de enero) y de afelio (3 julio). Las estaciones se alternan inversamente en los Hemisferios Norte y Sur.

La Luna: Satélite natural de la Tierra. Se encuentra en relación síncrona con la Tierra, siempre mostrando la misma cara hacia el planeta. Sin embargo, la iluminación es diferente, mostrando las conocidas como fases (Figura A-02)

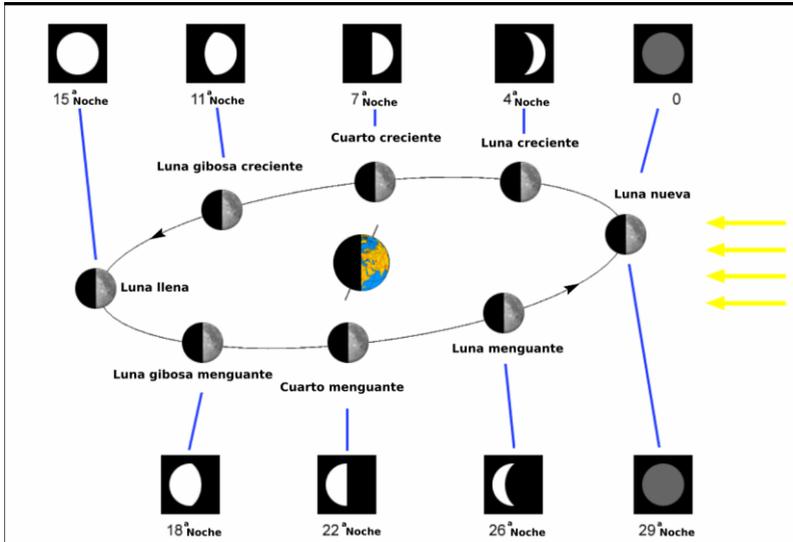


Figura A-02: Órbita de la Luna y fases vistas desde la Tierra

Debido a que la Luna completa una órbita alrededor de la Tierra aproximadamente cada veintiocho días y siete horas, que constituye el mes sideral, su posición cambia continuamente. Sin embargo, el tiempo que la Luna tiene para pasar por la misma fase es de veintinueve días y medio, periodo que se conoce como mes sinódico, que tiene el mismo período de una lunación. Esto se atribuye al hecho de que, al mismo tiempo que la Luna se mueve alrededor de la Tierra, ambos giran alrededor del Sol. Una vez que las fases se determinan por la posición de estos tres astros, el cambio en la posición causa que la Luna tenga que realizar poco más que una revolución para lograr la misma posición en relación con el planeta y el Sol.

A medida que realiza su órbita, la Luna se mueve en un promedio de 13° hacia el este en la esfera celeste a cada intervalo de un día. Esto implica que, a partir de la nueva Luna, el satélite quedará cada vez más distante del Sol, volviéndose más prominente

en la luna llena, cuando se encuentra frente al Sol. Más tarde, la Luna aparentemente se acerca al Sol, hasta que ocurre la Luna nueva. La posición y el horario en que la Luna se eleva en el horizonte varía de forma continua, principalmente debido a la inclinación de la órbita lunar, que es más de 5° a la línea ecuatorial que, a su vez, está inclinada más de 23° en relación con la eclíptica (Figura A-03).

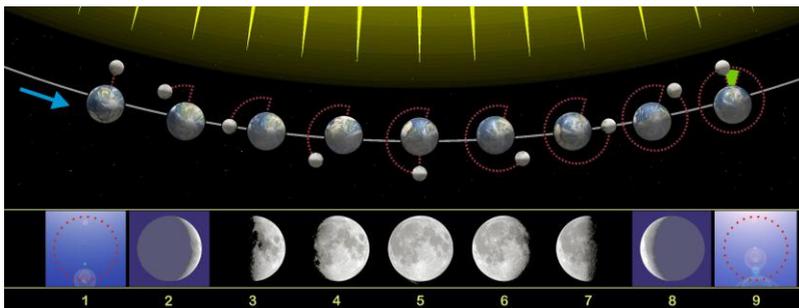


Figura A-03: Fases de la luna vistas desde el hemisferio norte, desde el hemisferio sur su secuencia es inversa. Al principio, está la Luna Nueva. Hay que considerar que, al final, lo destacado en verde representa la porción de la órbita de más que la Luna tiene que realizar para llegar de nuevo a la fase nueva, debido al movimiento de los dos astros alrededor del Sol.

LOS ECLIPSES CÍCLICOS (SAROS)

En su movimiento alrededor de la Tierra, la Luna se interpone en algunas ocasiones entre el Sol y nuestro planeta, ocultando el disco solar a nuestros ojos. Es lo que se conoce con el nombre de eclipse solar (Figura), que se debe a la afortunada coincidencia de que los diámetros aparentes de la Luna y el Sol, vistos desde la Tierra, sean prácticamente iguales (Tabla 1 - 1). Como señalábamos en el prólogo, fueron los eclipses los primeros acontecimientos astronómicos que se pudieron predecir, aunque

dicho conocimiento se mantuvo durante mucho tiempo al alcance de unos pocos.

Tabla 1-1: Diámetros aparentes del Sol y la Luna

	Máximo	Medio	Mínimo
SOL	32'35"	32'01"	31'31"
LUNA	33'31"	31'05"	29'22"

La Luna se mueve en una órbita elíptica alrededor de la Tierra con una distancia media de 384.400 kilómetros. Podemos pensar que la primera condición para un eclipse solar es que la Luna se encuentre entre el Sol y la Tierra, lo cual ocurre cada 29,5306 días (un mes sinódico) durante la fase de Luna Nueva.

Sin embargo, esto no es suficiente. El plano de traslación de la Luna forma un pequeño ángulo de $5^{\circ} 9'$ con la eclíptica lo que evita tener un eclipse cada Luna Nueva. *Llamamos nodos a los puntos de corte de las órbitas terrestre y lunar.* Para que tengamos un eclipse la luna debe de estar en uno de esos nodos (Figura A-04).

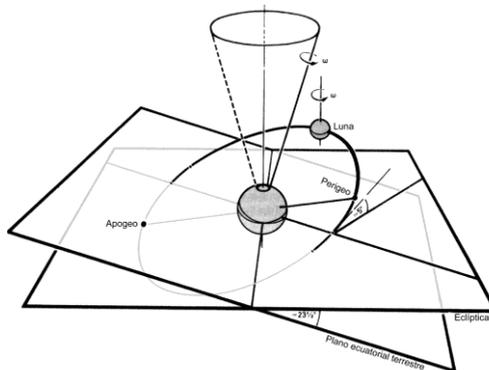


Figura A-04: Órbita de la Luna alrededor de la Tierra, Adaptado de Vázquez Abeledo (1998)

Si los nodos lunares permaneciesen fijos, con respecto a las estrellas, el nodo ascendente se alinearía entre el Sol y la Tierra en la misma época de cada año (lo mismo ocurriría con el descendente medio año más tarde en el otro extremo de la órbita).

Pero los nodos no están fijos ya que la línea que los une se mueve $360^\circ / 18.6 = 20$ grados cada año, lo cual hace que estas condiciones se den cada 346,62 días, un año de eclipse. De hecho, tenemos un margen de 18,75 días, alrededor de cada alineamiento de nodo para que se produzca el eclipse.

El año de eclipse no coincide con el período de traslación de la Tierra (Figura A-05), con lo que no se producirán eclipses en la misma época del año, sino cada 18 años y 11 días. Este período se conoce como un **Saro** y viene a equivaler a:

223 meses sinódicos (29,5306 días) = 6585,32 días

19 años de eclipse = 6585,78 días

Expresado de otra forma. El eje entre los nodos ascendente y descendente se llama la línea de los nodos. Esta línea se mueve de una forma retrógrada durante el movimiento de revolución lunar y retorna con un período de 18 años y 11 días: un Saro

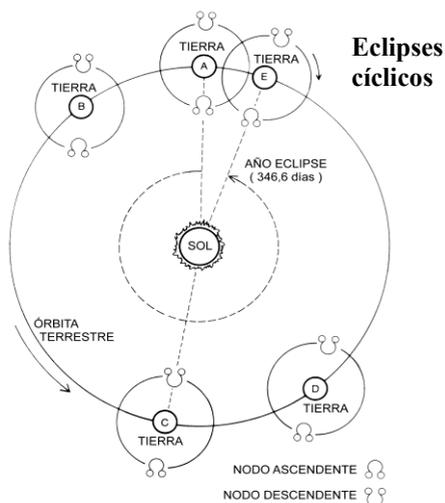


Figura A-05: Esquema para ilustrar la no coincidencia entre un período de traslación de la Tierra alrededor del Sol y un número exacto de giros de la Luna en torno a la Tierra

La fracción 0,32 de día incluida en los 223 meses sinódicos hace que cuando el ciclo se repite en la misma fecha, la Tierra habrá girado hacia el oeste por esa misma fracción. Tendremos pues que cada 3 Saros, unos 54 años, el eclipse se repite aproximadamente en la misma zona y fecha.

Como un ejemplo el Saro 136 tuvo su inicio con un pequeño eclipse parcial (0.05) en 1360 (14 de junio) y terminará con el número 71 con otro pequeño eclipse parcial (0.105) el 2622 (julio 3).

Por otro lado, la diferencia entre las fracciones de día de los 223 meses sinódicos y los 19 años de eclipse marca que cuando cada Saro el eclipse tenga lugar en una posición diferente a la anterior. Los saros con números pares aparecen en el nodo descendente y van progresando hacia el norte; los saros con número impar aparecen en el nodo ascendente y progresan hacia el Sur.

Sin embargo, todo ello no sería suficiente sin una coincidencia, a saber, los radios angulares del Sol y la Luna son aproximadamente iguales. Dado que la Luna se mueve en una órbita elíptica, su tamaño aparente variará entre el perigeo y el apogeo. Si el radio lunar es menor que el solar (ambos vistos desde la Tierra) tendremos un eclipse anular y si es mayor aumentará la duración del eclipse total.

TIPOS DE ECLIPSES SOLARES

La duración de un eclipse y la forma (total, anular o parcial) con que éste aparece en un lugar determinado, vendrá dada por el valor del radio terrestre (Figura A-06)

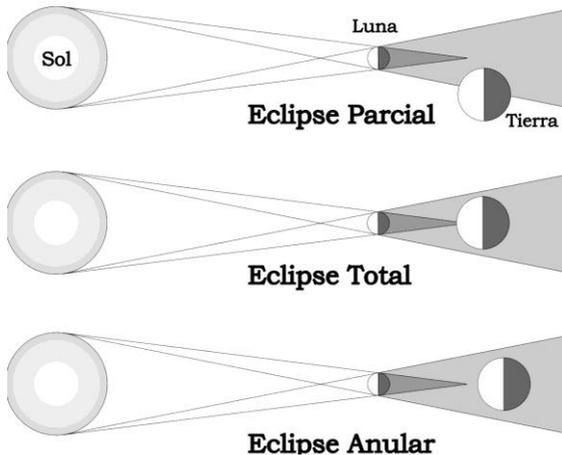


Figura A-06: Figura con el esquema de un eclipse y sus diferentes modalidades (a) total, b) anular y c) parcial. Las distancias no están a escala. Adaptado de Vázquez Abeledo (1998) Capítulo 5

Un eclipse solar total ocurre cuando la Luna pasa entre el Sol y la Tierra, bloqueando completamente la cara del Sol. Los habitantes de la zona que está ubicada en el centro de la sombra de la Luna cuando ésta cae sobre la Tierra verán un eclipse total. El cielo se oscurecerá, como si fuera el amanecer o el anochecer. Si las condiciones meteorológicas lo permiten, los habitantes de la zona en el recorrido de un eclipse solar total pueden ver la corona del Sol, o su atmósfera exterior, que de otro modo suele estar oscurecida por la cara brillante del Sol. En estos eclipses, la superficie entera del Sol está bloqueada de la visión, dentro de la sombra de la Luna.

Un eclipse solar anular ocurre cuando la Luna pasa entre el Sol y la Tierra, pero en el momento en que esta se encuentra en su punto más alejado de la Tierra o cerca de este punto. Debido a que la Luna está más lejos de la Tierra, se ve más pequeña que el Sol y no lo cubre por completo. A consecuencia de esto, la Luna se ve como un disco oscuro encima de un disco más grande y brillante, creando lo que parece un anillo alrededor de la Luna.

En estos eclipses podemos ver lo que ocurre cuando la sombra de la Luna termina en el espacio.

Un eclipse solar parcial ocurre cuando la Luna pasa entre el Sol y la Tierra, pero el Sol, la Luna y la Tierra no están perfectamente alineados. Solo una parte del Sol se verá cubierta, lo que le dará una forma de media luna. Durante un eclipse solar total o anular, los habitantes fuera de la zona cubierta por la sombra interior de la Luna verán un eclipse solar parcial.

Eclipse solar híbrido: Debido a que la superficie de la Tierra es curva, a veces un eclipse puede cambiar de anular a total a medida que la sombra de la Luna se desplaza sobre el planeta. Esto se llama eclipse solar híbrido.

Según cálculos del experto Fred Espenak desde el año -1999 al 4000 se producirán en toda la Tierra 14263 eclipses de los cuales son parciales el 35.3%, totales el 26.6%, anulares el 32.9% e híbridos el 5.2%.

Los nodos de la órbita lunar no ocupan una posición fija sobre la eclíptica, sino que tienen un movimiento retrógrado anual de $19^{\circ}.25$, lo que da lugar a que la Luna, en su revolución mensual alrededor de la Tierra, emplee 27,2 días en volver al nodo, tiempo más corto que el que tarda en volver a la conjunción con el Sol, que es 29,5. Se llama el primer intervalo *mes draconítico*, *mes sinódico* el segundo.

Otra circunstancia que hay que tener en cuenta, y es que, si el Sol ocupa en un momento dado uno de los nodos lunares, al recorrer la eclíptica, en virtud de su movimiento aparente, recuperará su posición al cabo de 346,6 días, esto es, cerca de 20

días antes de terminar el año, a causa del movimiento retrógrado de los nodos.

Se observa como curiosa consecuencia que si multiplicamos la duración del mes draconítico por 242, la del sinódico por 223 y la de la revolución nodal por 19, se obtienen tres resultados aproximadamente concordantes, que son, respectivamente:

$6585,36 = 18$ años 10 días 8 horas.

$6585,32 = 18$ años 10 días 7 horas

$6585,78 = 18$ años 10 días 18 horas

La consecuencia inmediata es que, si en un momento dado los dos astros se encuentran en oposición o conjunción y en los nodos de la órbita lunar, al cabo de 6585 días recuperarán las mismas posiciones y se repetirán los eclipses. Este es el célebre **Saros** encontrado por los caldeos, empleado en las predicciones antiguas y que aún se utiliza hoy en día para fijar las fechas. Si consultando un catálogo se forma, la lista de los eclipses que han ocurrido en uno de estos períodos, añadiendo a la fecha de cada uno 18 años y 11 días se reproducirían los mismos eclipses en parecidas circunstancias.

Si el Saros abarcase un número exacto de días, cada eclipse sería visible en la misma región del globo que su correspondiente del período anterior; sin embargo, como hay una discrepancia de un tercio de día, o sea de unos 120° en el horizonte real de la Tierra, el nuevo eclipse va rodeando nuestro globo y deslizándose cada 18 años, 120° al Oeste. Los movimientos reales de la Tierra y de la Luna, y el aparente del Sol, dan también lugar a cambios sucesivos en la magnitud de cada eclipse y a un movimiento de la zona eclipsada, que se desvía de Norte a Sur o de Sur a Norte, haciendo que el Saros varíe en posición y magnitud sobre la superficie de la Tierra.

Teniendo en cuenta el tiempo que emplea el Sol en volver a un nodo lunar, resulta que al repetirse un eclipse la conjunción se verifica unos 28 minutos al Oeste del nodo, y en el transcurso del tiempo llegará un momento en que haya conjunción sin eclipse y el Saros se ha terminado; entonces comienza un nuevo Saros, en que la conjunción se verifica al Este del nodo lunar.

Un pequeño eclipse parcial, próximo a uno de los polos terrestres, es el anuncio de una serie nueva. El eclipse va aumentando en cada período, rodeando la Tierra y avanzando hacia el polo opuesto; llega a total, disminuye progresivamente y muere al cabo de 1.150 años, apareciendo un nuevo Saros, que camina en dirección opuesta.

CONOS DE UNA ECLIPSE

Imaginemos que observamos un eclipse desde el espacio, por ejemplo, como ya sucedió con el de 1999 desde la estación Mir. Lo que observamos es complementario a lo que se observa desde la superficie.

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, menos profundo o incluso no se producirá (Figura A-07).

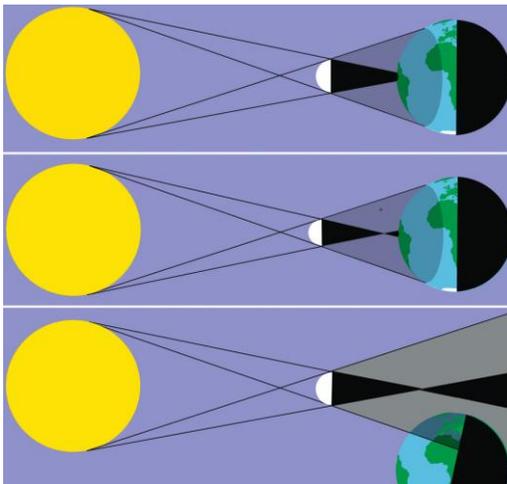


Figura A-07:
Conos de sombra para
los diferentes tipos de
eclipses

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. 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 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 citada.

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.

ECLIPSE SOLAR TOTAL PASO A PASO

Cuatro fases principales caracterizan un eclipse total, separadas por cuatro tiempos de contacto: T_1 marca el primer contacto de los discos lunar y solar, progresivamente éste último se va oscureciendo hasta llegar al momento T_2 en que queda totalmente eclipsado, significando el inicio de la fase de totalidad que dura hasta T_3 . Finalmente, el último contacto se producirá en T_4 marcando la conclusión del eclipse (Figura A-08).



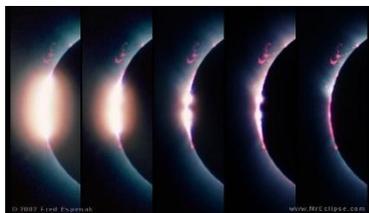
Figura A-08: Fases de un eclipse Total de Sol.

Veámoslo con algo más de detalle y la descripción de algunos de los fenómenos observados.

Primer contacto: El eclipse total se inicia cuando una pequeña muesca aparece en el borde solar. La muesca aumenta gradualmente pero no hay un descenso medible en la luz solar hasta que se cubra la mitad del disco.

Imágenes crecientes: La luna progresa y el disco solar se reduce.

Rosarios o perlas de Bailey: Pueden verse antes de la totalidad. Estas



se producen debido a que el borde lunar es desigual y la luz solar brilla a través de los valles lunares y se bloquea por las montañas.

Su nombre se debe a Francis Bailey (1774-1844) que explicó su origen en 1838 (Figura A-09).



El Anillo de Diamantes se produce unos pocos segundos antes del Segundo Contacto, cuando la última parte del Sol brilla contra el borde lunar. (Figura A-10)

Bandas de sombra: Observadas antes de la totalidad. Son líneas ondulantes vistas a través de la superficie de la Tierra (Figura A-11), aunque no se observan siempre. Es un fenómeno puramente atmosférico y se ven mejor contra superficies brillantes tales como muros blancos.

También la sombra de la luna puede verse desplazándose sobre la superficie terrestre, cuando la totalidad se acerca, viajando a 1600 km/hora.



Figura A-11: Bandas de sombra observadas antes de la fase de totalidad. Fueron descubiertas en 1820 por H. Goldschmidt. Licencia Creative Commons

Segundo Contacto: Marca el inicio de la fase de totalidad, con el Sol totalmente oscurecido por la Luna. El grado de oscuridad varía de un eclipse a otro debido a las cambiantes condiciones atmosféricas. Entonces se puede ver la esfera de color (la cromosfera). También se pueden ver sobre el borde del Sol las *Protuberancias*, conocidas como “llamas rojas”. Sin embargo, es la corona solar el fenómeno

más llamativo de la fase de totalidad. La forma de la corona depende de la fase del ciclo de actividad magnética.

Tercer Contacto: Cuando termina la fase de totalidad. De nuevo se pueden ver el Anillo de Diamantes y las Perlas de Bailey. La luz solar vuelve al paisaje. Entonces se pueden ver una serie de Imágenes Decrecientes.

Cuarto Contacto: Significa el final del eclipse.

Debemos de tener en cuenta que la forma de la corona cambia con el ciclo de actividad magnética de 11 años del Sol (Figura A-12).

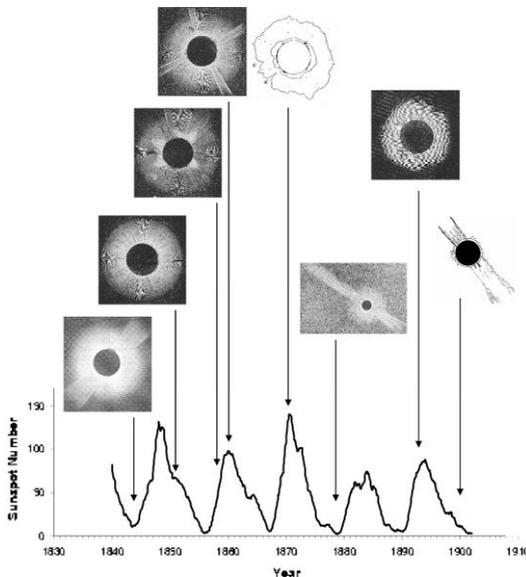


Figura A-12: Diferentes dibujos de la corona solar durante los ciclos solares 8-13. Los observadores y el año del eclipse son los siguientes (orden cronológico): Anónimo, 1842; Dawes, 1851; Liais, 1858; Felitzch, 1860; Lindsay, 1870; Langley, 1878; Deslandres, 1893; Johnson, 1900. Adaptado del capítulo 4 de Vaquero y Vázquez (2009).

La forma de la corona solar observada en un eclipse total durante un máximo de actividad solar se parece a un halo.

Señalemos que las imágenes cristianas generalmente muestran a Jesucristo o a los santos con un halo. La utilización de este símbolo viene de cultos paganos griegos y romanos. Con el halo estas civilizaciones representaban el dios del Sol (Apolo o Helios). Posteriormente, los artistas cristianos lo continuaron utilizando como símbolo de divinidad.

Durante la observación de un eclipse anular algunos de estos fenómenos no se ven: Perlas de Baily, Anillo de Diamantes, Cromosfera. Protuberancias y Corona. Sin embargo, puede verse un gran Anillo Solar.

En el penúltimo capítulo podemos ver la descripción del Eclipse Anular de 2005.

La *magnitud de un eclipse solar* es la fracción del diámetro solar ocultado por la Luna, mientras que el oscurecimiento se refiere a la fracción de la superficie solar que queda oculta. Son cantidades completamente distintas. La magnitud puede darse en forma decimal o como un porcentaje: hablaremos indistintamente de una magnitud 0,2 ó del 20%, por ejemplo.

Si el eclipse es total, se considera el cociente entre los diámetros angulares lunar y solar. En el momento de la totalidad este cociente valdrá uno o más, en el caso de una Luna nueva muy próxima al perigeo. Por otra parte, no puede darse una correspondencia única entre magnitud y oscurecimiento porque debido a la variable distancia Tierra-Luna varía asimismo el diámetro angular de ésta y a eclipses de igual magnitud no les corresponde siempre un mismo oscurecimiento.

OBSERVANDO UN ECLIPSE

Con frecuencia se recomienda no mirar directamente al sol, por el peligro que puedan sufrir nuestros ojos. Ahora bien, la mayor parte de los eclipses ocurrieron antes de la invención del telescopio, allá por principios del siglo XVII. Nubes, tormentas de polvo, humo de un incendio, Sol cerca del horizonte etc. pudieron haber ayudado, pero no siempre habría sido el caso.

Óptica del ojo humano

Para tales observaciones el ojo es nuestro principal detector (Figura A-13). Veamos alguna de sus características.

El iris actúa como la principal barrera del ojo ante extremas intensidades de luz, su función es cambiar el tamaño de la pupila. El proceso se conoce como “el reflejo pupilar a la luz” y se produce cuando el iris controla el diámetro de la pupila en respuesta a la intensidad de luz que llega al ojo.

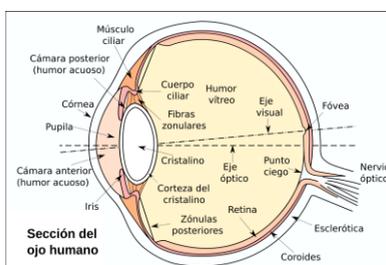


Figura A-13: Estructura del ojo humano

El ojo necesita un cierto nivel de intensidad de luz para que la retina pueda convertirla en imágenes. Es fundamental que el iris modere la cantidad de luz que entra en el ojo, porque una cantidad excesiva puede dañar la retina o dificultar el proceso de conversión en imágenes.

Ante una gran intensidad de luz, el iris contrae la pupila para que entre poca luz al ojo y al contrario, cuando la intensidad de luz es muy baja, el iris dilata la pupila permitiendo que entre más luz.

Tenemos dos tipos de células en el ojo. a) Los *bastones*, se utilizan para la visión periférica y se concentran en los bordes externos de la retina. Son necesarios para la percepción de la luz y la oscuridad y para adaptarse a la visión nocturna. Sirven para la detección del movimiento. b) Los *conos* están concentrados en la mácula. Son las únicas células que se encuentran en la fóvea.

Responsables de la visión central nos dan la percepción del color. Existen tres tipos de conos: Rojos, Verdes y Azules. Cada uno de ellos posee un fotopigmento con una curva característica de absorción respecto de la longitud de onda que les llegue. Este hecho constituye el punto de partida fisiológico para la percepción del color. El ojo humano contiene unos 130 millones de bastones y unos 7 millones de conos.

La sensibilidad del ojo abarca un intervalo de unos 14 órdenes de magnitud, desde un umbral mínimo hasta un nivel de luz que podría causar ya daños. De los tipos de células en el ojo, los conos, visión fotópica, muestran un valor umbral cuatro magnitudes sobre el mínimo. Las dos magnitudes siguientes se llaman el intervalo mesópico, y es aquí donde ambos tipos de células, conos y bastones contribuyen a la visión.

El pico de sensibilidad *escotópica*, de los bastones se encuentra a unos 500 nm, mientras que el pico *fotópico* de los conos tiene su máximo a 550 nm (Figura). Longitudes más cortas que 315 nm son absorbidas por la córnea, causando daño, y no alcanzan la retina (Figura A-14).

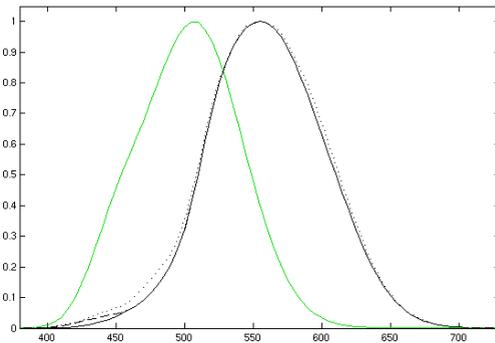


Figura A-14: Curva de sensibilidad escotópica (verde) y fotópica (negra) con respecto a la longitud de onda (en nanómetros)

Retinopatía de Newton

La retinopatía solar es una clase de daño a la retina inducida por una exposición prolongada a la radiación solar. Generalmente

ocurre por mirar fijamente al Sol o durante un eclipse solar. El principal daño al ojo es fotoquímico más que térmico.

En una carta al filósofo británico John Locke (1632-1704), Isaak Newton describía los efectos de mirar al reflejo del Sol en un espejo, mientras se encontraba en una habitación oscura: La observación que usted menciona “la hice yo mismo con peligro para mis ojos. La manera fue la siguiente: *Yo miraba un poco en el espejo con mi ojo derecho y luego volvía mis ojos a una esquina oscura de mi cuarto y guiñaba el ojo para observar la impresión que causaban los círculos de colores que lo rodeaban y cómo se desvanecían gradualmente hasta desaparecer por fin. Esto lo repetí una segunda y una tercera vez.*

En la tercera ocasión, cuando el fantasma de los colores claros a su alrededor casi se había desvanecido, al dirigir mi fantasía hacia ellos para ver su última aparición, descubrí, para mi asombro, que empezaban a regresar y, poco a poco, se volvían tan vivos y vívidos como cuando había vuelto a mirar el sol.

Sin embargo, cuando dejé de concentrar mi imaginación en ellos, desaparecieron de nuevo. Después de esto descubrí que cada vez que me adentraba en la oscuridad y concentraba mi mente en ellos, como cuando un hombre mira con atención para ver algo que es difícil de ver, podía hacer que el fantasma volviera sin mirar más al sol. Y cuanto más a menudo lo hacía regresar, más fácilmente podía lograr que volviera de nuevo.

Finalmente, al repetir esto sin mirar más al sol, causé tal impresión en mi ojo que si miraba las nubes o un libro o cualquier objeto brillante, veía sobre él un punto redondo y brillante de luz como el sol. Y, lo que es aún más extraño, aunque miraba al sol con mi ojo derecho solamente, mi fantasía empezó a hacerme la impresión sobre ambos ojos.

Porque si cerraba mi ojo derecho y miraba un libro o las nubes con mi ojo izquierdo, podía ver el espectro del sol casi tan claramente como con mi ojo derecho, si tan solo concentraba mi fantasía en él un momento. Porque al principio, si cerraba mi ojo

derecho y miraba con mi ojo izquierdo, el espectro del sol no aparecía hasta que concentraba mi fantasía en él.

Pero al repetir esto, cada vez me aparecían más fácilmente. Ahora, en pocas horas, había llevado mis ojos a tal punto que no podía mirar ningún objeto brillante con ninguno de los dos ojos sin ver el sol frente a mí, de modo que no me atrevía a escribir ni leer; pero para recuperar el uso de mis ojos me encerré en mi habitación a oscuras durante tres días seguidos y usé todos los medios para desviar mi imaginación del sol.

Porque si pensaba en el Sol, veía su imagen, aunque estuviera en la oscuridad. Pero al mantenerme en la oscuridad y emplear mi mente en otras cosas, en tres o cuatro días comencé a tener algún uso de mis ojos nuevamente, y al abstenerme unos días más de mirar objetos brillantes los recuperé bastante bien, o no tan bien, pero durante algunos meses después el espectro del sol comenzó a regresar tan a menudo como comencé a meditar sobre el fenómeno, incluso aunque me acostara en la cama a medianoche con las cortinas corridas.

Pero ahora he estado muy bien durante varios años, aunque tiendo a pensar que si me atreviera a aventurar mis ojos todavía podría hacer que el fantasma regresara por el poder de mi imaginación”.

Newton dejó el Sol después de esto. La descripción del científico inglés de estos síntomas concuerda bastante bien con una típica retinopatía solar ligera caracterizada por un punto foveolar amarillo y un escotoma central².

Efectos similares ocurren con los eclipses actuales, aunque una rápida atención evita generalmente problemas como los de Newton.

² Un área de visión disminuida o pérdida del campo visual, circundada por un área con una pérdida de visión menor.

Wong et al (2001)³ han estudiado los efectos en pacientes que asistieron a su hospital, en Leicester, después del eclipse de agosto de 1999. En dicha zona el eclipse tuvo un máximo del 92%, siendo total en la vecina Cornwall donde estuvo nublado. 20 pacientes mostraban síntomas visuales y 5 tenían cambios en la retina, con el reflejo foveal alterado o una mancha amarilla en la Fóvea, con efectos que se prolongaron hasta siete meses.

El daño no es evidente inmediatamente, sino al cabo de unas horas. Los síntomas son más visibles durante unos días y se van aliviando gradualmente a lo largo de un largo período (varios meses), hasta llegar a desaparecer por completo o casi por completo. La fotofobia (en la que la víctima evita la luz) también es un síntoma común. (Ver Capítulo 2 de Vaquero y Vázquez, 2009).

En especial debemos de tener esa precaución en un eclipse total, donde se produce una rápida transición del brillo del Sol a la casi oscuridad de la fase de totalidad.

Radiometría y Fotometría

Unidades de medida

Sección especialmente compleja donde tratamos de aclarar la medida de energía recibida durante un eclipse solar total

Podemos hablar de **Radiometría** cuando se estudia la transferencia de energía desde una fuente hasta un detector. Sus principales unidades en el Sistema Internacional son

Energía Radiante	Q_e	Julio
Densidad energía radiante	w_e	Julio/m ³
Flujo Radiante	Φ_e^2	Vatio
Irradiancia (Densidad Flujo)	E_e^2	Vatio/m ²

³ Wong, C.K., Eke, T., Ziakas, N.G., 2001, *Eclipse burns: a prospective study of solar retinopathy following the 1999 solar eclipse*, The Lancet 357, 199-200

La *irradiancia solar* es la potencia por unidad de área recibida del Sol en forma de radiación electromagnética, medida en el rango de longitud de onda del instrumento de medición. La irradiancia solar se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). La irradiancia se puede medir en el espacio, desde 1978, o en la superficie de la Tierra después de la absorción y dispersión atmosférica. La radiación solar media anual que alcanza la parte superior de la atmósfera terrestre es de unos $1361 \text{ W}/\text{m}^2$.

Los rayos solares se atenúan cuando atraviesan la atmósfera, dejando la irradiancia superficial normal máxima a aproximadamente $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ al nivel del mar en un día claro. En estas condiciones podemos estimar que la radiación global sobre una superficie horizontal a nivel del suelo es de unos $1120 \text{ W}/\text{m}^2$. Esta última cifra incluye la radiación dispersa o reemitida por la atmósfera y el entorno. La cifra real varía con el ángulo del Sol y las circunstancias atmosféricas. Ignorando las nubes, la insolación media diaria de la Tierra es aproximadamente $6 \text{ kWh}/\text{m}^2 = 21.6 \text{ MJ}/\text{m}^2$.

Un *piranómetro*, es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (kilovatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.



Pierheliómetro: Miden la radiación solar directamente. Es decir, el valor de energía por unidad de área y unidad de tiempo incidente sobre un plano perpendicular a la posición del sol en el cielo. Este detector necesita estar montado en un seguidor solar en su camino.

Este valor junto con el de la Irradiancia Difusa nos da la Irradiancia Global.

Por convenio internacional todos estos instrumentos miden la radiación directa con el mismo campo de visión, a saber 2.5 grados.

Desde el espacio se mide la irradiancia solar mediante pierheliómetros a bordo de satélites, que tienen la propiedad de tener un sistema de calibración de tipo eléctrico incorporado; son los *Radiómetros de Cavidad Activa*. Este calibrado, en unidades absolutas, tiene un error típico de 1-2 W/m², lo cual hace que sea conveniente trabajar en modo diferencial, con una media de unos 30 años para normalizar los datos. Otro trabajo minucioso es la comparación de radiómetros de satélites diferentes (Nimbus, SMM, SOHO). El resultado lo vemos en la Figura adjunta A-15

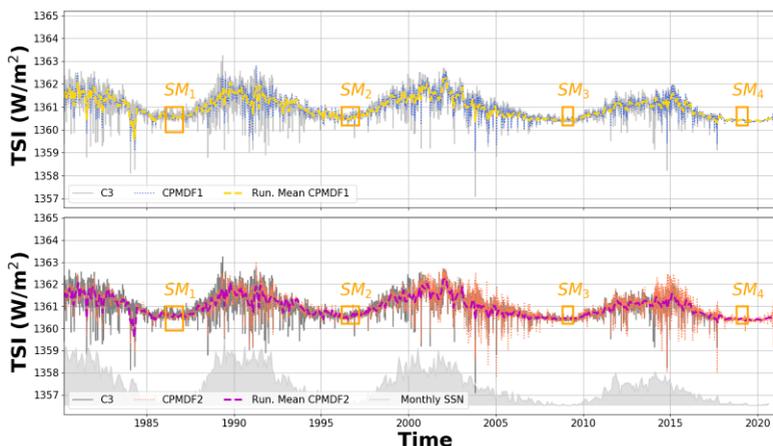


Figura A-15: (Arriba) Reciente composición (CPMDF1, azul), sin y con un filtrado CPMDF2 (naranja) basado en mezclar datos de 41 años. (abajo) Por comparación vemos en Gris, C3, los valores del trabajo de K. Fröhlich. Una media móvil de 30 días se muestra como una línea discontinua amarillo/morada. Las cajas naranjas están asociadas con mínimos de cada ciclo solar. Finalmente, como contexto, se muestran los números de manchas mensuales. Fuente: World Radiation Center (Davos, Suiza).

Fotometría será cuando esta transferencia de energía se normaliza a la respuesta espectral del ojo humano (V por visual). Sus unidades en el Sistema Internacional son

Energía lumínica	Q_v	lumen segundo
Flujo luminoso	Φ_v, F	lumen (candela. sr)
Intensidad luminosa	I_v	candela (lm/sr)
Luminancia	L_v	candela/m ²
Iluminancia	E_v	lux (= lm/m ²)

La unidad en la que se suele medir el brillo solar visual es el Lux

0,0001 lux = 100 μ lx.	Cielo nocturno nublado, luna nueva
0,001 lux = 1 mlx.	Cielo nocturno despejado, luna nueva
0,01 lux = 10 mlx.	Cielo nocturno despejado, cuarto creciente o menguante
0,25 lux = 250 mlx.	Luna llena en una noche despejada
1 lux	Luna llena a gran altitud en latitudes tropicales
3 lux	Límite oscuro del crepúsculo bajo un cielo despejado

Las mediciones realizadas en eclipses totales recientes sitúan la iluminancia en total alrededor de 5 lux, comparable al crepúsculo civil. El cielo todavía tiene un tono azul plateado y violáceo. Por el contrario, el cielo negro en una noche de luna llena es aún 10 veces más oscuro, menos de 0,5 lux.

En 1927 Ackerman⁴ midió la iluminación recibida por una superficie horizontal, disponible en la estación de observación,

⁴ Ackerman, A.S.E., 1927, *Photometric measurements during the total solar eclipse*, Nature 120, No.3011, p.83

expuesta al hemisferio del cielo durante el período de un eclipse total (Figura A-16).

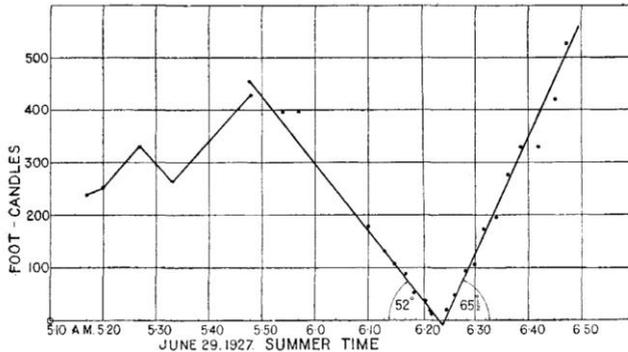


Figura A-16: Variación de la iluminación solar durante un eclipse solar. Hubo bastante bruma durante toda la medida, pero la regularidad de las dos rectas inclinadas desde las 5:48 nos permite suponer que dicha bruma fue constante. El mínimo de la totalidad lo podemos determinar como ocurriendo a las 6:24

Vemos que la unidad en que se expresa el brillo durante el eclipse es el foot.candela (Figura A-17), unidad inglesa lo cual complica aún más las cosas. Veamos un ejemplo de su relación con las unidades mencionadas con anterioridad

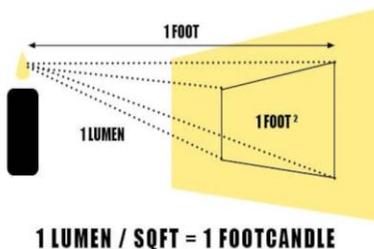


Figura A-17: Imaginemos colocando una vela a una distancia de 0.30 metros (1 pie) de una valla plana en que hemos dibujado un cuadrado midiendo 0.09 metros cuadrados (1 pie al cuadrado). Un lumen por pie cuadrado iluminará esta superficie \Rightarrow 1 foot candle \approx 10.57 Lux

El efecto Purkyně es un fenómeno que se produce en la visión humana en el que la sensibilidad del ojo a diferentes colores cambia según el nivel de luz disponible. Fue descrito por primera vez por el anatomista y fisiólogo checo Jan Evangelista Purkyně (1787- 1869) a principios del siglo XIX.

Este efecto afecta principalmente a la percepción de los colores en condiciones de poca luz, como durante el anochecer o el amanecer, o en este caso tan especial, un eclipse. En condiciones de poca luz, el ojo se vuelve más sensible a las longitudes de onda de luz más cortas, como los azules y los verdes, mientras que a las longitudes de onda más largas, como los rojos y los naranjas, el ojo se vuelve menos sensible.

Meteorología durante un eclipse

Desde las primeras expediciones científicas a eclipses siempre se contaba con que un miembro del equipo se encargase de una estación meteorológica y procediese a realizar las medidas.

Un efecto interesante que se produce durante el transcurso de un eclipse solar, más notable en un eclipse total, es la disminución de la temperatura ambiental debido al descenso de la radiación solar o luminosidad ambiente. Sin embargo, mientras el mínimo de luminosidad (máxima oscuridad) coincide con el máximo del eclipse, el mínimo enfriamiento se producirá pasado unos minutos que pueden variar entre los 2 a los 20.

Este retardo de tiempo depende de muchos factores, tales como la hora del día cuando ocurre el eclipse, la presencia de extensiones de agua cercanas, un lago o un océano, o la proximidad a zonas boscosas, pero es fácilmente medible. Deberán registrarse, de forma simultánea, la temperatura y la luminosidad ambiental, teniendo en cuenta que si queremos obtener una buena curva alrededor del máximo del eclipse -momento de máxima oscuridad- el muestreo, o toma de datos, deberá estar por debajo de los cinco segundos. La respuesta térmica de la atmósfera -o inercia térmica

atmosférica– es el intervalo de tiempo -normalmente minutos- entre el mínimo de luz y temperatura.

TELESCOPIOS Y FILTROS

La cámara oscura

Aristóteles describe un método para observar un eclipse de Sol sin dañarse los ojos. Unos agujeros realizados en una placa de metal le permitían proyectar la imagen del Sol en una superficie.

Al cabo de los siglos la idea fue de nuevo expuesta por el árabe, nacido en la hoy iraquí Basora, Alhazan (965 - 1041). En su libro *Kitab al-manazir* (El Libro de la Óptica) realiza la primera propuesta de lo que se iba a conocer como cámara oscura. Roger Bacon (1214 - 1292) construye el primer modelo con el que logra proyectar una imagen del Sol sobre una pared.

Desde hacía bastante tiempo eran conocidas las propiedades de unos objetos transparentes que según fueran convexos o cóncavos tenían la propiedad de aumentar o disminuir el tamaño de los objetos que se observaban a través de ellos.

A finales de la Edad Media, Florencia y Venecia se convierten en los principales centros para el tallado de dichos cristales, que debido a su forma reciben el nombre de lentes. Giovanni Battista della Porta (1535 - 1616) describe sus propiedades en *Magia Naturalis* y *De Refractione*. La inclusión de unas lentes biconvexas, llamadas "orben" y "vitro", mejoró la utilidad de la cámara oscura (Figura A-18), que en diseños posteriores pudo transportarse fácilmente de un lugar a otro. Las imágenes obtenidas por una de dichas cámaras permitían ver con seguridad los eclipses de sol, ya que permitían observarlos sin mirar directamente al sol⁵.

⁵ El 24 de enero de 1544 Gemma Frisius (1508-1555) observó en Lovaina un eclipse solar con una cámara oscura.

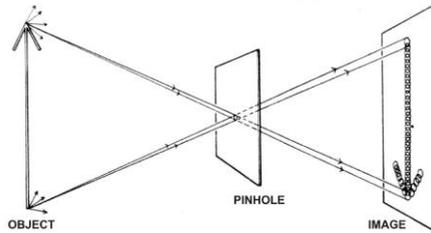


Figura A-18: Esquema de una cámara oscura (pin-hole camera)

Las lentes se habían hecho populares como un remedio para corregir los defectos de la visión. Hacia 1450 ya existían gafas en el mercado y se podía pensar que su aplicación para las observaciones astronómicas no iba a tardar mucho. Sin embargo, aún hubo que esperar más de un siglo para el descubrimiento del telescopio refractor en 1608 por el holandés Hans Lippershey (1570-1619).

Gafas de eclipse no deben de utilizarse nunca para observar el Sol a través de cámaras, telescopios u otras ayudas ópticas, ya que estos instrumentos aumentan la intensidad de luz más allá de la capacidad de protección de dichas gafas. Gafas ordinarias, aún aquellas con lentes oscuras, no son adecuadas para ver un eclipse.

Filtros de luz blanca se ajustan en el frontal del telescopio para reducir el nivel de luz que entra al sistema óptico. Generalmente están hechos de vidrio o un material polímero.

Filtros de H-alpha (6563 \AA) dejan pasar solamente la luz de esta línea espectral emitida por la cromosfera. Los precios se han abaratado en la actualidad dependiendo del ancho de banda (1 \AA es adecuado).

Observaciones históricas del Sol con telescopio

Una de las primeras aplicaciones del telescopio refractor fue la observación del Sol. Thomas Harriot (1560 - 1621), astrónomo y matemático británico, fue el primero en realizar una observación con

telescopio de una mancha sobre el disco solar. Sucedió el 3 de diciembre de 1610. Así describía una observación posterior, el 1 de diciembre de 1611: *Vi tres manchas negras a través del telescopio de diez aumentos. La mayor tenía unos 2 minutos de arco, mientras que las otras eran algo así como de 1 minuto de arco.*

Animado por los resultados prosiguió sus observaciones hasta reunir un archivo de 214 días que concluyó el 7 de junio de 1612 con un comentario que reconocía los límites de su empeño *No podía ver más, aun mirando diligentemente, de lo que solía hacer antes.* A partir de entonces anotó solamente el número de manchas hasta su última observación, registrada en enero de 1613. Un buen ejemplo de cansancio por la observación de un objeto brillante, quizás produciéndole alguna enfermedad.

En el diseño de un telescopio intervienen dos parámetros fundamentales independientes: el diámetro de su objetivo, D , y su distancia focal, f . Cuanto más grande es D , mayor es la cantidad de fotones (rayos solares) que se colectan y mayor también la superficie del frente de onda que intersecta. El valor de D nos limita, por tanto, el brillo en la imagen y también el tamaño del detalle más pequeño que se podrá detectar en el objeto observado, lo que se denomina "resolución del telescopio".

Por otro lado, el tamaño de la imagen de un objeto extenso está en relación inversa a la distancia focal. La energía colectada por el objetivo se distribuye en áreas mayores cuanto mayor sea f y, consecuentemente, disminuye el brillo de la imagen. La elección de D y f está, por tanto, condicionada al tamaño y sensibilidad del elemento del detector (pixel) de que se dispone y a la resolución que se pretende alcanzar. En resumen, decidir el valor de la relación f/D será el punto de partida en cualquier diseño de un telescopio.

Para la observación solar no es un gran problema la pérdida de luz por lo que, en principio, podemos utilizar largas distancias focales y diámetros moderados, al menos con respecto a los estándares de la observación nocturna. Otros parámetros a considerar son:

Ocular: accesorio pequeño que colocado en el foco del telescopio permite magnificar la imagen de los objetos.

Aumentos: Es la cantidad de veces que un instrumento multiplica el tamaño aparente de los objetos observados. Equivale a la relación entre la longitud focal (distancia focal) del telescopio y la longitud focal del ocular (DF/df). Por ejemplo, un telescopio de 1000 mm de distancia focal, con un ocular de 10mm de focal proporcionará un aumento de 100 (se expresa también como 100XXX). Para saber los aumentos máximos que soporta un telescopio se ha de multiplicar la apertura por dos.

Lo más adecuado para mirar directamente al Sol es utilizar anteojos⁶ para la observación solar. Un filtro solar bien ajustado es esencial para utilizar cualquier tipo de lente de aumento, como los que se utilizan en cámaras, binoculares o telescopios.

Método de proyección

En la ciudad alemana de Ingolstadt, el jesuita Christoph Scheiner (1576 - 1650) había comenzado, en 1611, un programa de observaciones solares. Realizaba sus observaciones proyectando la imagen telescópica del Sol sobre una pantalla (Figura A-19), lo que le permitía observarlas sin grave peligro para sus ojos.

⁶ Instrumento óptico que, mediante un tubo con dos lentes situadas en sus extremos, amplía las imágenes de los objetos lejanos. Los primeros anteojos se utilizaron como telescopios.

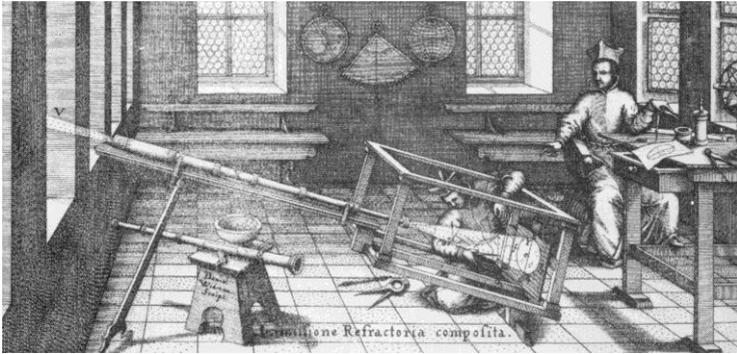


Figura A-19: Sistema óptico por proyección utilizado por C. Scheiner, para sus observaciones de manchas solares, publicadas en su obra; *Rosa ursina sive Sol ex admirando facularum & macularum suarum phoenomeno varius* (1630).

Un problema con los telescopios de lentes era la aberración cromática que falseaba los colores de los objetos. I. Newton, en 1671, presentó un pequeño telescopio de espejo. Su D era tan solo de 2.5 cm y la f de 15 cms, pero pronto estos telescopios reflectores se fueron imponiendo, en especial con las variantes de Laurent Cassegrain (1629-1693) y James Gregory (1638-1675).

Logística

Diseño de telescopios

La mayor parte de los eclipses solares totales no pasan por ciudades dotadas con observatorios solares sofisticados, sino por lugares desconocidos en muchos casos. Aún en estos casos un telescopio solar que busca conseguir una buena resolución espacial tiene un campo de visión demasiado pequeño para registrar el eclipse en su conjunto.

Por ello hemos de pensar en diseños de telescopios que puedan transportarse con cierta facilidad. En algunos casos se optó

por un montaje horizontal, aunque con el inconveniente de una gran cantidad de luz difusa.

En otros casos se optó por diseños ecuatoriales con una larga distancia focal que podían desmontarse y volver a montarse en el lugar. Un simple espejo para seguir al Sol, acoplado con una distancia focal larga puede ser una buena combinación para observar un eclipse.

La estructura básica es un enrejado con solo la caja alrededor del foco. Si la longitud total del telescopio estuviera encerrada entonces los rayos solares lo calentarían, causando turbulencia y deteriorando la imagen. En los próximos capítulos veremos diferentes opciones, dependiendo de la financiación y de los objetivos científicos de la expedición.

Logística (Climatología)

Hablando de logística de las observaciones de eclipse hemos de señalar que antes de 1842 no se organizaron expediciones con tal objetivo. Previamente fueron documentos locales, redactados por personas con más o menos formación, los que han dejado alguna huella. Sin duda el eclipse observado por Antonio de Ulloa el 24 de junio de 1778 en medio del Atlántico es una excepción a todo lo que podamos decir al respecto.

Un objetivo primordial es que durante el eclipse total en el lugar seleccionado no se encuentre nublado. Conocido el camino de totalidad del siguiente eclipse, el equipo expedicionario tratará de decidir primero el país de asentamiento, contando siempre con las autoridades del país de origen. Para ello se debe tener en cuenta la forma de transporte y el número de personas necesaria para los diferentes proyectos y si hay posibilidades de contar con personal local.

A continuación, se trata de conseguir datos climatológicos de dicho país que cubran la mayor parte del espacio y del tiempo. Durante mucho tiempo del que cubriremos en los siguientes capítulos no se disponía de tales datos. El consejo de astrónomos locales era imprescindible en tales casos.

Se suele asociar a España con Sol. Ello ha ocurrido con los eclipses.

Siempre que el camino de totalidad ha pasado por nuestras tierras, se las ha escogido para la ubicación de varias expediciones extranjeras. Por desgracia, y si exceptuamos el eclipse de Canarias en 1959, desde hace más de un siglo no hemos contado con este espectáculo sobre España.

CAPÍTULO II: ECLIPSES HISTÓRICOS (UNA SELECCIÓN)

*Tres cosas no pueden ocultarse durante mucho tiempo:
el Sol, la Luna y la Verdad.*

Buda

Como ha sucedido con otros espectáculos de la naturaleza, los eclipses llevaron a sus testigos a interpretarlos en términos mitológicos: danzas de los dioses, batallas cósmicas o frecuentemente precursores de sucesos catastróficos. Así se narraba la reacción de los aztecas poco después de la llegada de los españoles: *Cuando el pueblo lo ve (el eclipse) se origina un tumulto. La gente tiene miedo y las mujeres lloran. Los hombres gritan al mismo tiempo que golpean sus bocas con las palmas de sus manos ...y entre todos comentan “si el Sol se eclipsa completamente nunca más nos dará luz; caerá la oscuridad eterna y vendrán los demonios”*. Sentimiento del que sin duda se aprovecharon las élites dominantes de esta y otras civilizaciones.

Existen algunas referencias a eclipses muy antiguos, pero sin el acompañamiento de que tipo de civilización había procedido a escudriñar los cielos con algún propósito. Este es el caso de unos petroglifos en espiral que parecen indicar un eclipse el 30 de noviembre del 3340 BCE (Before Common Era) en Irlanda (Loughcrew Cairn Megalithic Monument).

CHINA

Crónicas chinas de hacia el 2000 a.C narran la historia, aunque seguramente se trate de un mito, de dos astrónomos de la corte, Hsi y Ho, que se emborracharon y como consecuencia no pudieron predecir un eclipse, con lo que el emperador los hizo ajusticiar. Una cita anónima señala:

*Aquí se encuentran los cuerpos de Ho y Hsi
cuyo destino, aunque amargo, es risible
siendo asesinados debido a que no podían espiar
el eclipse que era invisible*

El método más antiguo de que hablan las tradiciones chinas para predecir eclipses consistía en observar una larga serie de eclipses, anotando con esmero las circunstancias de su aparición, fecha, duración y magnitud. La inspección atenta de este catálogo hizo reconocer bien pronto la existencia de ciertos intervalos de tiempo al cabo de los cuales los eclipses se repetían con gran aproximación y en parecidas circunstancias.

Pero es evidente que los chinos no llegaron a conocer sino muy groseramente la duración del período en aquellas épocas remotas en que pretenden haber realizado pronósticos de estos fenómenos. Cuando no se cumplía una predicción, no había problemas ya que había sido la voluntad del emperador la que lo había impedido. La llegada de los jesuitas en el siglo XVII ayudó a los chinos a mejorar sus sistemas milenarios de predicción.

EL ORIENTE BÍBLICO (MESOPOTAMIA)

La historia Caldeo-Asiria comprende desde 3000 años BCE, época en que establecen los primeros habitantes procedentes de las montañas de Elam (Oeste de la actual Irán), hasta el año 533 BCE, cuando son conquistados por los persas. A lo largo de este tiempo, los asirios lucharon contra los caldeos; es decir, los pueblos del norte contra los del sur, dominándose alternadamente.

La Historia se inicia con el establecimiento de los sumerios en la región contigua al golfo Pérsico y los acadios en Akad, con su capital Agadé. Ambos territorios se ubican en la Baja Mesopotamia. Los sumerios idearon la escritura cuneiforme y estuvieron organizados en ciudades-estados, gobernadas por reyes. Los acadios, fundadores de Babilonia, aunque dominaron a los sumerios, adoptaron la cultura de estos.

La caída del imperio asirio hacia mediados del primer milenio antes de nuestra era, dio lugar unas décadas después al inicio de una época de dominio babilónico bajo los persas, que favoreció el florecimiento de la astronomía al potenciar la predicción de los fenómenos celestes con propósitos astrológicos.

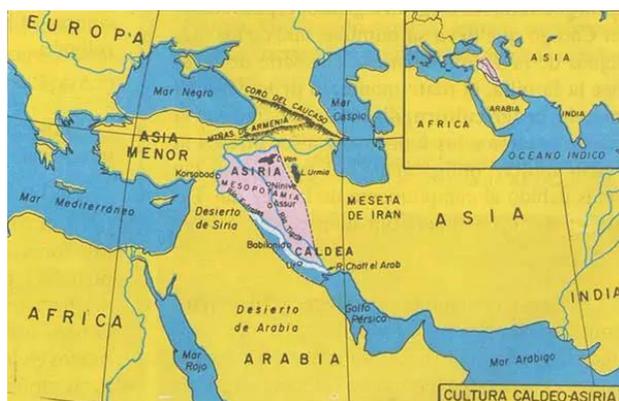


Figura B-01: Mapa de Mesopotamia dentro de uno global de Asia y Europa Oriental.

Pasar de la mera observación y el registro de los fenómenos celestes habitual en épocas anteriores a su predicción supuso un gran cambio conceptual: el de aceptar la idea de que es posible predecir los complejos movimientos del Sol, la Luna y los planetas, e impulsó el desarrollo de modelos aritméticos que permitían calcular sus efemérides: salidas, puestas, épocas de visibilidad, conjunciones,

eclipses lunares, etc. En esa época también se compilaron los primeros almanaques con listas de visibilidades, posiciones en signos del zodiaco y efemérides relacionadas con salidas y puestas de los astros.

El descubrimiento del verdadero período de repetición de los eclipses corresponde a los caldeos, que lo conocieron en el siglo VI BCE, al fijar en 18 años y 11 días el plazo al cabo del cual se reproducen los eclipses, aproximadamente en las mismas circunstancias, abarcando cada período 70 eclipses de Sol y de Luna, desigualmente repartidos en el intervalo.

Los babilonios siguieron con detalle los movimientos del Sol y la Luna y fueron capaces de realizar predicciones. Según Steele et al. (1997)⁷ comparaciones efectuadas entre la fecha de los eclipses y los valores calculados actualmente nos indica que los babilonios fueron capaces de ajustar sus relojes con un error típico del 9% y tener una precisión de unos 2 grados (aproximadamente 8 minutos de tiempo).

El eclipse total de Sol más antiguo que se ha podido verificar fue el del 15 de Junio de 763 BCE. La Biblia se refiere a él (Amos 8:9) con estas palabras: “... *en ese día dice el Señor, haré desaparecer el Sol al mediodía y oscureceré la Tierra a plena luz del día*”. Un escriba de la ciudad asiria de Ninive describe este acontecimiento en el *Eponym Canon*, lo que ha permitido verificar la fecha. Su referencia es breve pero clara: “*Insurrección en la ciudad de Asur. En el mes de Sivan, se eclipsó el Sol*”.

EGIPTO

Las estructuras más visibles en la corona son las grandes banderolas ("streamers" en inglés) que como grandes filamentos brillantes se extienden hasta varios radios solares, con sus ejes desviándose con frecuencia de la dirección radial.

⁷ Steele, J.M., Stephenson, F.R., Morrison L.V., 1997, *The accuracy of eclipse times measured by the Babylonians*, Journal for the History of Astronomy 28, 337-345

Su aspecto ha hecho que varios autores se hayan preguntado por la aparente similitud entre la corona en el mínimo de actividad con el símbolo alado del dios egipcio Ra (Figura B-02), el primero de todos los dioses. Se compara con una imagen de la corona (Figura B-03)

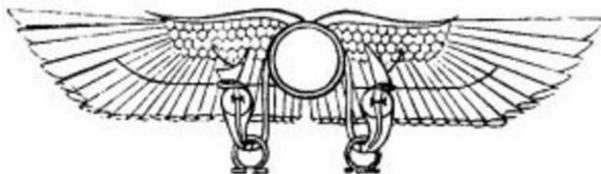


Figura B-02: El "Sol alado de Tebas", del libro *Egyptian Mythology and Egyptian Christianity* escrito por Samuel Sharpe en 1863. Dominio público

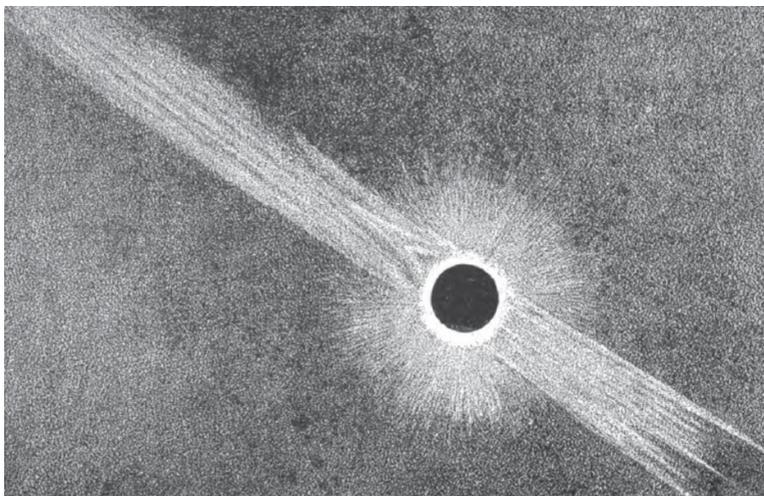


Figura B-03: Imagen de la corona solar obtenida durante el eclipse del 29 de Julio de 1878 por S.P. Langley, director del Smithsonian Institute desde el Pico Peak a 4303 en el estado de Colorado.

La curiosidad aumenta cuando vemos que aunque disponían de palabras para representar un eclipse, a lo largo de su dilatada historia no se encuentra en los escritos egipcios ninguna referencia a un eclipse total de Sol. La cuestión no es que Egipto se encontrase fuera de los caminos de los eclipses, ya que las trayectorias de unos 28 eclipses totales de Sol cruzaron el valle del Nilo desde el 2837 BCE hasta el 493 BCE.

Tres posibles explicaciones se han sugerido a esta paradoja.

a) Por un lado, se menciona el que los papiros son mucho más frágiles que las tablillas de arcilla babilonias y muchas crónicas pueden haber desaparecido⁸.

b) Por otro lado, hemos de tener en cuenta la gran importancia que tuvo el Sol como deidad en el antiguo Egipto. Digamos que no era políticamente correcto que un dios desapareciese sin más y el recuerdo de tales acontecimientos, con la pronta vuelta del Sol, quedó impreso en el símbolo de Ra.

Incluso se ha propuesto que los cambios de gobernantes más importantes ocurrieron poco después de un eclipse total, visible en territorio egipcio.

c) Finalmente, una última explicación es que los eclipses hayan quedado reflejados en la arquitectura. Al fin y al cabo, todo lo que conocemos del saber astronómico de los egipcios se ha extraído de inscripciones en monumentos y tumbas.

Como un ejemplo de un eclipse egipcio podemos citar el papiro demótico⁹ Berlín 13588 publicado por primera vez por Erichsen en 1956. Este documento procede de Heracleópolis Magna, que fue capital egipcia bajo los reyes el Primer Período Intermedio y una de las ciudades egipcias más importantes durante el Tercer

⁸ Por ejemplo, se han estudiado varias referencias a un eclipse total que debió de tener lugar el 29 de Julio de 1258 BCE, en la ciudad de Tebas durante el reinado de Ramses II que duró desde el 1279 al 1213 BCE.

⁹ El término demótico se refiere tanto a la escritura como al idioma egipcio que surgió en la última etapa del Antiguo Egipto. Para escribirlo se empleaba la escritura ideográfica demótica. Deriva del hierático utilizado en el delta del Nilo. El término fue utilizado por primera vez por el historiador griego Heródoto, para distinguirlo de la escritura hierática y jeroglífica.

Período Intermedio, más de mil años después. Este papiro en concreto debe ser fechado en el siglo I BCE.

En la tercera columna de su texto, cuando un sacerdote llamado Amasis, recuerda que él pudo escuchar en la ciudad egipcia De Tbn (Zeben), la Daphne griega (actualmente Tell Dafana, en el delta oriental) lo siguiente: *El cielo se tragó el disco solar cuando él fue llevado a la sala de embalsamamiento, en el que el cuerpo del rey Psamético debía ser preparado para el enterramiento* (Llull, 2006)¹⁰.

Diferentes estudios de los tres Psaméticos parecen señalar que estamos hablando del primero de ellos, Psamético I y el eclipse el 30 de setiembre del 610 BCE. Cálculos revelan que el eclipse tuvo una parcialidad de tan solo un 30% en la zona del Delta de Egipto.

Seguramente el periodo más interesante en relación con el Sol y sus eclipses duró solo un breve tiempo (1353 – 1336 BCE). Un faraón revolucionario y muy rico llamado Akhenaton cambió drásticamente cada elemento de la vida en su país en la búsqueda de su autoproclamada deidad monoteísta: el disco solar de Atón. En ello colaboró de forma entusiasta su esposa real Nefertiti (1370-1331 BCE). Para ello tuvieron que triunfar sobre la clase sacerdotal de Amón, que había dominado hasta entonces, aunque el culto solar existió desde el principio del Imperio¹¹.

Akhenatón ordenó la construcción, desde cero, de una ciudad completa en las arenas del desierto del Medio Egipto. La llamó Akhet-Aten, el "Horizonte del Disco Solar". Hoy se llama

¹⁰ Llull, J., 2006, El eclipse solar del papiro demótico Berlín 13588, Huygens 59, 16-21

¹¹ Según la religión egipcia, Ra fue el primer Dios. Decidido a crear un Universo, crea a la diosa Nuut, del cielo y la noche. Llegado el crepúsculo Nuut se "traga" a Ra y emprende una serie de procesos de los que Ra emerge renacido con el amanecer. Es el típico ciclo egipcio Morir-Renacer. Cansado de los asuntos humanos, Ra decide alejarse y se transforma en el Sol o disco solar.

Amarna (Kemp, 2014)¹². Puede haber contribuido a la construcción de una nueva capital el huir de Tebas ante la existencia de una epidemia de peste bubónica.

Es relevante preguntarnos cual sería la reacción de Akhenaton ante un eclipse solar. Se ha especulado sobre dos eclipses próximos en el tiempo. El 15 de agosto de 1351 un eclipse total fue visible en el Sur de Egipto. Donald Redford, experto en Akhenaton, ha sugerido que el mayor cambio en el estilo artístico de Akhenaton se produjo en su tercer año. Suponiendo que subiera al trono en 1354 a. C., esto colocaría el período de mayor cambio en algún momento del 1351 a. C. Curiosamente, hubo un eclipse solar total que pasó sobre el sur de Egipto entre Asuán y Soleb el 15 de agosto de 1351 a. C. Por lo tanto, habría ocurrido durante su tercer año, muy cerca en el tiempo de la aparición de su nuevo estilo artístico radical (Redford, 1984)¹³.

Este eclipse trascendental podría haber aterrorizado o alentado al rey a "ir a por todas" y seguir adelante con sus ambiciosos e innovadores planes artísticos, que cambiaron drásticamente después de este período.

Antes de este cambio, vemos al rey en el estilo de arte tradicional en proporciones clásicas

Tanto o más relevante fue el del 14 de mayo de 1337 que fue visible desde Amarna (Figura B-04, izqda.), poco antes de la desaparición de la ciudad. W.Mc Murray ha sugerido que una representación en la Tumba de Meryre I, supremo sacerdote, en los acantilados al norte de Armana podía representar a la Familia Real contemplando el eclipse (Figura B-04 derecha)

¹² Kemp, B., 2014, *The city of Akhenaten and Nefertiti: Amarna and its people*, Thames and Hudson, 320 pp.

¹³ Redford, D.B., 1984, *Akhenaten: The heretic King*, Princeton University Press, 288 pp.

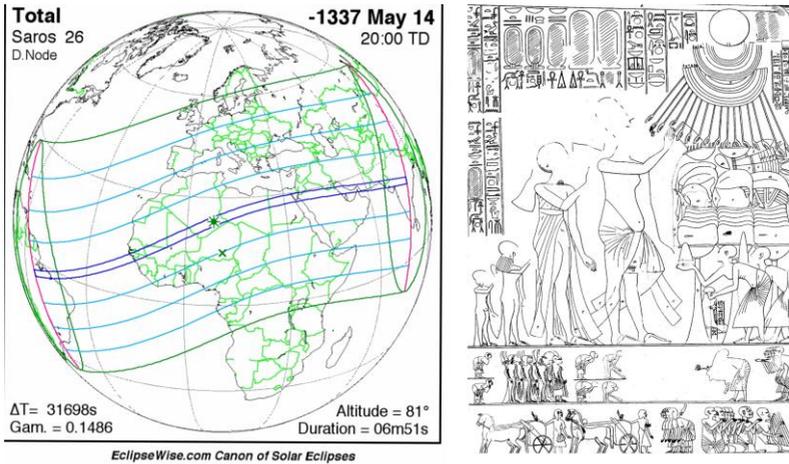


Figura B-04; (Izqda.) Camino del eclipse solar del 14 de mayo del 1337 BCE (Antes de la Era Común). (Drcha.) Imagen de la tumba de Meyre I en Amarna.

Así comenta el citado autor: “Entre el disco de Atón y sus rayos hay varios grupos de arcos multicolores, algo así como los collares anchos llevados por la realeza y los cortesanos, pero con ninguno de sus detalles internos típicos. Algunos han supuesto que representan rayos brillando a través de las nubes”.

Existen varias interpretaciones a esta escena. Sin embargo, W. Mc Murray¹⁴ le da especial importancia a la interrupción de los rayos de Sol. Los arcos múltiples se corresponderían con las ondulaciones vistas en el paisaje durante un eclipse y que se conocen como bandas de sombra.

La forma de collar de los arcos sería algo similar al anillo de diamantes de los eclipses totales (ver sección del capítulo 1, *Eclipse total solar paso a paso*). Personalmente no me decanto por esta u

¹⁴ Mc Murray, W., 2003, Dating the Amarna Period in Egypt: Did a Solar Eclipse inspire Akhenaten? Item 4 in the Egyptology Forum Library

otras interpretaciones, pero esta es la que mejor se ajusta a que Akhenatón y su familia contemplaron el eclipse. Uno debe seguir los hechos antes que las teorías, pero dichos hechos son siempre muy complicados de comprobar en Egiptología.

El hijo¹⁵ de Akhenatón, Tutankamón, gobernó durante diez años después de él, pero el joven rey y su corte abandonaron la ciudad después de solo tres años. Como dice el nombre con que ha llegado a nosotros, regresó al culto tradicional politeísta de Amón.

GRECIA

Tras la conquista de Mesopotamia por Alejandro el Magno (356-323 BCE) los conocimientos astronómicos mesopotámicos fueron aprovechados por astrónomos griegos, quienes desarrollaron modelos físicos del universo y aplicaron una cada vez más sofisticada geometría a los cálculos de efemérides y a la realización de medidas, siendo sorprendentemente buenas sus determinaciones del tamaño de la Tierra y el de la Luna, y la distancia a esta. Entre los sabios de la época destaca Hiparco de Nicea, el más brillante de todos y posiblemente el primero con un conocimiento detallado de la astronomía babilónica (ver Planesas, 2020)¹⁶.

En un fragmento de un poema perdido de Archilocus (siglo VII a.C) aparecen las palabras: *“Nada puede ser sorprendente, imposible o milagroso cuando ahora Zeus, ha hecho la noche al mediodía, ocultando la luz solar; trayendo el temor a la Humanidad. Después de esto los Seres Humanos pueden creer cualquier caso, esperar cualquier cosa”*. Parece una clara referencia a un eclipse

¹⁵ Hallazgos de varias momias en la tumba KV35 del Valle de los Reyes (Amenhotep II), han confirmado que una de ellas (The Young Lady) era hija de Amenhotep III y la reina Tiy (presente también en dicha tumba). Análisis efectuados han confirmado que Tutankamon fue hijo de la unión entre Akhenaton con su hermana, una de las esposas secundarias del faraón. Recientemente se la ha identificado con Tiya.

Por su lado, en una tumba aparte, KV55, se han identificado los restos de Akhenaton. Toda una historia de triunfos de la identificación por ADN y de suerte de haber encontrado las tumbas

¹⁶ Planesas, P., 2020, El Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid, 373-401

solar, probablemente el del 6 de abril del 648 B.C.E que ocurrió en el Egeo y durante la vida del poeta citado.

Otras descripciones poéticas de eclipses han sobrevivido. Así en un poema de Píndaro (¿518 -? BCE antes de la era común) dirigido a los tebanos se dice: “*¡Rayos solares! ¡Oh tú que eres visto desde tan lejos, que estás ideando! ¡Oh madre de mis ojos! ¡Oh estrella suprema, descansa de nosotros durante el día! ¿Por qué has desconcertado la potencia del Ser Humano y el camino de la Sabiduría, corriendo para adelante en una trayectoria oscura?*”

El mismo Píndaro, que era tebano, rezaba para que este portentoso universal se convirtiese en una bendición indolora para Tebas: “*No es un sabio lamento el que no es sufrido con el resto*”. La fecha más probable fue el 30 de abril del 430 BCE, cuando el eclipse fue casi total en Tebas.

Un eclipse anular ocurrió el 431 BCE, el primer año de la Guerra del Peloponeso. Según Plutarco, el piloto del barco que llevaba a Pericles (495-420 BCE) estaba muy temeroso, pero Pericles lo calmó colocando un manto delante de sus ojos, diciendo que la única diferencia entre esa acción y el eclipse era que algo mayor que el manto impedía la visión del Sol.

El historiador Tucídides (460-396 BCE) registró dos eclipses durante la Guerra del Peloponeso (del 431 al 404 BCE). El primero ocurrió el 3 de agosto del 431 y se señaló que durante la totalidad se pudieron ver algunas estrellas. Los cálculos coinciden salvo en el hecho de que no se pudo ver ninguna estrella excepto Venus. El segundo, 21 marzo del 424, fue descrito como un pequeño eclipse.

No podemos olvidar que la palabra eclipse proviene del griego *ekleipsis*, que se podría traducir como *dejar, abandonar* o *presentarse*.

Una palabra relacionada es *eclíptica*, que describe el plano del movimiento aparente del Sol. Proviene su nombre de que en esta zona es donde aparecen los eclipses.

Los parámetros que se deben conocer para realizar predicciones de eclipses son los siguientes: a) Duración del año

solar; b) Duración del mes lunar y c) Período de rotación de los nodos lunares, es decir, los puntos de intersección del plano de la órbita lunar con el plano de la eclíptica.

Los dos primeros resultan ser fácilmente accesibles, pero el tercero se basa en unos puntos no visibles en el firmamento y por lo tanto requiere un conocimiento más avanzado.

Sin embargo, sus aspectos básicos se conocen desde hace unos 4000 años, sobre todo por su relación con las predicciones astrológicas. El descubridor del ciclo de eclipses podría haber sido el astrónomo caldeo Beroso (350-270 BCE). Así lo afirma Eusebio de Cesarea (275-339) en su libro *Crónica*, donde menciona por primera vez la palabra griega *σάρος* (saros).

Es evidente que tanto Hiparco como Ptolomeo, de los que hablaremos a continuación, disponían de una lista completa de observaciones de eclipses a lo largo de varios siglos. Estas habrían sido compiladas, probablemente, a partir de las tablillas de arcilla de los caldeos.

Sin embargo, las predicciones basadas en dichos ciclos no te dicen en qué lugar de la Tierra será visible el eclipse resultante. Necesitamos algo de Física.

GEOMETRÍA Y MATEMÁTICAS

Varios siglos después apareció la inmensa figura de Claudio Tolomeo (100-170), cuya obra supone la culminación de la astronomía griega y babilónica. Publicó diversas obras, entre ellas la conocida modernamente como el *Almagesto*, un tratado sistemático de toda la astronomía matemática de la época, basada en los modelos de Hiparco de Nicea (190-120 BCE), destinada al cálculo de las posiciones de los astros en cualquier momento.

Los movimientos de los astros parecían ocurrir sobre la esfera celeste, con lo que las distancias entre ellos se tenían que medir como separaciones angulares. Los sumerios introdujeron el sistema sexagesimal, hace unos 6000 años. A los babilonios les debemos el dividir la circunferencia en 360 grados, idea que se ha impuesto hasta nuestros días. Tolomeo introdujo en su *Almagesto*,

la división de un grado en 60 minutos ('), y de éstos en 60 segundos de arco ("), una medida angular más conforme a la astronomía. Para cálculos científicos se suele utilizar, desde finales del siglo XIX, el radián (360 grados = 2π radianes).

Distancia Tierra-Luna

Desde la época de Hiparco se sabía que los **eclipses de Luna** se producían porque la Tierra se interponía entre el Sol y la Luna. De esta manera la sombra de la Tierra proyectada sobre la superficie de la Luna iba avanzando hasta que la cubría completamente.

Una vez pasado el eclipse Hiparco completó los círculos que correspondían a las sombras y midió la relación de radios entre los círculos que correspondían a la silueta de la Luna y a la sombra de la Tierra.

Hiparco Llegó a la conclusión de que la relación entre ambos radios era: **Radio Tierra / Radio Luna = 3,7** con lo que el radio de la Luna resultaba ser de 1.720 kilómetros, valor muy aproximado al que se maneja en la actualidad.

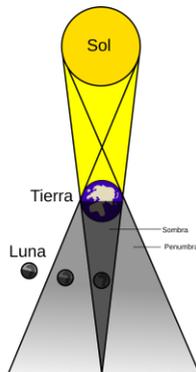


Figura B-05: Relación entre los radios del Sol y la Luna

Hiparco, siguiendo el método de Aristarco, dibujó la silueta de la Luna y de la sombra de la Tierra en varias fases del eclipse. Suponiendo que el Sol se encontraba muy alejado de la Tierra y de la Luna, la sombra proyectada de la Tierra tenía exactamente el

mismo tamaño que la Tierra, de la misma manera que las sombras chinescas mantienen exactamente el tamaño de las manos.

Una vez conocido el tamaño real de la Luna, es fácil calcular la distancia a la que se encuentra de la Tierra a partir del ángulo con que se ven los bordes más separados de la circunferencia que la limita. Este ángulo es de $0,51^\circ$. Entonces la forma de calcularla es la siguiente proporción: si al diámetro de la luna (3440 Km.) le corresponden $0,51$ grados, a la longitud de la órbita lunar ($2 \cdot \pi \cdot R$) le corresponderán 360° . El radio R de la órbita es la distancia entre la Luna y la Tierra. Esa distancia resultó ser de 379.000 kilómetros, lo que constituye una estimación magnífica de la realidad.

No hemos de olvidarnos que Aristarco de Samos (310-220 BCE). determinó por primera vez la distancia Tierra-Sol por métodos matemáticos. Se dio cuenta de que cuando la Luna estaba iluminada justamente a la mitad del círculo, es decir en el primer o último cuarto, el Sol, la Luna y la Tierra formaban un triángulo rectángulo con el ángulo recto situado en la Luna (Figura B-06).

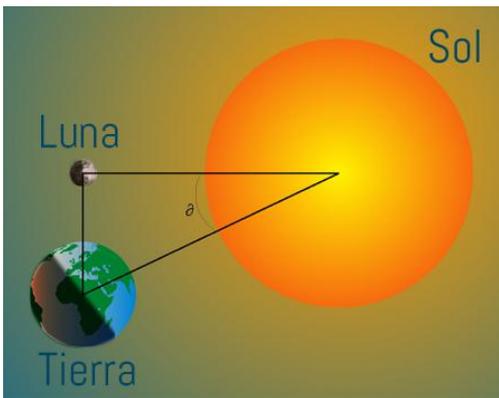


Figura B-06: Esquema de la determinación de la distancia de la Tierra al Sol.

Como se conocía la distancia Tierra-Luna, midiendo el ángulo que forman la recta Tierra-Luna (un cateto) y la recta Tierra-Sol (la hipotenusa) pudo calcular la distancia Tierra-Sol. Midió un ángulo de 87° y una distancia Tierra-Sol de unas veinte veces la distancia Tierra-Luna, es decir, 7.580.000 Kms, que es, a su vez,

unas veinte veces menor que la distancia real que hoy sabemos: 150 millones de Kms. El error estribaba en la dificultad que tenían para medir ángulos en aquella época (a ojo prácticamente). El ángulo real es de $89^{\circ}51'$.

En general las descripciones de los eclipses eran bastante simples, pero la situación fue mejorando paulatinamente. Al ocultarse la superficie solar por la Luna aparecía una zona luminosa en derredor de nuestra estrella, indicadora de la existencia de unas capas exteriores del Sol que permanecieron durante siglos fuera del alcance del estudio científico. Los halos que rodeaban a las divinidades pueden tener una relación con la observación de estas capas exteriores y un Sol con alas se representa en varias culturas, como la egipcia.

ECLIPSES HISTÓRICOS EN ÉPOCA CIENTÍFICA

Entendemos como tales los acontecidos después del descubrimiento del telescopio.

1612 mayo 30

En el registro de este eclipse se menciona que se vio “a través de un tubo” (Jarvis Records, 1925)¹⁷. Seguramente se refería a uno de los primeros telescopios que acababan de ser descubiertos. De la Figura B-07 vemos que el eclipse visto de esta forma tuvo que ser contemplado como parcial.

¹⁷ Eclipses since 2136 B.C. and interesting records thereof, 1925, Jarvis Records Archives, 29 Jan, p.007

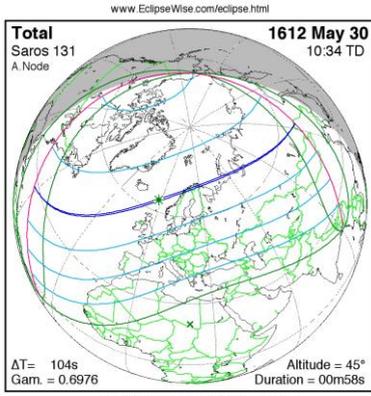


Figura B-07: Línea de totalidad del eclipse.

Las Islas Feroe fueron quizás el único lugar habitado desde el que se pudo contemplar. Se conservan algunas leyendas relacionadas con el evento.

1715: La primera predicción

físico-matemática

El eclipse total del 3 de mayo de 1715 no hubiera pasado a la historia, salvo por algún interés local en su camino de totalidad. Sin embargo, hoy en día se recuerda todavía por haber sido el primero en ser predicho en todas sus características. Fue visible en Inglaterra y Gales, el norte de Europa y el norte de Asia (Figura B-08).

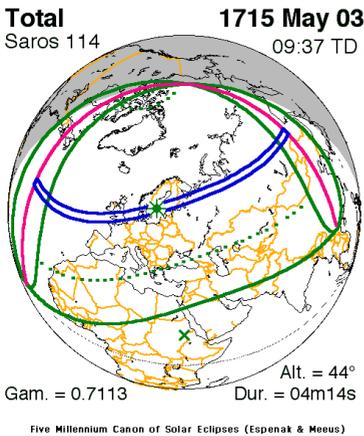


Figura B-08: Un eclipse más en la historia, salvo por la predicción de Halley.

El eclipse de 1715 se conoce como eclipse de Halley, en honor a Edmond Halley, quien predijo este eclipse con una precisión de 4 minutos. Halley observó el eclipse desde Londres donde la ciudad disfrutó de 3 minutos 33 segundos de totalidad. Halley también dibujó un mapa predictivo que muestra el camino de la totalidad a través de Inglaterra. El mapa original (Figura B-09) estaba a unas 20 millas de la trayectoria del eclipse observado, principalmente debido al uso de efemérides lunares inexactas.



Figura B-09: El camino de totalidad sobre Inglaterra.

Fuente: Institute of Astronomy Library University of Cambridge

Halley era un firme defensor de la ley de gravitación de Newton, con la cual determinó la órbita de la Luna. Se puso manos a la obra y calculó que el 3 de mayo de 1715, a las 9:04 de la mañana, la ciudad de Londres presenciaría un eclipse total de sol.

Para poder mejorar el conocimiento de la órbita de la Luna y las predicciones de los eclipses futuros, Halley por primera vez realizó algo, que hoy en día llamamos la ciencia ciudadana. Este científico pidió a las personas de todo el país usar sus relojes de péndulo para medir la duración del fenómeno en diferentes partes del Reino Unido y mandarle los resultados por correo. La totalidad fue observada desde Cornwall en el SW a Lincolnshire y Norfolk en el este. Fue también observada en Irlanda, aunque el tiempo allí fue frío y lluvioso.

Además, en su descripción Halley se anticipó a la observación de A. Ulloa, en el mar en 1788. Halley notó un pequeño anillo borroso alrededor de la Luna y pensó que era la primera

persona en ver la atmósfera de la Luna. Hoy sabemos que ésta era la cromosfera del Sol y que la Luna no tiene atmósfera.

En su escrito se lee: *“Unos segundos antes de que el Sol se ocultara por completo, se descubrió alrededor de la Luna un anillo luminoso de aproximadamente un dígito, o quizás una décima parte del diámetro de la Luna, de ancho. Era de una blancura pálida, o más bien de un color perla, me parecía un poco teñido con los colores del iris, y ser concéntrico con la Luna”*.

1919: El eclipse de Einstein

Albert Einstein (1879-1955) presentó, en 1915, la teoría general de la gravitación. En dicho contexto la luz debía desviarse al pasar cerca de un objeto masivo. El científico alemán lo calculó en 1.75 segundos de arco (“), para el caso del Sol. La segunda posibilidad era el valor aplicando las leyes de Newton. Se añadía una tercera posibilidad consistente en ninguna desviación, lo cual sería intrigante. Pero no existe ninguna teoría científica sin ser validada por un experimento o una observación

La primera oportunidad se ofreció durante el eclipse total del 29 de mayo de 1919 que fue visible en Brasil y en parte de África. Se organizaron dos expediciones británicas. La primera se dirigió a la isla del Príncipe (Figura B-10), portuguesa, cerca de la entonces Guinea Española, bajo la dirección de Arthur Eddington (Freire, 2024)¹⁸. El tiempo estuvo nublado gran parte del día, pudiéndose obtener 16 imágenes del evento de las que solo se pudieron aprovechar un par para el análisis.

¹⁸ A continuación de las observaciones de 1919, Eddington publicó *Space Time and Gravitation* (1920), y a continuación su libro sobre el tema, *Mathematical Theory of Relativity* (1923), que Einstein calificó de "... la mejor presentación del tema en cualquier lengua.

Ver también Freire, N., 2024, El eclipse de 1919 que conformó la Teoría de la Relatividad de Einstein, National Geographic



Figura B-10: Mapa del Golfo de Guinea con la Isla portuguesa de Príncipe. En la costa Guinea Ecuatorial entonces de España.

La segunda se instaló en Sobral (Figura B-11), Norte del Brasil, bajo la coordinación del Charles Davidson del Observatorio de Greenwich y la ayuda de A.C. Crommelin, Furner y colegas y autoridades brasileñas. El tiempo no fue perfecto, pero aún así, se consiguieron exponer las placas suficientes. Las medidas arrojaron un valor de $1''.61 \pm 0.30$ para la expedición africana y de $1''.98 \pm 0.12$ para la brasileña. Para una visión que presenta una versión alternativa de los datos ver Gilmore y Tansch-Pebody (2022)¹⁹ donde se incluye la tabla siguiente.

Eddington claramente defendió los resultados de Príncipe, contando desde el principio con el apoyo de la Royal Astronomical Society.

Tabla: Comparación de los acuerdos de cada telescopio con las tres hipótesis planteadas. Los valores $P(z)$ son las probabilidades de

¹⁹ Gilmore, G., Tansch-Pebody, G., 2022, *The 1919 Results that verified general relativity and their later detractors*, Notes and Records, The Royal Society Journal of the History of Science 76, 155-180

observar un resultado tan extremos como la predicción de los modelos Einstein, Newton o la nula, Así, por ejemplo, los resultados del astrógrafo de Príncipe son consistentes con las predicciones de Newton al nivel del 10%, mientras que los de Sobral son solamente consistentes con las de Einstein. Z es la diferencia entre los valores observados y predichos, en unidades de la desviación standard.

Telescopio	Deflexión (arcsec)	Einstein		Newton		Cero	
		z	P(z)	z	P(z)	z	P(z)
		Sobral 4-pulgadas	1.98 ± 0.18	1.28	0.201	6.17	0.000
Príncipe astrograph	1.61 ± 0.45	-0.31	0.756	1.64	0.100	3.58	0.000

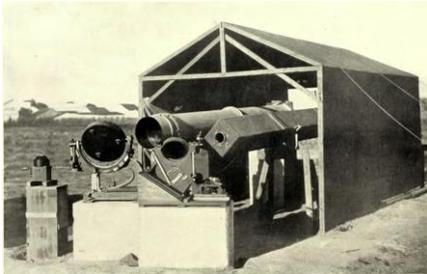


Figura B-11: Sobral (Brasil)
 Dos astrógrafos alimentados de luz solar por sendos celostatos

El buen tiempo acompañó a los expedicionarios al siguiente eclipse, que tuvo lugar el 21 de septiembre de 1922 en Australia, en la localidad aislada de Wallal, en el oeste, donde tuvieron unos 5 minutos de totalidad. La expedición estuvo organizada por el Lick Observatory (W. Cambell) y contó, entre otros, con aportes de la Royal Australian Navy y Kodaikonal Observatory (India). El valor de la desviación medida fue de $1''.76 \pm 0.016$, muy cercano a la predicción de Einstein (Campbell, 1923)²⁰.

²⁰ Campbell, W.W., 1923, *The total solar eclipse of the Sun, 21 Sept. 1922*, Publications of the Astronomical Society of the Pacific 35, 11-44

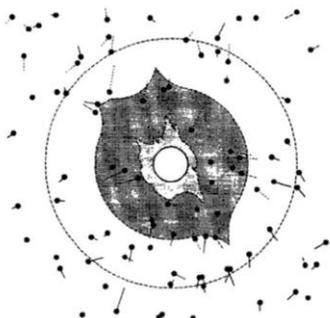


Figura B-12: Desplazamientos de las estrellas durante el eclipse australiano de 1922, compatibles con la Teoría de la Relatividad de Einstein.

Crédito: Campbell and Trumper, Lick Observatory Bulletin (1923).
Creative Commons License

Trumpler (1928)²¹ ratificó en toda su extensión los resultados de los eclipses, que verificaron la teoría de la relatividad de Einstein.

Pasamos ahora a una sección diferente. Se trata de los eclipses solares que han sido visibles en España desde los visigodos hasta 1700.

²¹ Trumpler, R., 1928, *Final Results on the Light Deflections in the Sun's Gravitational Field from observations of the Total Solar Eclipse of September 21, 1922*, Publications Astron. Society of Pacific 40, 130-131

ECLIPSES EN LA ESPAÑA, INSULAR Y CONTINENTAL (900-1700)

Si Dios me hubiera consultado antes de embarcarse en la Creación, le hubiera recomendado algo más sencillo

Alfonso X de Castilla (1252)

Condenado Sistema Solar. Mala luz; Planetas demasiado distantes; perturbado con cometas; Artilugio débil. Yo podría hacer por mí mismo uno mejor

Lord Francis Jeffrey (1773-1850)

Año 939 julio

El eclipse comenzó en el Atlántico, atravesó la península Ibérica desde el cabo de San Vicente al de Rosas para adentrarse en centro Europa y Sur de Asia acabando en Indonesia (Figura B-13).

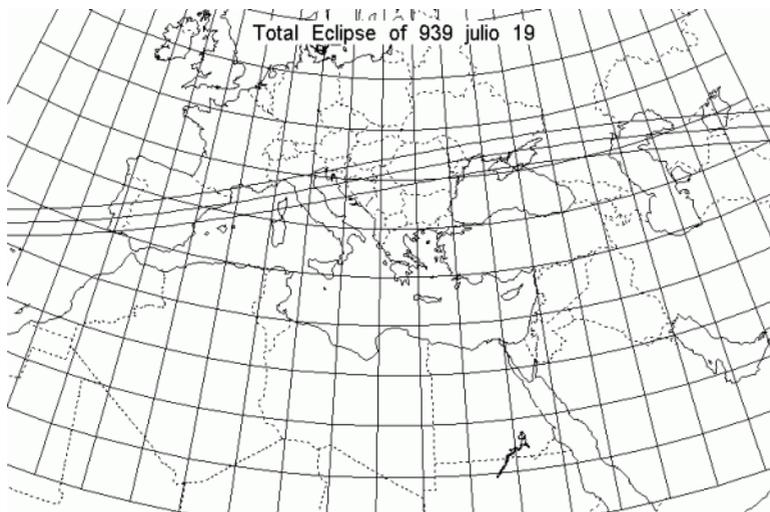


Figura B-13: Camino de la totalidad

La crónica del eclipse no es por el eclipse en sí, sino por la sorpresa que causó en dos bandos enfrentados. En julio de 939 se disponían a combatir por un lado el rey Ramiro II (898-951) de León con sus ejércitos situados ente los ríos Pisuerga y Duero y por otro lado el ejército del califa Abd al-Rahman III (891-961). En la batalla estaba en juego las tierras del Duero.

El 19 de Julio, tras salir el Sol, estaban ambos bandos dispuestos para la lucha cuando algo insólito sucede: *el Sol se ensombrece, la oscuridad lo invade todo, los animales se refugian....* Ambos ejércitos asustados y temerosos detienen sus disputas. El susto les duró unos cuantos días hasta que empezaron de nuevo la batalla.

Finalizó el 1 de agosto con victoria de Ramiro II. En Simancas el eclipse fue parcial ocultándose el 96% de Sol. Suficiente para asustar a unos ejércitos, que desconocían la causa del evento, durante unos cuantos días.

1239 junio 3

Uno de los eclipses más observados de la Historia. Su camino de totalidad cruzó el Sur de Europa (Figura B-14). Stephenson (1997)²² compiló observaciones en Europa Occidental incluyendo Arezzo, Cesena, Coímbra, Florence, Montpellier, Marola, Siena y Split. Martínez Usó et al. (2016)²³ resumen el eclipse, incluyendo fuentes hispanas.

²² Stephenson, F.R. ,1997, *Historical Eclipses and Earth's Rotation*. Cambridge University Press.

²³ Martínez Usó, M.J. F.J. Marco Castillo, L. Ibáñez, 2016, *OSCURAUIT SOL: Stone Engravings and Other Contemporary Spanish Records for the A.D. 1239 and A.D. 1354 Eclipses and Their Astronomical Implications*, Journal for the History of Astronomy Num. 47. Vol. I. pp. 61-75.

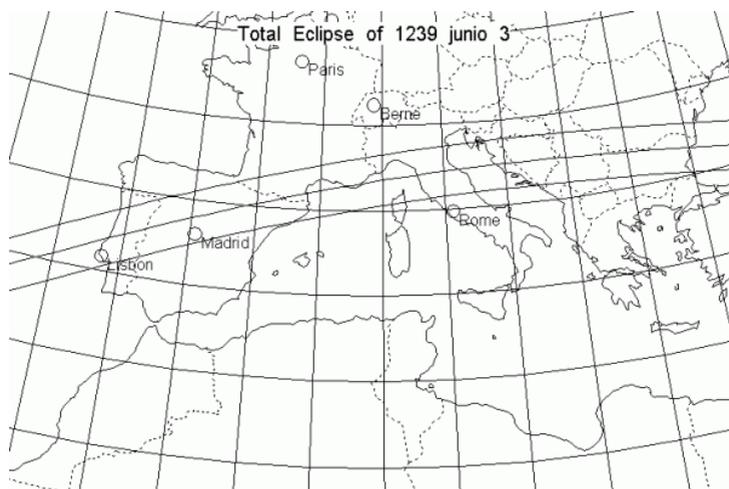


Figura B-14: Mapa de la totalidad calculado informáticamente con el programa Occult de D. Herald (Australia), Delta T= 840 s

Debió de ser un eclipse magnífico pues tuvo una duración de 6 minutos con el Sol a 70° de altura. La oscuridad fue total viéndose muchas estrellas en el cielo. El eclipse en cuestión atravesó el centro y norte de la península Ibérica como vemos en el plano, siguió por el centro de Italia, hasta los Balcanes.

En los Anales de la Corona de Aragón del historiador Jerónimo Zurita (1511-1580) se hace referencia a este eclipse. El rey Jaime I el Conquistador (1208-1276) entró en la ciudad de Montpellier y al día siguiente, entre el mediodía y la hora nona el cielo se hizo tan oscuro que se podían ver las estrellas. Este eclipse también está descrito en dos inscripciones medievales en la ciudad de Soria. En la Concatedral de San Pedro se puede leer "OBSCVRATVS E(st) SOL(s)T(i)CIO IV". A escasos metros de allí, en la iglesia de San Nicolás de Soria (ahora en ruinas) queda un fragmento con la inscripción siguiente: "CVRAT(us) EST SOL(sticio) ER(a) MCCLX". Ampliar la información en la

enciclopedia del Románico en Castilla y León (coordinador JM Rodríguez Montañez).

En *Iohannis Longi Chronica Sancti Bertini*, escrito en el siglo XIV en la abadía francesa de St Omer se dice: “*El día 3 de junio a mediodía ocurrió un eclipse de Sol extraordinario en parte del Reino de Navarra y cerca de Pamplona, hasta el punto que el día que estaba claro se volvió tan oscuro como si fuera de noche... un eclipse de luna debe de ser universal, pero no lo es nunca el de Sol*”.

En las *Crónicas de Coímbra* la descripción es más precisa. “...*nunca antes había sucedido desde la Pasión de nuestro Señor hasta hoy. Era desde luego de noche entre la hora sexta y la novena y el Sol se volvió negro como la boca de lobo y muchas estrellas aparecieron en el cielo.*” (Ver Pavía Alemany, 2006)²⁴

1354 El eclipse híbrido del 17 de septiembre

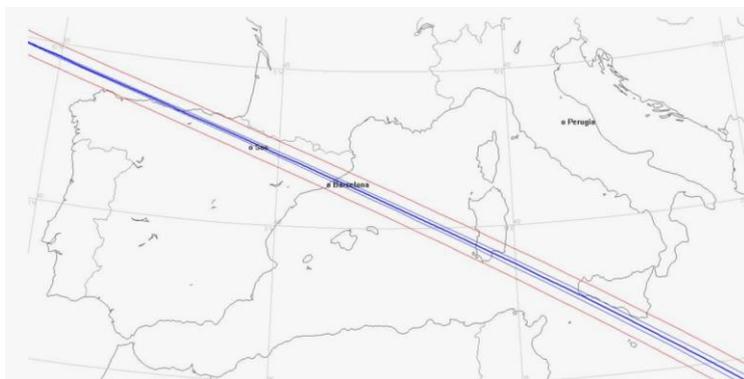


Figura B-15: Camino de totalidad del eclipse de 1354. Las líneas rojas corresponden a una magnitud de 0.99.

²⁴ Pavía Alemany F., 2006, *El Rey Don Jaime I y el eclipse solar de Montpellier*, Huygens 60, 35-37

Martínez Usó et al. (2016) han encontrado dos referencias de este eclipse. *Esteve Gilabert Bruniquer i Riera* fue un notario de Barcelona en los siglos XVI-XVII. Después de su muerte se incluyeron sus escritos en una obra *Rubriques de Bruniquer* que incluía otros trabajos. En su Vol. 5 bajo el título “*Cosas prodigiosas y asombrosas*” entre otros avistamientos se señala: *El miércoles 16 septiembre de 1354, poco después de las tres, hubo un eclipse solar, que duró casi media hora.* Aunque hubo un error de un día, seguro que se trataba del día 17. Usando los datos actuales el eclipse no llegó a ser total en Barcelona.

Mayor credibilidad tiene un documento de Sos (Aragón). Se trataba de unas inscripciones en el arco de medio punto de la arcada sobre la Plaza del Consejo. Anno domini MCCC: L: IIII XVII die septembris: hora prima: Obscura uit sol (Año del Señor 1753, 17 septiembre: hora prima, se ha oscurecido el Sol). Sin embargo, usando parámetros de la época el eclipse fue parcial (magnitud 0.99) con su máximo a las 9:12 (hora prima) y una altura de 23.6°.

Eclipses vistos desde Canarias (siglos XIV- XV)

José Juan Jiménez González, conservador del Museo Arqueológico de Tenerife, ha estudiado dibujos en la cerámica indígena relacionados con la aparición de eclipses solares. Durante los siglos XIV y XV se habrían producido en Canarias unos 87 eclipses solares. Durante este período tan solo en el XV estarían habitadas por europeos las islas orientales.

Así menciona una pieza de cerámica de forma ovoide e hiperbólica, bien conservada, procedente de Agüimes (Gran Canaria) y depositada en el Museo Canario (Figura B-16), Está pintada al almagre en la panza con una circunferencia con radios externos y reserva interior, dos círculos con líneas radiales y dos anillos circulares con reserva, que para este especialista en Prehistoria suponen las distintas fases de un eclipse de sol.



Figura B-16: Jarra indígena encontrada en Agüimes (Gran Canaria), conservada en el Museo Canario, catálogo número 260, mostrando dos rasgos que, presumiblemente, representan un Sol y un Eclipse Solar (Fuente: El Museo Canario).

Recientemente se ha sugerido para esta cerámica una fecha astronómica “situada en el siglo XIV, entre los años 1350 y 1387, cuando se produjeron eclipses de sol de gran magnitud claramente visibles desde aquella localidad aborígen y, más concretamente, alude al eclipse acontecido el jueves 17 de julio de 1376 por su semejanza formal con el reproducido en la vasija. Sin embargo, los cálculos indican que fue un eclipse anular, pero que justo se inició en las costas occidentales de África, con lo que no fue visible en Canarias, salvo quizás como uno parcial débil y al amanecer.

Consultando la base de datos de Xavier Jubier, basada en el catálogo de eclipses de Espenak y Meeus, se obtiene un total de **cuarenta eclipses de sol visibles desde Canarias entre los años 1401 y 1500**. Muchos de ellos tuvieron lugar en horas cercanas al amanecer o a la puesta de sol, lo que en algunos casos dificultaría su observación, por no mencionar eventuales condiciones atmosféricas adversas en el momento de producirse el fenómeno, pero al menos diez de ellos serían perfectamente avistados si no concurrió el encontrarse el cielo nublado. Concretamente, los de los años **1431, 1438, 1448, 1453, 1462, 1470, 1478, 1481, 1485 y 1492**.

1478 Julio 29

El instante del mayor eclipse ocurrió a las 13:01:06 con su inicio a las 12: 57:38. La duración de la oscuridad entonces fue de 5m18s con una magnitud de 1.0676. El eclipse ocurrió un día después de que la Luna alcanzase el perigeo (Figura B-17).

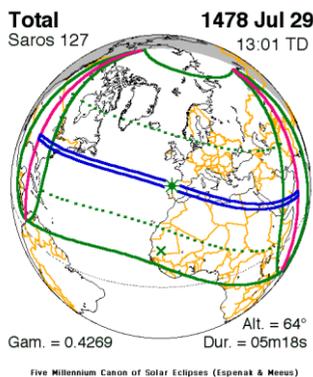


Figura B-17: Datos astronómicos del eclipse solar del 29 de julio de 1478. Nótese que las curvas punteadas indican aproximadamente las localizaciones donde la ocultación del disco solar fue del 50%, entre ellas, las Islas Canarias (fuente: Five Millennium Canon of Solar Eclipses—Espenak & Meeus)

Juan de Salaya²⁵ (aprox. 1445-1533), catedrático de la Universidad de Salamanca, al que se le atribuyen alguna de las tablas astronómicas recopiladas en “Tabulae ad meridianum Salmantinum”, dejó la cátedra de astrología en 1469, para pasar a ocupar la cátedra de lógica, sin abandonar por ello la astrología, como lo demostró al escribir sobre la interpretación del eclipse de sol ocurrido en 1478: *Aconteció un horrible eclipse de Sol en el que se vieron todas las estrellas y del que seguirán entre otros grandes males, pestes, muertes de pontífices y de príncipes*. Interpretación obsoleta para un profesor de Matemáticas del Renacimiento.

El próximo eclipse anular en Salamanca será el 27 de febrero de 2082 y el próximo total el 16 de Setiembre de 2965.

Andrés Bernáldez, cura de Los Palacios (Sevilla), dedica el capítulo XXXIV de su *Historia de los Reyes Católicos* a este fenómeno: “*El dicho año de mil y cuatrocientos y setenta y ocho, a veinte y nueve días del mes de julio, día de Santa Marta a medio día, hizo el sol un eclipse, el más espantoso que nunca los que hasta allí eran nacidos vieron, que se cubrió el sol del todo y se paró negro y parecían las estrellas en el cielo como de noche; el cuál duró así cubierto muy gran rato, hasta que poco a poco se fue descubriendo,*

²⁵ Primero de Astrología (1464-1469) y posteriormente de Lógica.

y fue gran temor en las gentes, y huían a las iglesias, y nunca de aquel hora tornó el sol en su color, ni el día esclareció como los días de antes solía estar, y así se puso muy caliginoso”.

En la América precolombina los mayas fueron capaces de predecir los eclipses. En Chichen Itzá se pueden contemplar los restos del observatorio "EL Caracol" y del templo "El Castillo", un asombroso calendario solar. El códice de Dresden es uno de los cuatro manuscritos que se conservan de la civilización maya y en él se describen las características de 69 eclipses totales de Sol, de los cuales solo 18 fueron visibles en el territorio maya. Sin embargo, la reacción de la población no correspondía a la contemplación de un fenómeno natural.

En la Historia de la Astronomía la importancia de los eclipses no se ha limitado a ser un banco de pruebas de la bondad de nuestras ideas sobre la Mecánica Celeste. Su misma observación ha proporcionado un avance cualitativo en el conocimiento de nuestra estrella.

CAPÍTULO III: EL SIGLO XVIII

1706 MAYO 12

Este eclipse se inició cerca de las Islas Canarias, cruzó Marruecos y entró en la Península por la parte Este del Mediterráneo. A continuación, se desplazó al centro de Europa terminando en el Norte de Rusia (Figura C-1). Pertenecía al Saros 133.

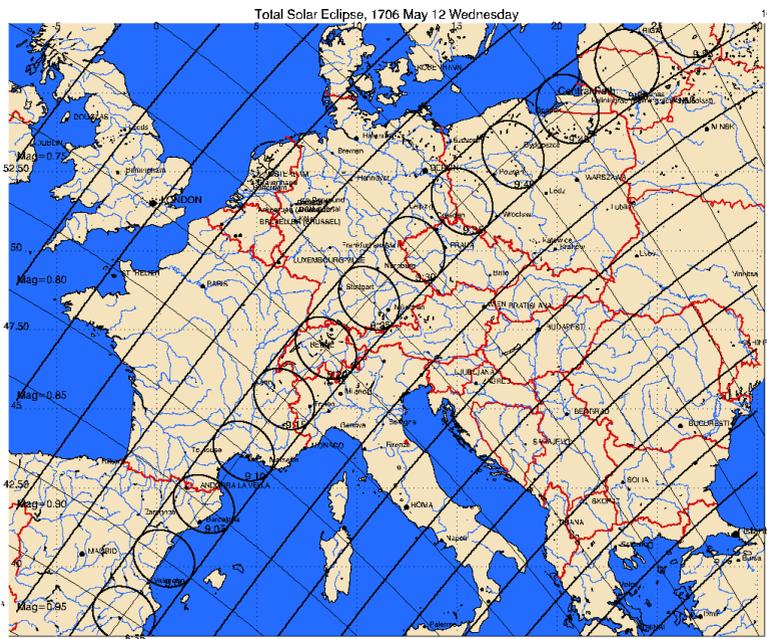


Figura C-01: Camino de totalidad en el Mediterráneo y Centroeuropa

Los cálculos nos indican que este eclipse total de Sol tuvo su inicio en Canarias (ver Figura C-2). Sin embargo, durante esos días los habitantes de Tenerife estaban más ocupados con otro

Málaga

En los fondos de la biblioteca de la Universidad de Sevilla se conserva el único documento escrito en Málaga que describe lo que aconteció (y las desgracias que habrían de venir). Fue compuesto por D. Gonzalo Antonio Serrano, Maestro de Matemáticas y Cirujano de la Plaza Mayor y Presidio de Ceuta con el título de *Discurso General sobre el Eclipse de Sol, que sucedió el día doze (sic) de Mayo*, a las diez y nueve horas y 40 minutos (que es a las ocho de la mañana) al Meridiano de las dos Andaluzias, en 30 minutos de diferencia, acerca del tema, para los acontecimientos, que sucederán en toda la Europa, de Guerras, Muertes, Disensiones, Alborotos de Pueblos y Asolamientos de Ciudades²⁶.

Así se iniciaba el escrito : *De grandísima consideración son las señales portentosas, que se aparecen en el Cielo, como son los Cometas y los Eclipses, y otras imperfecciones meteorológicas, causadas de los tránsitos, afectos y otras pasiones y accidentes que los Planetas poseen , por la traslación y colección de sus luces, causando en la Tierra grandes novedades, alteraciones y mudanzas en las cosas de este Mundo, como la experiencia lo ha demostrado en diferentes, que se han visto, y observado en tiempos pasados, en guerras, pestes, hambres, transmigraciones de Reynos y asolamiento de Ciudades, sediciones y otros fracasos entre los hombres, con muertes de hombres señalados.*

²⁶ El texto es un poco ambiguo. Sin embargo, está claro que en 1706 no tenía sentido hablar de Diez y Nueve horas, refiriéndose a las diecinueve horas.

Entendemos que se referían explícitamente a las diez y a las Nueve horas, y estarían hablando de un intervalo. Esto puede explicarse porque los meridianos de las dos Andaluzias, contadas en sus extremos, podían estar separadas por algo menos de una hora (diferencia de longitud entre Almería y Huelva). Igual en Ceuta, que había sido territorio portugués hasta 1640, contaban quizás una hora menos, de ahí lo de las 8 de la mañana, frente a las 10 en Almería y las 9 en Huelva.

Elda (Alicante)

Ninguna referencia tenemos al respecto de cómo los eldenses vivieron, sin que nadie les avisara, aquel oscurecimiento total del disco solar en la villa de Elda que permitió que la noche o la penumbra se adueñara de día del cielo eldense. Podemos imaginar que de todo hubo, desde aquellos que lo tomaron con normalidad, a otros con resignación, o quienes, con carácter más apocalíptico, debieron encomendarse a Dios ante la llegada de grandes males, pasando por los que debieron acudir a la parroquia de Santa Ana a expiar sus pecados y oír misa por lo que pudiera acontecer.

Barcelona

Justo esos días de 1706 se estaba produciendo el ataque de las tropas de Felipe V de Borbón (1683-1746) a Barcelona, en el marco de la Guerra de Sucesión que le enfrentaba al Archiduque Carlos (1685-1740) de la dinastía de los Ausburgos (Figura C-3). El eclipse causó gran impresión en ambas partes, de modo que se interrumpieron las actividades bélicas y las tropas felipistas abandonaron el asedio. Las fuentes documentales explican que la fuga de Felipe V causó una gran perplejidad en todas las cancillerías de Europa, pero especialmente en la de Versalles, regida por su abuelo y valedor Luis XIV (1638-1715) de Francia: “El Rey Sol”

La Guerra continuó, si bien no es el tema de esta obra. El paso final fue cuando los Tres Comunes de Cataluña resolvieron la rendición de la ciudad el 12 de septiembre, que fue ocupada el 13 de septiembre de 1714. El 18 de septiembre se producía la capitulación de la Ciudad y el Castillo de Cardona, acabando la guerra en toda Cataluña y la definitiva entronización de los Borbones en España. El eclipse había sido una anécdota en la batalla, que cada uno interpretó a su favor.



Figura C-03:
Los contendientes:
Archiduque Carlos
(1685 – 1740) y
Felipe V (1683-
1746)

Resultó sorprendente el excelente tiempo que reinó a lo largo de todo el camino de totalidad, incluidas las regiones más al norte. Aunque hacía ya unos cien años del descubrimiento del telescopio, todavía las observaciones de eclipses se hacían a simple vista.

En cuanto a las repercusiones en la Ciencia española fueron prácticamente nulas ya que por entonces no había ninguna institución que se dedicara a tales actividades.

El jesuita J. Cassani (1673-1750) observó el eclipse desde Madrid con una totalidad del 87.5%. Su descripción fue publicada por la Academia de Ciencias de París. Para su biografía ver Gómez Oreña (2015)²⁷.

1753 OCTUBRE 26

El conocimiento científico en medio de la Ilustración no parecía suficientemente difundido, que todavía podían ocurrir errores con la ya predicción de los eclipses. Vamos a comentar lo que pasó con el del año 1753 octubre 26 cuya línea de totalidad debería cruzar España y Portugal (Figura C-4). Era el de la creación del Observatorio de San Fernando en Cádiz.

²⁷ Gómez Oreña, Mercedes, 2015, *La Casa y Negocios de Juan Bautista Cassani. Un financiero genovés en la España del siglo XVII*, Tesis doctoral, Uned

El eclipse pertenecía al Saros 139 (número 15 de los 71 de estas series). Todos ellos aparecen en el nodo ascendente de la Luna. Nuestro satélite se mueve hacia el Sur con respecto al nodo con cada eclipse sucesivo en las series.

Se trataba de un eclipse híbrido lo cual ocasionaría grandes problemas para su observación (ver el de 1912 en Galicia).

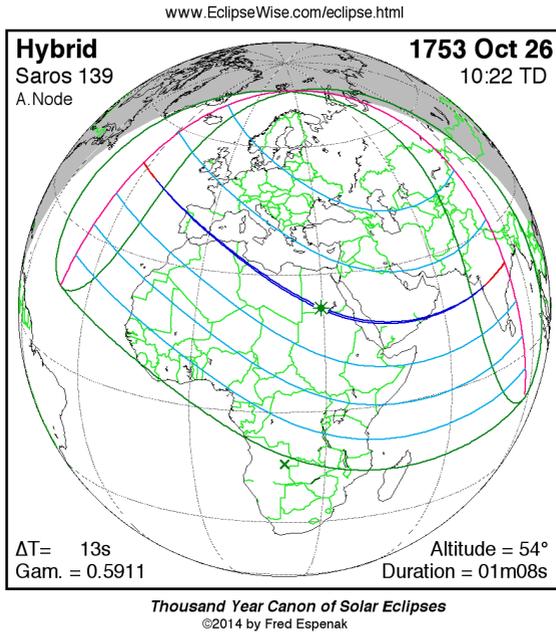


Figura C-4

Entonces no era sencillo organizar una expedición científica por lo inseguro de los transportes (marítimo y terrestre) y la logística en el lugar escogido por su climatología.

Así y todo, los franceses tenían una cierta tradición y organizaron una expedición a Portugal bajo la dirección de Le Vallois y contando con la colaboración del portugués Miguel Tiberio

Pedegache (Le Vallois y Pedegache, 1753)²⁸. Seleccionaron para su propósito la ciudad de Aveiro (40.64; -8.66 grados).

Por su parte en España se acababa de fundar el Observatorio de San Fernando, bajo la dirección de Jorge Juan Santasibilia (1713-1773) y Antonio de Ulloa (1716-1795) y el control de la Marina Española. Probablemente pensaron que tenían que organizar una expedición en suelo patrio. Para ello escogieron la ciudad de Trujillo (39.46; -5.88 grados) en la provincia de Cáceres (Lafuente y Selles, 2000)²⁹.

La elección de las estaciones de observación se había hecho en base a sus cálculos teóricos. En ambos casos resultaron erróneos y ambos lugares quedaron al Sur de la banda de totalidad. Resultado: Un eclipse parcial.

1778 JUNIO 24

Entendemos que España incluye sus posesiones extraterritoriales, como pueden ser los barcos y hoy en día los aviones. Este fue el caso del eclipse que vamos a narrar (Figura C-5) y que además trajo un descubrimiento en las capas externas de nuestra estrella.

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

Principio del eclipse	12h 59.8m UT
Principio del eclipse total	13h 55.8m UT
Máximo del eclipse	15h 34.6m UT
Duración totalidad en el máximo	5m 52s
Anchura zona totalidad en el máximo.....	255 km
Magnitud máxima	1,035
Fin del eclipse total	17h 13.4m UT

²⁸ Le Vallois, M.T., Pedegache, 1753, *Observation de léclipse de Soleil du 26 Octobre de 1753 faite au College Royale de Saint Antoine l'Hermitte*, 3 Volumenes

²⁹ Lafuente, A., Selles, M., 2000, *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Ministerio de Defensa

Fin del eclipse18h 09.4m UT

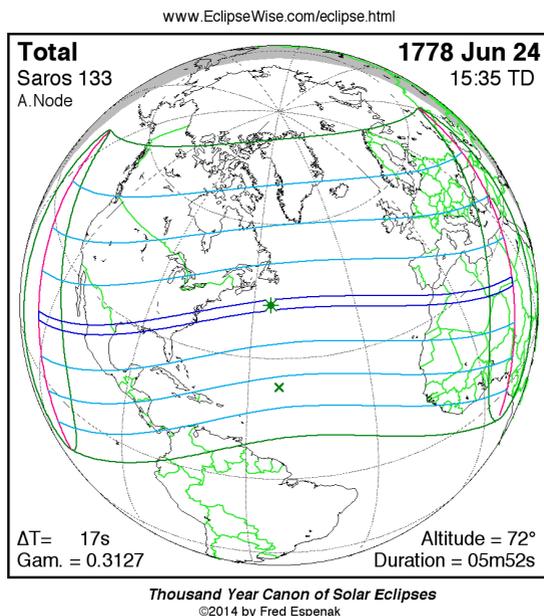


Figura C-5:

Antecedentes

La Flota de Nueva España, con 17 navíos al mando de A. Ulloa (1716-1795), 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 Pedro González de Castejón y Salazar (1719-1785) con el fin de evitar encuentros con buques enemigos y asegurar el cargamento de la

flota. Las principales notas de lo que sigue están tomadas de López Moratalla (2016)³⁰ y Vaquero (2003)³¹.

Ello obligó a Antonio Ulloa, comandante de la flota, 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. Fijada para el día 24, se vio obligado a retrasarla hasta el 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.

Finalmente, 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.

Ulloa contaba a bordo de su nave *El España* con las efemérides astronómicas británicas, *The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris*, y francesas, *La Connaissance des Temps*, ambas para 1778. En ellas se facilitaban las circunstancias generales del eclipse y las circunstancias locales para Greenwich y París, respectivamente.

³⁰ López Moratalla, T., 2016, *Antonio de Ulloa, el eclipse total de Sol del 24 de junio de 1778*, en LIII Jornadas de Historia Marítima: D. Antonio de Ulloa, Instituto de Historia y Cultura Naval

³¹ Vaquero, J.M., 2003, The Solar Corona in the Eclipse of 24 June 1778, *Solar Physics* 216, 41-45

Las efemérides francesas también incluían una descripción somera de la línea de la centralidad del eclipse: «... *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.

La instrumentación disponible a bordo era:

- 2 anteojos acromáticos de 3 y 4 pies, respectivamente (91 y 122 cms)
- 3 anteojos de 0,5; 2 y 2,5 pies, respectivamente (15, 61 y 76 cms)
- 1 antejojo 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.

El eclipse

Llegado el momento del eclipse Ulloa se perdió el primer contacto. En sus palabras del escrito de la Figura C-6: “*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 mantuviese (sic) el antejojo 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 tuviese (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 adición dificultaba más la operación, haciéndola más trabajosa”.

EL ECLIPSE DE SOL CON EL ANILLO

REFRACTORIO DE SUS RAYOS,
LA LUZ DE ESTE ASTRO.

VISTA DEL TRAVÉS DEL CUERPO DE LA LUNA,
O ANTORCHA SOLAR EN SU DISCO,
OBSERVADO EN EL OCCEANO
EN EL NAVIO EL ESPAÑA,
CAPITANA DE LA FLOTA DE NUEVA ESPAÑA,
M A N D A D A

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.

Figura C-6: Publicación de A. Ulloa en que resume sus observaciones del eclipse

En la Figura C-07 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 sobre la superficie terrestre a partir de la tercera imagen.

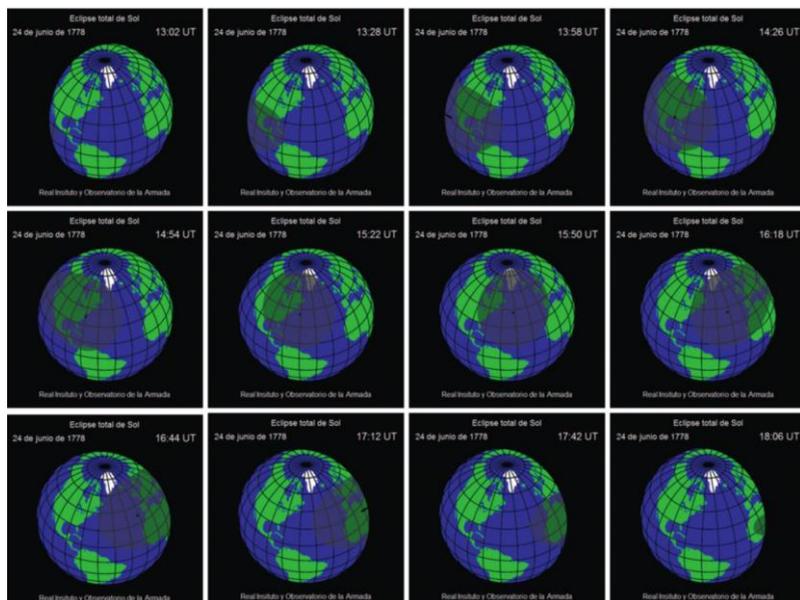


Figura C-07: Evolución de los conos de sombra

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: “*Cosa de 5. ù 6. segundos después 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 al del Sol, y en la misma proporción creció su resplandor y brillantez, hasta que los dos*

centros coincidieron, o estuvieron (sic) en la mayor inmediación, que se percibió en toda su fuerza y hermosura (...)”

Este anillo 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 (Figura C-08).

La anterior es una fiel descripción de lo que hoy conocemos como corona. Pero este no era el descubrimiento de Ulloa. En el minucioso relato que realiza el capitán de la flota de la observación del anillo 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.

“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 cual desvaneciéndose parecía desde la mitad del grosor hasta la extremidad exterior del anillo de un color blanco, pero igualmente brillante en todo su grosor”.

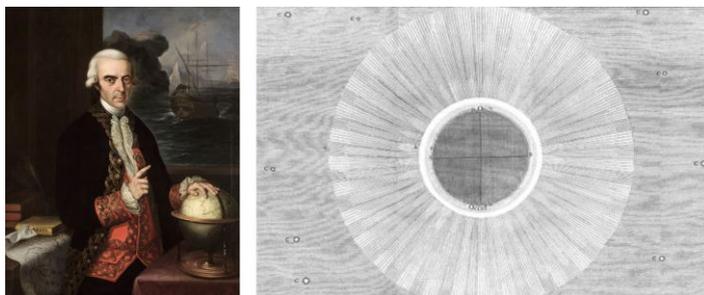


Figura C-8: (Izqda) Almirante Antonio de Ulloa; (Derecha) Explicación de la figura que se encuentra en la página 27 de la Memoria escrita por Ulloa: «*La lámina que en una sola figura dice 1ª y 2ª demuestra el Eclipse de Sol, después de su Inmersión, con el anillo resplandeciente de refracción, los rayos de luz blancos, y algunas Estrellas.*»

AB es el disco de la Luna, obscuro todo él: (ab) es el anillo 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»

Y así llegamos al Siglo XIX, el siglo de la Ciencia y de las Maravillas. Entre estas últimas las que iba a proporcionar la fotografía (ver Arnold, 1992 para un resumen)³². Resumamos aquí algo de lo conseguido con anterioridad.

En general las descripciones de los eclipses eran bastante simples, pero la situación fue mejorando paulatinamente. Al ocultarse la superficie solar por la Luna aparecía una zona luminosa en derredor de nuestra estrella, indicadora de la existencia de unas capas exteriores del Sol que permanecieron durante siglos fuera del alcance del estudio científico.

Durante la fase de totalidad de un eclipse se observaba un resplandor más allá del borde del disco solar ocultado, al que se le dio el nombre de corona. Debido a la sencillez de su observación, debió ser percibida desde tiempos muy antiguos, aunque su primera descripción la encontramos en Plutarco. En su *De Facie in Orbe Lunae* dos hombres discuten sobre la habitabilidad de nuestro satélite, describiendo la aparición de una pequeña luz alrededor de la Luna que impedía la oscuridad completa durante los eclipses totales de Sol.

La densidad de esta capa debía de ser bastante reducida ya que los cometas pasaban por su cercanía sin sufrir prácticamente ninguna perturbación. Johann Kepler se preguntó a qué astro podría corresponder el brillo, que finalmente atribuyó a la atmósfera de la Luna.

Los eclipses mostraban también que las capas externas no se circunscribían a la cromosfera, descubierta por A. de Ulloa.

³² Arnold, H.J.P., 1992, *Eclipse of the Sun: The first images*, Research Amateur Astronomy, ASP Conference Series Vol 33, pp. 189-204

Teníamos una extensa zona que a veces circundaba completamente al Sol. Resultaba evidente, pero no se conocía si pertenecía al Sol o a la Luna.

El astrónomo español José Joaquín de Ferrer y Cafranga (1763-1818) se trasladó a Cuba para observar el eclipse parcial del 21 de febrero 1803, continuando luego su viaje a Kinderhook (New York) para el total del 16 de junio 1806. En la narración de este último eclipse describe cómo el disco lunar presentaba un anillo redondo en su derredor con un color perla. De su borde surgían muchos rayos luminosos que se proyectaban hasta unos tres grados de distancia angular (Figura C-09). Fue el primero en utilizar el nombre de corona para referirse al anillo luminoso y lo atribuyó correctamente al Sol, ya que el tamaño que calculó, unos 560 kilómetros, hubiera sido demasiado para la atmósfera lunar.

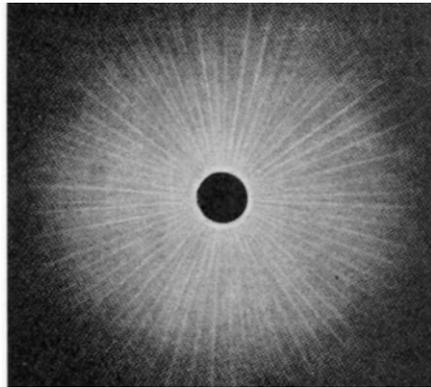


Figura C-9: (Izquierda) Grabado por Edme Bovinet de José Joaquín de Ferrer (Derecha) Su dibujo de la corona

CAPÍTULO IV: ECLIPSES EN ESPAÑA SIGLO XIX

1842 JULIO 8

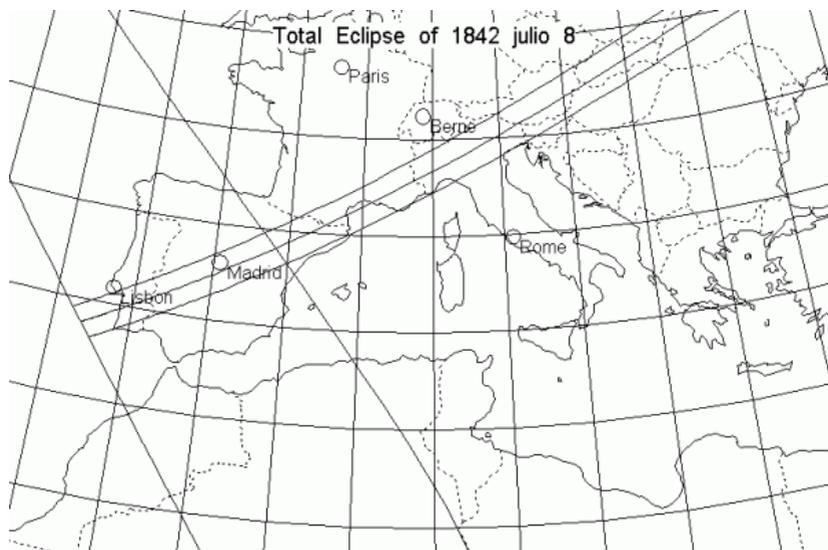


Figura D-01.- Camino de totalidad Saros 124

Un eclipse solar total que aconteció en el nodo descendente de la Luna con una magnitud de 1.0543

Como vemos por el camino de totalidad, la mayor parte de las expediciones se asentaron en el Sur de Francia y Norte de Italia.

Por el momento, no tenemos información de observaciones españolas.

Eran tiempos en que iban a cambiar los procedimientos y la actitud ante estos fenómenos, en especial por el contacto con científicos extranjeros.

Este eclipse de 1842 es un buen ejemplo de cómo una representación artística de un fenómeno astronómico, puede ser una

buena forma de conocer que tal evento ocurrió, pero sin proporcionar nada sobre su naturaleza física.

Estos días se encontraba en Venecia el pintor italiano Ippolito Caffi (1809-1866) que contempló el eclipse y le comentaba a su amigo Antonio Tessari su impresión al respecto (Figura D-02): *Tienes la valentía de preguntarme por la impresión que hizo el Eclipse sobre mi espíritu ! Tuvo tal fuerte efecto que estuve 4 días sin descanso y no me pude dedicar al arte.*



Figura D-02: Eclissi di sole a Venezia (oleo en lienzo, 84 × 152cm, fechado y firmado “Ore 8 di mattina / a Venezia 8 luglio 1842

Una simple inspección sobre la desigual distribución de luz, antes o después del eclipse total, nos informa que estamos ante una representación subjetiva del pintor, con ningún tipo de información científica. Los tiempos iban a cambiar claramente en unas pocas décadas. A continuación, iremos intercalando información sobre la fotografía, el nuevo detector de luz.

Eclipse Anular 1846 abril 25 (Islas Canarias)

No tenemos información sobre este eclipse que fue visible en las Islas a última hora de la tarde

LA FOTOGRAFÍA

Antecedentes

En 1614 Angelo Sala (1576-1637) se dio cuenta que la luz solar ennegrecía cristales de nitrato de plata. Tiempo más tarde, K.W. Scheele (1742-1786) encontró un efecto similar en papel humedecido en solución de cloruro sódico y nitrato de plata, encontrando que la parte azul del espectro era más efectiva que la roja.

A principios del siglo siguiente, 1802, Thomas Wedgwood (1771-1805) y Humphry Davy (1778-1829) produjeron imágenes sombra, situando objetos (hojas y plumas) sobre el papel y cuero humedecido en sustancias fotosensibles, p.ej. nitrato de plata, y exponiéndolas a la luz del Sol. Esta exposición volvía el nitrato a plata metálica y la forma de las hojas emergía como siluetas pálidas; era de hecho un negativo. Por desgracia, no fueron capaces de fijar las imágenes, que se ennegrecían pronto a la luz ambiente.

Joseph Niepce (1765-1833) logró la primera imagen de un objeto en 1826, recubriendo una placa de vidrio con una capa ligera de asfalto, situando un dibujo en la parte de arriba y exponiéndolo al Sol. Después de varias horas pareció verse una imagen difusa del dibujo. Louis Daguerre (1787-1852) siguió estas ideas con el daguerrotipo³³ en 1838. Entonces se obtuvieron las primeras imágenes de la Luna y el Sol (Figura D-03).

En el eclipse de 1842 se tomó la primera fotografía de tal evento por el italiano G. A. Majocchi, tres años después del

³³ En 1835 puso una placa expuesta en su armario químico y encontró después de unos días, que se había convertido en una imagen latente, por efectos del mercurio que se evaporaba y actuaba como revelador. Daguerre perfeccionó el daguerrotipo hasta 1838. El daguerrotipo no permitía obtener copias, ya que se trata de una imagen positiva única. Además, los tiempos de exposición eran largos y el vapor de mercurio tenía efectos tóxicos para la salud.

descubrimiento del daguerrotipo. Por desgracia no ha sobrevivido ninguna copia, ya que este método no permite hacerlas.

Las imágenes eran en blanco y negro y de baja calidad. De hecho, la confusión tras las observaciones realizadas en 1842 fue grande.

Por ejemplo, en su *Astronomía Popular*, F. J. D. Arago (1786–1853) señala que con la mera observación visual de los eclipses solares era imposible decidir si el origen de esas perturbaciones de la corona se encontraba en la atmósfera solar.

Otras fuentes afirmaban que en el momento central del eclipse se podían ver las “nubes o protuberancias lunares”, asignando esas anomalías al astro interpuesto en vez de al propio Sol.

Unido a las observaciones visuales estaban la realización de dibujos. Durante la primera parte del siglo XIX el objetivo era determinar si la corona era real y si era un fenómeno solar. Tan pronto se verificaron tales hipótesis el siguiente paso fue estudiar un modelo de sus variaciones espaciales y temporales. Terminar un dibujo durante un eclipse era una tarea muy complicada, no había manos ni ojos para tanto.

Era por lo tanto una tarea posterior de gabinete, teniendo en cuenta notas propias o de algunos colegas. Estábamos a punto de llegar a la invención de un nuevo detector que vendría a substituir a nuestros ojos: la fotografía. Así se podría alcanzar una de las bases del método científico: Ven y mira lo que yo he observado.

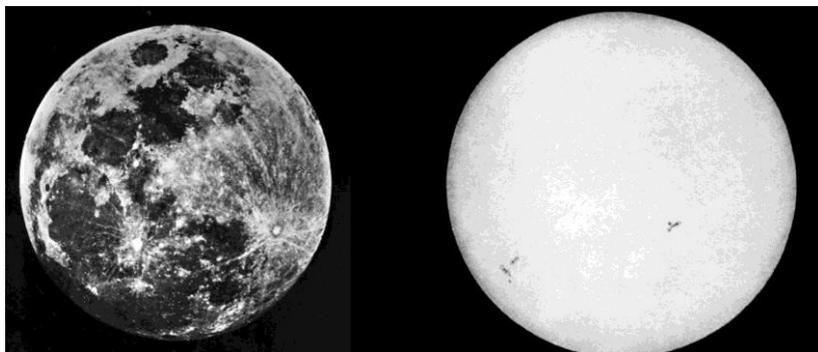


Figura D-03: (Izquierda) 1840: Primera imagen de la Luna obtenida por J.W. Draper (1811-1882) con una exposición de 20 minutos; (Derecha) Primera imagen del Sol, el 2 de abril de 1845, por H. Fizeau (1819-1896) y L. Foucault (1819-1868) con un tiempo de exposición de 1/60 de segundo.

La primera fotografía correctamente expuesta de la corona solar (figura D-04) fue realizada durante la fase total del eclipse solar del 28 de julio de 1851 por J. Berkowsky desde el Observatorio Real de Königsberg (Prusia).

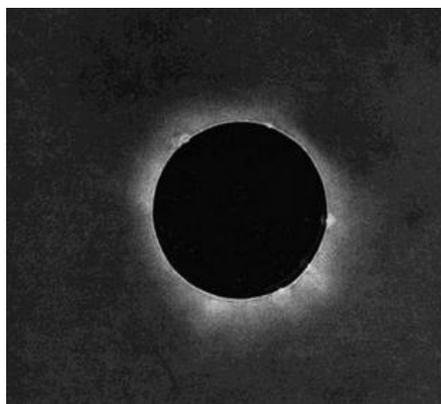


Figura D-04: La histórica imagen daguerrotipo, fue lograda tras una exposición de 84 segundos durante la totalidad del eclipse, y se obtuvo utilizando un pequeño telescopio refractor de 6 cm.

Los colodiones fotográficos

En 1851 dio un paso decisivo con lo que hemos dado en denominar como fotografía. Recordamos los tres elementos: un detector sensible a la luz, un revelador y finalmente un fijador. En este primer avance se tomaba una placa de vidrio y, en el cuarto oscuro, se recubría con una sustancia conocida como colodión, una solución inflamable de nitrocelulosa en éter y alcohol. Si le añadíamos algunos productos químicos se volvía fotosensible. Era el nuevo detector, el *colodión húmedo*. Como revelador se utilizaba sulfato férrico y como fijador: cianuro de fósforo o triosulfato de sulfato. Muchas sustancias tóxicas, aparecen cuando se trabaja con procesos fotográficos, aunque sea con elementos más modernos³⁴.

Richard H. Norris (1830-1916) en 1856, propuso cubrir la placa de colodión húmedo ya sensibilizado con gelatina líquida o goma arábica. La sensibilidad a la luz de estas primeras capas de *colodión seco* era la mitad que la de las placas húmedas. Tras ser preparadas, las placas se conservaban durante seis meses, lo suficiente para ser transportadas en viajes y expuestas en el recinto sin necesidad de cuarto oscuro.

En 1860, aparecen las placas extra-rápidas, con una sensibilidad semejante a la del colodión húmedo y que conservaban su sensibilidad durante un año. A pesar de estas grandes innovaciones, el proceso del colodión húmedo continuó siendo el más usado, hasta finales de siglo³⁵.

³⁴ En 1840, siendo estudiante de Química, fabricó junto con su compañero José Gil, una cámara oscura, siguiendo las instrucciones de un folleto de Daguerre, realizando varios daguerrotipos. En 1847 obtiene el doctorado en ciencias Físico-Químicas, consiguiendo la cátedra de Química General en la Universidad de Valencia, cargo que desempeñó hasta su fallecimiento.

³⁵ El paso fundamental fue dado de G. Eastmann (1854-1932), fundador de Kodak, en 1888 al substituir las placas de vidrio por rollos de celuloide. Una de las caras estaba la gelatina con pequeños cristales de haluro de plata. El proceso siguiente era, en un cuarto oscuro, un revelador para producir una imagen en las capas de emulsión de la película a partir de la imagen latente expuesta. A continuación, se utilizaba un baño blanqueador para convertir la imagen de plata metálica en haluro de plata, permitiendo que el fijador eliminase la plata de la emulsión; después de

Positivos fotográficos

Para cumplir con el propósito inicial de la fotografía, diseminar las observaciones. en nuestro caso de los eclipses, necesitamos obtener copias fieles al original. Fue un tema de trabajo continuo desde 1850 hasta principios del siglo XX, que solo podemos esquematizar.

Según el Tesouro de Patrimonio Nacional: Un positivo fotográfico es una imagen cuya escala de valores es similar a la del motivo fotografiado, a través de una proyección fotográfica cuyas luces aparecen en tono claro y las sombras en tono oscuro, o cuyos colores aparecen representados por tintes originales. Se trata de un soporte transparente u opaco que es copia o reproducción positiva de un original.

De hecho, las primeras fotografías, daguerrotipos, eran positivos directos pero solo permitían una copia, la original. W.H. Fox Talbot (1800-1877) propuso, ya en 1838, un método que permitía la multiplicación de una misma imagen, gracias a la obtención de un negativo intermedio sobre un papel de cloruro de plata (Figura D-05). El revelador sería una mezcla de ácido gálico y nitrato de plata. John Herschel (1792-1871) añadió, en 1839, el último ingrediente: un fijador de hiposulfito de sodio.

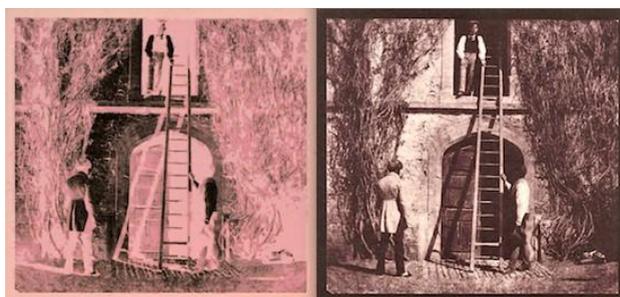


Figura D-05:
Negativo y
positivo
obtenido con
el método de
Talbot

esto, el fijador disolvía la imagen de plata blanqueada, así como cualquier haluro de plata no expuesto. Para eliminar todos los productos químicos y subproductos, se realizaba finalmente un lavado con agua.

1860 JULIO 18 EL NACIMIENTO DE LA ESPECTROSCOPIA

Eclipse que ocurrió en el nodo descendente de la órbita lunar. Corresponde al Saro 124. La Figura D-06 representa la curva de totalidad

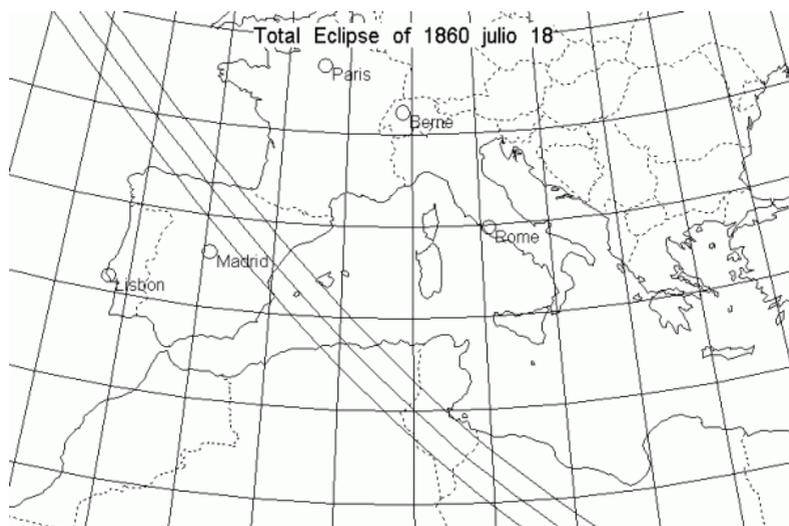


Figura D-06: Curva de totalidad del eclipse del 18 de Julio de 1860

La zona de total oscuridad afectaba a una línea de sombra que iniciándose en el Pacífico de la Alta California se dirigía por la región norte de América, atravesando la bahía de Hudson, el Labrador y el Océano Atlántico hasta llegar a nuestras costas y atravesar la península en una dirección paralela al curso del río Ebro; seguía por Baleares y se internaba en África por Argel para terminar en Egipto. España era el único país de Europa donde se veía este eclipse como total.

Las ciudades y lugares en las que la totalidad fue de más de tres minutos fueron: Santillana, Reinos, Santo Domingo, Altotero,

Soria, Ágreda, el Moncayo, Ateca, La Almunia, Calatayud, Segura, Montalbán, Cantavieja, Penyagolosa, Sant Mateu, Albocacer, Castelló, Oropesa, Campuey e Ibiza.

Ante este acontecimiento el Gobierno de España dictó tres instrucciones, reflejadas en una publicación del Observatorio de Madrid:

1. *Que en las aduanas de nuestras costas y fronteras queden exentos de todo pago por los instrumentos científicos que consigo aporten, y aun de todo registro minucioso que pueda comprometer la conservación en buen estado de los mismos, cuantos astrónomos recomiende el Observatorio de Madrid, previo su aviso del punto por donde piensan penetrar en la Península, y material que para la observación del eclipse conducen.*
2. *Que los Gobernadores de las provincias donde el fenómeno ha de ofrecer mayor interés, y las Autoridades locales correspondientes presten a los mencionados astrónomos, a petición suya o siempre que lo juzguen necesario, aunque no se reclame, auxilio eficaz para que puedan dedicarse a sus pacíficas e interesantes tareas con plena seguridad de no ser en ellas molestados por nadie.*
3. *Que los Rectores de las Universidades de Barcelona, Valencia, Zaragoza, Valladolid y Oviedo comisionen también a un catedrático de la facultad de Ciencias o de Instituto para que acompañen a las principales expediciones científicas.*

El Anuario del Observatorio de Madrid, en su edición de 1861, dedicó la tercera parte a un resumen de las actividades realizadas durante el eclipse total en España, incluyendo al final una lista de astrónomos e instituciones participantes. Hemos seleccionado las observaciones más relevantes y tratado de ampliar la información.

Expediciones británicas

Gran Bretaña había estado en la frontera del conocimiento desde las primeras aplicaciones del método científico. En esta época, los participantes interesados en participar en expediciones de eclipses eran en general personas acomodadas que solían tener buenos instructores profesionales. Una excepción la constituían autoridades como el Astrónomo Real o los astrónomos del Observatorio de Greenwich.

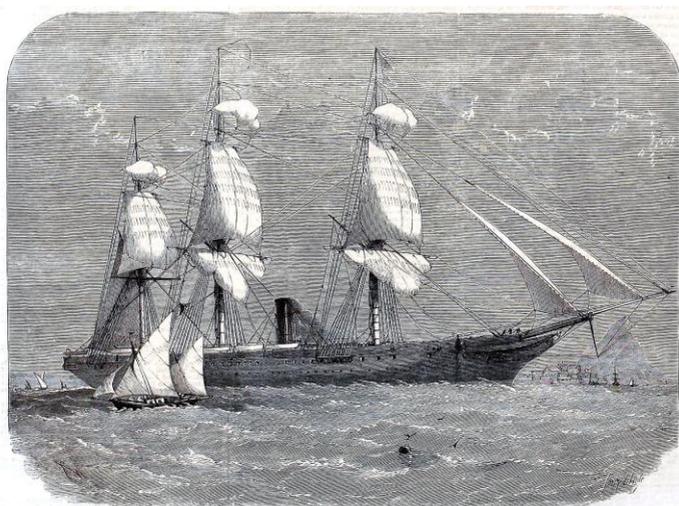
Uno de los aficionados acomodados fue Warren de la Rue (1815-1889), fabricante de papel que tenía como instructor en astronomía al ingeniero escocés James Nassmith (1808-1890). Después de examinar las imágenes logradas por Berkowski en 1851, De la Rue se dio cuenta de que los avances en la técnica fotográfica, en particular el uso del colodión, permitirían obtener imágenes más nítidas del momento culminante de un eclipse, durante la totalidad.

A partir de entonces se necesitaba una coordinación de todas las observaciones de un eclipse total. Paso previo era determinar, con la mayor precisión posible, las coordenadas del lugar de observación en su mayor parte desconocidas por tratarse de pequeños lugares alejados de las grandes ciudades. El telégrafo pronto permitió la comunicación entre los distintos grupos.

Warren de la Rue consideró entonces la posibilidad de viajar a España para observar dicho eclipse. En su libro sobre el eclipse de 1860 (publicado en 1862) de la Rue afirmaba que la preparación previa del eclipse arrancó en 1858, visitando Rusia, al conocer el folleto "*l'Eclipse Solaire du 18 Juillet, 1860*" de J.H. von Maedler (1794-1874) en él aparecía un mapa de España con la franja de sombra dibujada.

Relata también sus contactos posteriores con el Astrónomo Real George Airy (1801-1892), en 1859, donde le habla por primera vez de la posibilidad de fletar un barco para poder transportar su pesado fotoheliógrafo.

Airy, contactó con el Almirantazgo para que se pusiese a disposición de los astrónomos el *HMS Himalaya*³⁶ (Figura D-07). El 7 de Julio partieron de Plymouth llegando a Bilbao dos días después. En total eran 60 personas incluyendo familiares. Antes de llegar a puerto decidieron dividir sus fuerzas: G. Airy con Otto Struve (Astrónomo Imperial Ruso) y algunos otros decidieron desembarcar en Bilbao, mientras que el resto (E.J. Lowe y W. Lassell de Liverpool)³⁷ siguieron ruta en el barco hasta Santander.



THE "HIMALAYA" TROOP-SHIP, WITH THE ARMEDONG BATTERIES FOR CHINA.

Figura D-07: Dibujo del barco HMS Himalaya encargado de transportar a las expediciones británicas a España para observar el eclipse. Había sido comprado por la Navy en 1854 para el transporte de tropas. Illustrated London News, feb 4. Licencia Commons

³⁶ El capitán era R.N. Seccombe, el teniente Versturm y el primer teniente John Thompson, junto con oficiales de menor graduación y marinería.

³⁷ A este grupo pertenecieron también: J. Buckinham, H.S. Ellis, Prof. Fearnley, Rev. H.A. Goddwin, R.F. Hearth, E.J. Hobbs, M. Lindelöff y J. Stanistreet.

Santander

Los componentes del grupo de Liverpool bajo la dirección de E.J. Lowe se alojaron en la casa del ingeniero Phillip E. Sewell (1822-?) en el lugar de Fuente del Mar (Figura D-08), que ocupa actualmente el Hospital de Valdecilla.



Figura D-08: Casa de P.E. Sewell. Estereoscopia en albumina, son dos fotografías del mismo motivo, pero tomadas cada una desde la posición de cada uno de los ojos de un ser humano. Visualizadas con un «visor estereoscópico» devuelven una imagen en relieve. Colección Fernández Rivero de Fotografías Antiguas

Utilizando un telescopio del barco, Mr Thompson realizó los dibujos mostrados en la figura D-09.

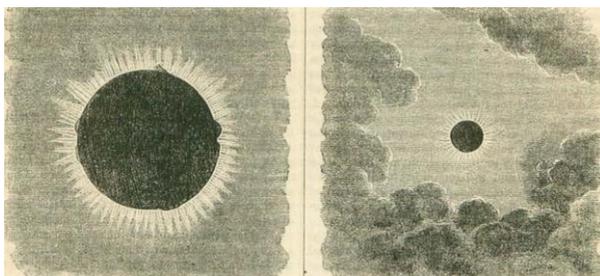


Figura D-09: Dibujo del eclipse desde la cubierta del Himalaya anclado en la bahía de Santander por Mr. Thompson

Rivabellosa (Warren de la Rue)

Airy y De la Rue mantuvieron también conversaciones previas con el ingeniero jefe del tren Bilbao-Tudela, el ingeniero ferroviario inglés, Charles B. Vignoles (1793-1875), el cual había producido un mapa calculando la zona de sombra total y un libro³⁸ que describía con anterioridad lo que acaecería el día del eclipse.

Vignoles le animó a modificar su primera elección, la costa cántabra (por las nieblas matinales) y escoger en su lugar Rivabellosa en la provincia de Álava, cerca de la burgalesa Miranda de Ebro. Desde Bilbao el equipo tomó una diligencia que les transportó hasta Rivabellosa donde el día 11 iniciaron los trabajos de logística (Figura D-10).

Como miembros del grupo podemos citar a Edward Beck, Robert Bekley, George Downes, J. Reynolds (asistente de fotografía) y el pintor y escultor Joseph Bonomi (1796-1878) para el lugar elegido de Rivabellosa. Otros equipos británicos se diseminaron a lo largo de la línea de totalidad hasta el Mediterráneo.

El principal cuidado durante el viaje marítimo y el terrestre fue el citado foteheliógrafo. Dedicemos unas líneas a este instrumento.

Siguiendo una sugerencia del astrónomo John Herschel (1792-1871) para fotografiar la superficie solar a diario, con la idea de registrar clara y permanentemente la actividad solar, De la Rue había encargado la construcción de un telescopio solar muy especial a Andrew Ross. El coste final fue de 180 Libras pagadas por la Royal Society con fondos privados de Benjamín Oliveira.

Tenía un diámetro de apertura de tan solo 89 mm y 127 cm de focal. Estaba dotado de un obturador especial con el cual se podían obtener fotografías con tiempos de exposición de fracciones de segundo. Los objetivos secundarios para ampliar la imagen

³⁸ Vignoles, C.B., 1860 Junio, *Observations to accompany the Map of the Shadow-Path 18th July 1860*. Longman, Green, Longman and Roberts, Londres.

producida por la apertura eran del tipo Huyghens. Eran tres en número produciendo imágenes de 3, 4 y 8 pulgadas de diámetro³⁹.

El telescopio recibió el nombre de Fotoheliógrafo (Figura D-11). El primer éxito De La Rue fue conseguir para el eclipse dicho instrumento.



D-10: Equipo de Warren de la Rue en Rivabellosa, en torno al fotoheliógrafo de Kew. La fotografía muestra el observatorio, después de un día de trabajo, tomada con la ocasión de la visita de Mr Amy a la estación. Se ve claramente la posición del lienzo y su disposición para mantenerse a la distancia apropiada de la casa y también la cisterna externa. Cuando el observatorio estaba en funcionamiento, se quitaba la lona de la parte delantera (el lado sur) y se ataba hasta el montante que se ve en el lado occidental, y también se quitaban las tablas superiores. Las tablas delanteras tenían una altura que permitía observar el Sol sobre ellas siempre que fuera conveniente hacerlo.

³⁹ Entre las dos lentes de cada uno de estos objetivos secundarios se insertó un diafragma que llevaba los alambres (wires) fijos del micrómetro, que eran de platino; estos alambres eran cuatro, situados en ángulos rectos dos a dos. Uno de cada dos alambres podía colocarse en una posición tal que ambos podían estar tangenciales a la imagen solar. Mientras que los otros dos se cruzaban en un punto.

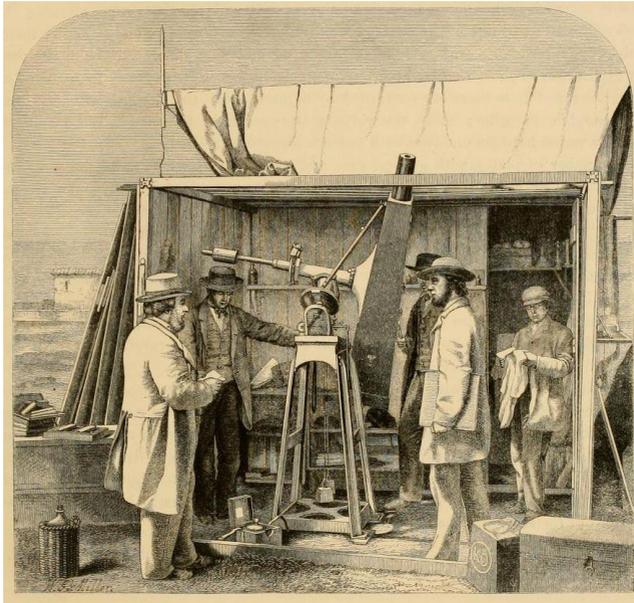


Figura D-11: El equipo técnico junto al Fotoheliógrafo: De izquierda a derecha: De La Rue, Beckley (observando el cronómetro a sus pies), Clarke (sosteniendo un recipiente para quemar el hilo, que disparaba la exposición), Reynolds (con un soporte de placas listo para situarlo en el telescopio) y Downes (quién se encuentra en la entrada de la cámara oscura y cuya misión era preparar y revelar las placas)

Warren de la Rue resumió el trabajo de su equipo en 1862 con ocasión de una de las Bakerian Lectures dada en la sede de la Royal Society (publicada por *Philosophical Transactions Royal Society*). De dicho trabajo proceden las fotografías del evento. Como ubicación del campamento se eligió una era cercana a un camino, para facilitar el transporte de agua. El propietario de la era, a pesar de estar en época de cosecha y de que la instalación del campamento suponía un trastorno en su quehacer diario, rehusó recibir remuneración alguna por ello.

Se estableció una próxima colaboración con el grupo encabezado por Sir George Airy, que se había situado en el pueblo cercano de Hereña (Figura D-12). Uno de los temas tenía que ver con las coordenadas de los lugares y la utilización de nuevos oculares diseñados por De la Rue.

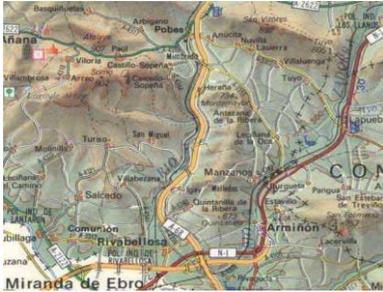


Figura D-12: Lugares de Rivabellosa (parte de abajo), Hereña y Pobes (parte de arriba), cercanos a Miranda de Ebro

Un problema con el ftoheliógrafo de Kew es que forma la imagen en el foco, con lo que éstas son pequeñas. De la Rue pensó en resolverlo haciendo la ampliación en el ocular (Figura D-13)

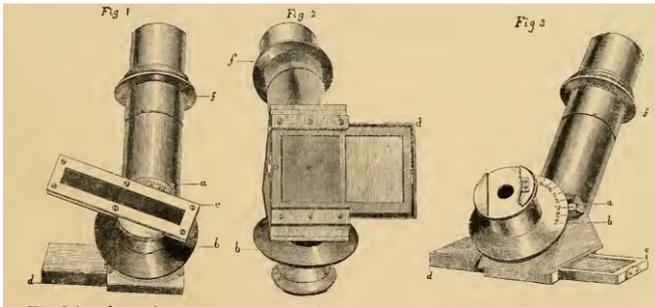


Figura D-13: La parte de la izquierda (Fig1) es una visión frontal, el reflector de vidrio plano se encuentra en operación. Fig2: Visión del lado inferior, el vidrio plano todavía en utilización. Fig 3 muestra el reflector dibujado de forma que la superficie plateada se sitúe en el campo. Para más detalles ver texto

f es el enchufe adaptador que se atornilla en el telescopio

a es un índice unido a un ocular positivo, que puede moverse un arco de 90 grados.

c es un sistema graduado parasol (sombrija), compuesto de una cuña de vidrio oscuro y otra de vidrio, invertidas en posición, de manera que cuando se combinan forman una placa paralela. Ésta se encuentra sujeta mediante un muelle, que se muestra en Figura 3, el cual, mientras sujeta firmemente el parasol en cualquier posición requerida, también permite retirarlo a voluntad.

e es el reflector de vidrio, la mitad hacia **d** se encuentra plateada. Tan pronto como el observador desee utilizar la superficie plateada puede ser arrastrado hacia adelante sin dañar ninguna otra parte.

b es un círculo fijado al cuerpo del ocular, con espacios de 10 grados, un cuadrante en nueve partes.

En el foco de ocular positivo se fijó una pieza de vidrio paralela en la cual se grabaron varias líneas; esta placa- micrómetro se movía solidariamente con el ocular cuando el índice *a* se movía (figuras 1 & 3). Para más detalles ver la citada referencia de Warren de la Rue (1862).

Además del instrumento principal De la Rue había conseguido, en préstamo de Mr Dallmeyer, un telescopio de 8 cms de apertura para observaciones visuales de cara a coordinarse con otros grupos.

Alguna fotografía antigua nos sirve para darnos una idea sobre el pueblo (Figura D-14)

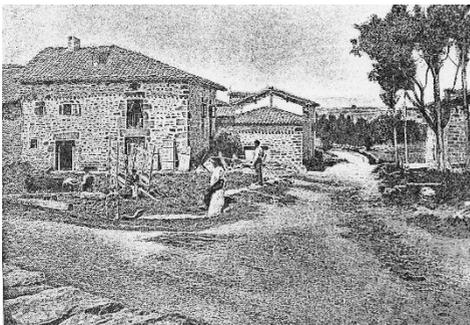


Figura D-14: Casa del alcalde de Rivabellosa

El día del eclipse: La mañana del 18 de julio amaneció nublada. Hasta las 10 de la mañana no empezaron a verse algunos pequeños claros entre las espesas nubes. Por fin 20 minutos antes de que empezara el eclipse el cielo estaba completamente despejado, solo alguna línea de nubes por el horizonte. Vignoles había acertado con la elección del punto de observación.

El Alcalde de Miranda de Ebro había enviado al observatorio cinco guardias a caballo, para poner orden en caso de que se organizara algún barullo. La noticia de que un importante científico inglés estaba en los alrededores había despertado la curiosidad por el eclipse y unos 200 paisanos se acercaron hasta Rivabellosa. Cirilo Guinea, alcalde de la villa se encargó de organizar a los entusiastas espectadores, exigiendo silencio y respeto hacia el trabajo de los científicos.

Se tomaron registros de temperatura, del color del ambiente, de los sonidos de la naturaleza, todo aquello que fuera importante para analizar con calma después del eclipse. A la vez que se realizaban los cambios de placas en el heliógrafo para tomar las pertinentes fotografías (Figuras D-15 y D-16).

Unos momentos antes de la totalidad una nube surgió de repente delante del Sol, un nuevo sobresalto, sin embargo, rápidamente se disipó y ya no aparecerían más. En el momento de la totalidad un grito de asombro de la multitud y el repique de las campanas de la iglesia de Rivabellosa inundó el campamento.

Díaz y Díaz (2014)⁴⁰ han resumido la aportación española a este eclipse, aportando numerosa información. En dicho trabajo menciona una carta de G. Airy al Secretario de la Academia de Ciencias, Antonio Aguilar, fechada el 20 de Agosto de 1862, que Díaz encontró en 2009 en el Archivo de dicha Academia “*He conocido, por los esfuerzos realizados por el Gobierno español con ocasión del eclipse total, lo activo que es el espíritu de ciencia en su*

⁴⁰ Díaz y Díaz, J.I., 2014, *La primera fotografía de las protuberancias solares fue hecha en España. El eclipse de Sol de 1860 y la Real Academia de Ciencias*, Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 107, N° 1-2, pp 9-42. 2014

país en el tiempo presente.” Una carta diplomática que reconocía el esfuerzo del OAM, pero que se enmarcaba dentro de un país totalmente fuera de la Ciencia.

El Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid de 1861 describe las observaciones efectuadas por su equipo. Uno de sus primeros objetivos era fijar los límites geográficos del eclipse mediante una serie de estaciones desde Asturias hasta Palma de Mallorca.

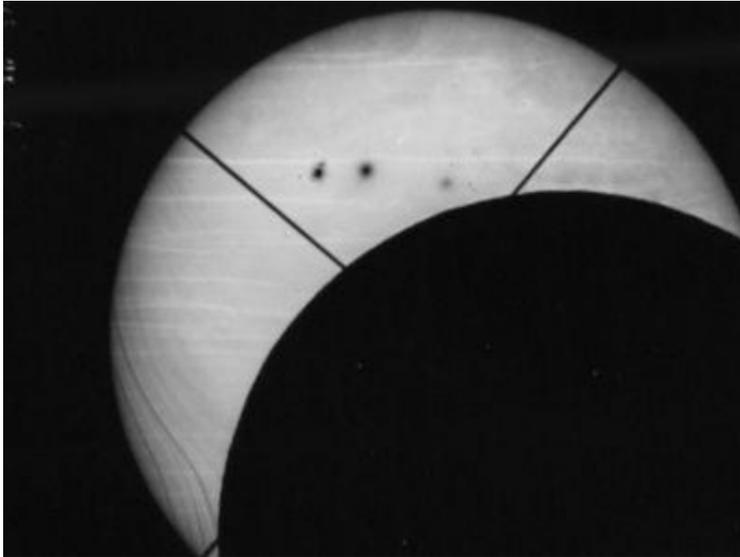


Figura D-15: El disco solar durante la fase parcial del eclipse a su inicio.

O. Carpenter (10 August 2018)

Crédito: Science Museum Group Collection (London)

Licencia CC-B9-NC-SA 40

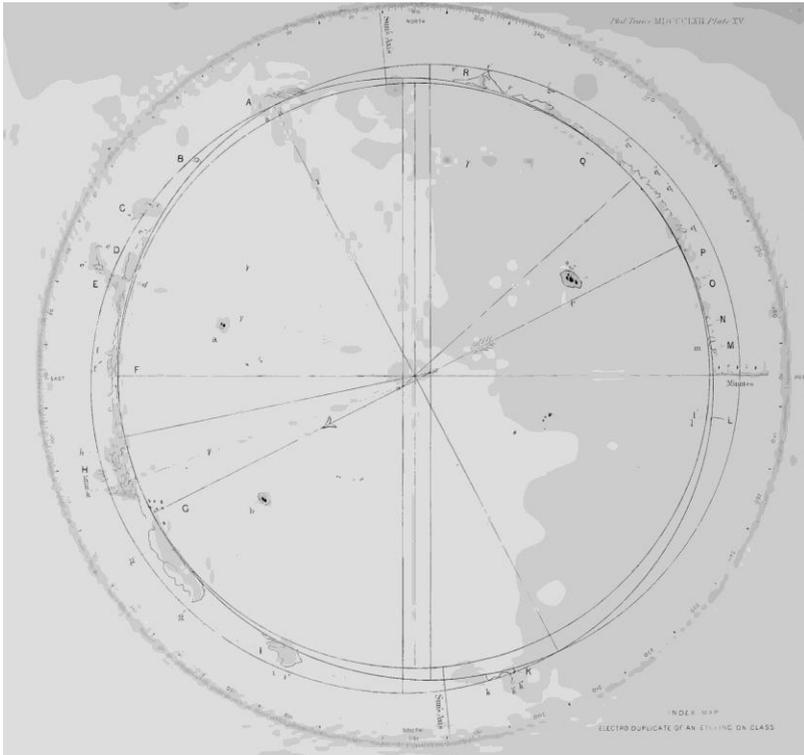


Figura D-16: Composición de los dibujos del disco solar mostrando las manchas y de las protuberancias en el borde. Incluida en la Bakerian Lecture de W. De La Rue, página 115

Recordemos que el objetivo principal del programa era el estudio de las protuberancias. Por ello el tiempo de exposición se ajustaba a obtener mayor detalle de ellas. Por consiguiente, la corona quedaba sobreexpuesta.

A continuación, incluimos dos de las mejores fotografías (Figuras D-17 y D-18) obtenidas durante la fase de totalidad.



Figura D-17: La primera fotografía de las protuberancias solares fue hecha en España con ocasión de este eclipse de Sol de 1860. Tomada inmediatamente después del inicio de la totalidad



Figura D-18: Imagen del eclipse tomada poco antes del final de la totalidad

Hereña y Pobes

Como vimos en el mapa anterior, cercanas a la ubicación de Warren de la Rue teníamos estos otros pueblos. La expedición de G. Airy se decidió por el lugar de Hereña, donde las condiciones durante el eclipse fueron perfectas (Airy, 1860)⁴¹.

Por su parte el grupo del observatorio ruso de Pulkovo se asentaron en el cercano Pobes. Bajo la dirección del alemán Otto Struve (1819-1905), lo formaban también F.A. Oom⁴² (1830-1890) y Winnecke.

Airy llegó a Pobes el 14 de Julio, donde pudo comprobar que el equipo ruso gozaba de todas las facilidades y estaba preparado para el eclipse total. Habían seleccionado una pequeña colina en el lado derecho del río Bayas, un afluente del Ebro.

El telescopio de G. Airy, con trípode, tenía una apertura de 3 ¾ pulgadas y 46 de focal. El de W. Airy, su hijo, similar, pero con 36 de focal (Figura D-19).

Airy los describe de esta forma: *“Cuando juzgué, por la estrechez del Sol iluminado, que estábamos cerca de la totalidad retiré los vidrios ahumados de mis ojos. Para mi sorpresa cuando el Sol todavía brillaba observé dos protuberancias y una nube doble flotante. Antes de que el Sol desapareciese, la corona se hizo visible. La simultaneidad de las tres fuentes de luz (protuberancias, corona y disco solar) me trajo alguna confusión, pero proseguí con mis medidas de las protuberancias durante la totalidad. Durante un rato descansé para ver el eclipse a simple vista. La luz ambiente era más intensa que lo que había observado en los eclipses de 1842 y 1851”*.

⁴¹ Airy, G.B., 1860, *Account of observations of the Total Solar Eclipse of 1860, July 18 made at Hereña, Miranda del Ebro*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Vol. XXI, No.1

⁴² Subteniente de la Marina portuguesa, había sido enviado a Pulkovo para su mejor formación.

En total mis compañeros vieron 9 objetos, planetas y estrellas, cerca del Sol, algo que nos sorprendió a todos.

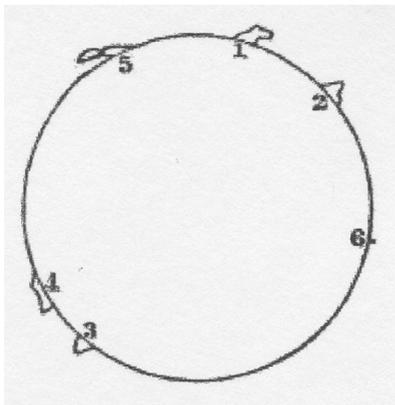


Figura D-19: *Wilfrid Airy (1836-1925) realizó un dibujo con la posición de las protuberancias. Los números 1, 2 y 3 aparecieron al mismo tiempo. La 4 desapareció un minuto después de la totalidad y la 5 era mucho más débil que el resto.*

Al final de las observaciones Airy regresó a Pobes donde pudo comprobar que los equipos de Struve y de Warren de La Rue habían tenido tanta suerte como nosotros. Lo demás fueron reuniones agradables hasta que salimos de Santander llegando a tiempo a Inglaterra (28 Julio, 4 p.m) para poder pernoctar en Londres esa misma noche.

Otto Struve utilizó un telescopio de Munich con una D de 5.8 cms y una focal de 8 metros. Así describía el eclipse: “*Un minuto y once segundos antes del comienzo de la totalidad me di cuenta que podía ver bien el contorno de la Luna en el lado oeste. Antes de esta observación había quitado del ocular el filtro de color que había utilizado hasta entonces, ya que era mi intención ver el eclipse total sin tal filtro*”. Pero enseguida me di cuenta de que me había equivocado. En lugar de la apertura sin protección yo coloqué otro vidrio de color verde pálido, como se suele hacer con gafas. La equivocación no fue descubierta hasta algunos minutos después de la totalidad. Esto debe tenerse en cuenta cuando se comparen mis

observaciones sobre la duración de la visibilidad y el color de ciertos fenómenos, con los de otros astrónomos.

Desierto de Las Palmas (Castellón)

El astrónomo francés H. Faye (1814-1902) había propuesto para la observación del eclipse en la Península lugares como Potes, Santillana y Oropesa. Por su parte, el director del Observatorio Astronómico de Madrid, Antonio Aguilar⁴³, consideró más conveniente el conocido como Desierto de Las Palmas cerca de Oropesa y Castellón de la Plana o bien el Moncayo (1340 metros). A las observaciones desde estos emplazamientos dedicaremos las próximas secciones.

A la expedición madrileña se unió un astrónomo del prestigio de Angelo Secchi S.J. (1818-1878), director del Observatorio Romano. Ambos grupos salieron de Madrid hacia Castellón el 1 de julio.

El lugar elegido inicialmente para la observación en el Desierto era un antiguo Convento de los Carmelitas Descalzos emplazado a unos trescientos metros de altitud. Sin embargo, hubo dudas y el grupo inicial se dividió en dos: uno de ellos se instaló en una ermita abandonada, a unos ochenta metros por encima del convento; el otro en el cerro más alto del entorno, llamado de San Miguel, a unos setecientos metros sobre el nivel del mar.

Observaciones en el Convento: En la ermita abandonada se instaló una ecuatorial construida en 1825 por R. Cauchoix (1776-1848), aportada por el P. Secchi, de 16.5 cms de abertura y 2.5 metros de distancia focal que estaba destinada a la ejecución de los trabajos fotográficos. La obtención de las fotografías de las protuberancias coloreadas y de la corona solar estaría a cargo del

⁴³ A. Aguilar: 1861, *Memoria remitida al Comisario Regio, Gil de Zárate, el 27 de julio*. AGA, EC. Legajo 6.510. Más tarde publicada como artículo: A. Aguilar (1860): «Eclipse de Sol del 18 de julio de 1860». Anuario OAM de 1861. Págs. 171-271. Madrid.

Profesor José Monserrat y Riutort⁴⁴ (1814-1881), catedrático de Química de la Universidad de Valencia, auxiliado por el jesuita P. Vinader, catedrático de Física del Seminario de Salamanca y el discípulo de Monserrat, Orellana (Figuras D-20 y D-21).

Dos estancias de la ermita fueron utilizadas para acomodar el laboratorio fotográfico, otra como depósito de los relojes y las restantes como habitación y estudio.

También se instaló en dicha ermita el círculo meridiano de Repsold⁴⁵, al cuidado del ayudante Cayetano Aguilar (OAM) quien, con Alcover, era responsable, además, de determinar los momentos en que se producían las diversas fases del fenómeno con los relojes Dent del Observatorio de Madrid.

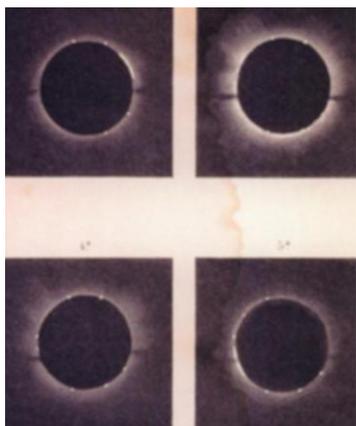


Figura D-20: Fotografías de la corona solar realizadas por José Monserrat y que en varias ocasiones se han atribuido al Padre A. Secchi, ya que fueron realizadas con el telescopio de Secchi. Las catorce fotografías de Monserrat se custodiaron en el Observatorio de Madrid, a la disposición de todos los astrónomos que quisieran examinarlas. Posteriormente se realizaron 100 copias que Antonio Aguilar envió a las Academias y Observatorios europeos.

⁴⁴ En 1840, siendo estudiante de Química, fabricó junto con su compañero José Gil, una cámara oscura, siguiendo las instrucciones de un folleto de Daguerre, realizando varios daguerrotipos. En 1847 obtiene el doctorado en Ciencias Físico-Químicas, consiguiendo la cátedra de Química General en la Universidad de Valencia, cargo que desempeñó hasta su fallecimiento.

⁴⁵ Instrumento de tránsito consistente en un telescopio refractor que puede girar libremente en torno a un eje horizontal colocado en la dirección E-O. Había sido adquirido en Alemania (compañía Repsold), en 1859), por los astrónomos del OAM J. Aguilera y E. Novella.

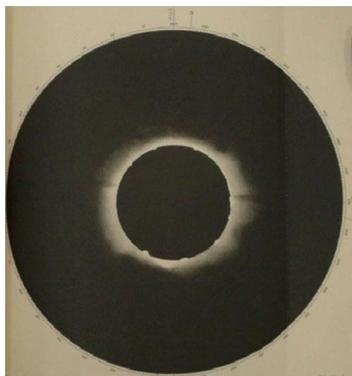


Figura D-21: Dibujo realizado mediante la combinación de detalles visibles en copias fotográficas (en papel) de los cuatro negativos obtenidos en el Desierto de Las Palmas (Castellón) por M. Monserrat con el telescopio de A. Secchi.

Merece mención especial entre los investigadores del Convento (Ermita de San Juan) el profesor Dionisio Barreda, catedrático de Física de la Universidad de Salamanca, que estudió las variaciones del espectro luminoso con un pequeño anteojito que le había prestado su amigo el profesor Rodríguez Cepeda⁴⁶. Fue así un pionero de las observaciones espectroscópicas del Sol, merito con otros tres colegas que hicieron lo mismo durante este eclipse.

Barreda también estudió la polarización⁴⁷ de la luz de la corona solar por medio de unas pinzas de turmalina propiedad del P. Secchi (Memoria citada); y anotó las variaciones de presión y temperatura durante el eclipse usando un barómetro y un termómetro del Observatorio de Madrid.

⁴⁶ Barreda, D., *Observaciones sobre la constitución del espectro luminoso hechas durante el eclipse total de Sol que tuvo lugar el 18 de Julio de 1860 en el Desierto de las Palmas*, Manuscrito. Archivo OAM

⁴⁷ Antonio Aguilar explica en el Anuario la importancia de esta medida. Un rayo de luz natural se distingue de otro polarizado por multitud de caracteres notables. Cuando, por ejemplo, un rayo de la primera especie cae sobre un espejo, ya sea de cristal, ya metálico, es cosa sabida que se refleja, aunque en proporción variable según el ángulo de incidencia, y formando con el espejo ángulos iguales los dos rayos incidente y reflejado. Sin embargo, cuando el rayo de luz se encuentra polarizado, sin que el ángulo de incidencia varíe, puede darse al espejo una posición en que la parte de luz reflejada sea máxima, otra en que sea mínima, y otras intermedias en que la luz se refleja en proporción distinta, según los casos.

Cerro de San Miguel: A este segundo emplazamiento se llevó Aguilar un anteojo montado ecuatorialmente, construido para la observación de este eclipse por la empresa de C. Von Steinheil (1801-1870), con objetivo de 11.4 cms de diámetro y una distancia focal de 1.8 metros. Con él proyectaba Aguilar: *examinar las protuberancias coloreadas o lenguas de fuego que en torno de la Luna o el Sol se habían visto en otros eclipses anteriores y se esperaba ver en el actual, y medir sus dimensiones aparentes y distribución o posición*. Para hacerlo montó en el anteojo un micrómetro cuyas medidas estudió cuidadosamente.

El P. Secchi personalmente dispuso de un refractor de 78 mm de abertura y 1.2 metros de focal, al que había incorporado diversos accesorios: un sistema de tres oculares Merz con aumentos de 60, 90 y 130; un filtro neutro graduado; un micrómetro de posición y un retículo especial de hilo de araña (Secchi, 1860)⁴⁸.

En su libro *Le Soleil* de 1870, A. Secchi recuerda con respecto a las Perlas de Bailey (pag 152): *“En nuestra observación en el Desierto vimos como las puntas muy afiladas de la media luna se rompen, pero sin que los fragmentos den la apariencia de granos de rosario (las perlas). Esto se debe probablemente a la ausencia de largas cadenas de montañas, pero también a la calidad de nuestro telescopio”*.

También comenta: Dos o tres segundos antes de la desaparición total ya se había visto la corona muy débil pero enteramente formada.

Varias páginas después describe: *“Un poco antes del fin de la totalidad, la corona generalmente se volvió más vívida en la parte del Sol que está a punto de reaparecer, y vimos formase un arco rosado de considerable extensión, que abarcaba aproximadamente una sexta parte del contorno solar. En España este arco cubría una extensión de 60 grados”*.

⁴⁸ Secchi, A., 1860, *Observations de l'éclipse du 18. Juillet 1860*, Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, 156-163

En la Figura D-22 vemos una composición que muestra las manchas sobre el disco solar el 18 de Julio y las protuberancias en el borde.

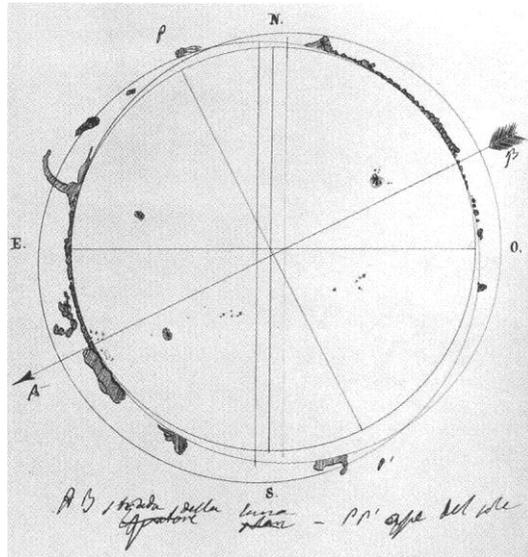


Figura D-22: Dibujo que muestra las manchas y protuberancias el 18 de julio de 1860.

PP' eje de rotación solar. BA dirección de entrada del borde lunar sobre el disco. Se indican también las coordenadas N,S,E,O.

La imagen obtenida en el foco de los telescopios era bastante pequeña. Warren de la Rue optó por ampliarla con el sistema de oculares descrito. Por contra Secchi y Aguilar, prefirieron utilizar la imagen directa, unos 2.5 cms. Por fortuna, y mutuo interés, ambos equipos intercambiaron las fotografías obtenidas y concluyeron algo importante en aquellos días: las protuberancias pertenecían al Sol. Por supuesto siempre quedó, por algún tiempo, alguna voz discrepante que seguía clamando por un efecto de la óptica. Para los

interesados pueden ver las discusiones entre Secchi y Emile Plantamour, 1815-1882).

Este último era director del Observatorio de Ginebra y Rector de su Universidad en la época del eclipse que presenció desde su ubicación en Castellón de la Plana.

Otro descubrimiento importante tuvo lugar en 1860. Ranyard (1879)⁴⁹ describe algunas conclusiones generales sobre los eclipses totales que se habían observado hasta la fecha de la publicación de su trabajo. Las manchas se habían descubierto con el telescopio a principios del siglo XVII y primeras observaciones del eclipse de 1612 parecían señalar que eran más oscuras que el borde lunar. Como muestra de las observaciones de nuestro eclipse señalaremos a J.H. Von Mädler⁵⁰ desde Vitoria/Gasteiz: *“La ocultación de la mancha solar pudo observarse con bastante contraste y la diferencia de intensidad entre la Luna y la mancha fue todavía mayor. La hasta ahora denominada como mancha oscura, podría tan solo describirse como gris”*.

Antonio Aguilar Vela, director del OAM, comentaba en el Anuario de 1861 (página 199): El aspecto general de la corona, tal como se vio desde el Desierto de las Palmas, se halla representado en la lámina adjunta D-23, formada con los apuntes que en aquellos momentos tomó A. Secchi, después de examinarla por algún tiempo con un pequeño antejo de mucha claridad y extenso campo. Se ha tomado cuidado de invertir la imagen para que aparezca tal como a simple vista pudo contemplarse.

⁴⁹ Ranyard, A.C., 1879, *Observations made during total solar eclipses*, Memoirs of the Royal Astronomical Society Volumen XLI

⁵⁰ Director del Observatorio de Tartu (Estonia, entonces Rusia). Después de un largo viaje llegó el 11 de julio a Vitoria acompañado de su mujer, y de M. Saar. Establecieron su campamento de observación en las cercanías del Caserío de Betiberrigutxi, desde donde visitaron a De la Rue.

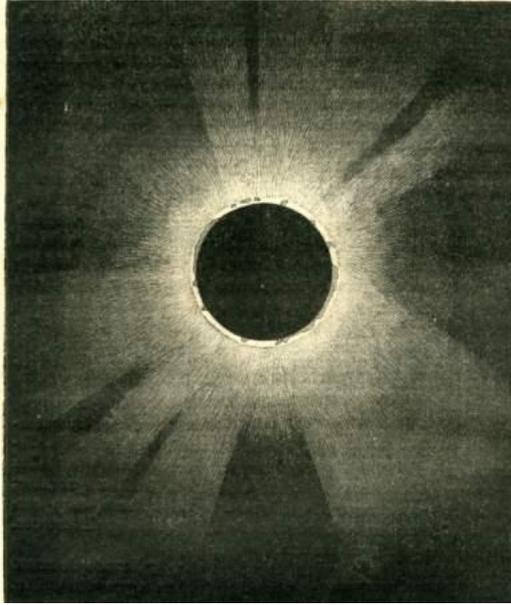


Figura D-23: Imagen formada a partir de las notas tomadas por A. Secchi.

Admírase en la fotografía desde luego la brillante y tenue corona luminosa que rodea inmediatamente el Sol eclipsado, como un anillo de luz deslumbradora, sobre el cual se destacan las protuberancias rosáceas; después, una inmensa cromosfera que se extiende a grande distancia alrededor: por último, rayos espléndidos que atraviesan esa corona formando con ella una gloria (como la de los santos)."

La corona es perfectamente concéntrica con el disco solar; Su aspecto durante un eclipse no nos permite dudarlo ya que es más brillante más cerca del borde lunar. Por lo tanto, ya no podemos atribuirle a la atmósfera de la Luna, y necesariamente debemos considerarla como perteneciente al Sol.

Observaciones coordinadas (secuencias de eclipses)

Es el eclipse de 1860, (18 de julio), el primero en que diversos grupos de astrónomos coordinaron sus observaciones, (*Peter D. Hingley, The first photographic eclipse?, Astronomy and Geophysics 42, Feb 2001, 1.18-1.22*). Por primera vez en la historia se realizaron fotografías del eclipse desde diversas fuentes que distaban más de 250 km entre ellas, lo que, por su diferente paralaje junto a observaciones astronómicas directas, condujo a desterrar para siempre todo tipo de protagonismo a la Luna en las protuberancias observadas.

Así dibujos (Figura D-24) del eclipse total de Sol del 18 de Julio de 1860, parecen reflejar la presencia de una ECM en el borde solar (Eddy, 1974)⁵¹. Ésta fue observada al principio del eclipse, en la península del Labrador, posiblemente como la erupción de una protuberancia que al cabo de unos minutos, cuando la sombra penetró en la Península Ibérica, se había transformado ya en una ECM.

⁵¹ Eddy, J.A.,1974, *A Nineteenth-century Coronal Transient*, *Astronomy and Astrophysics* 34, 235-240

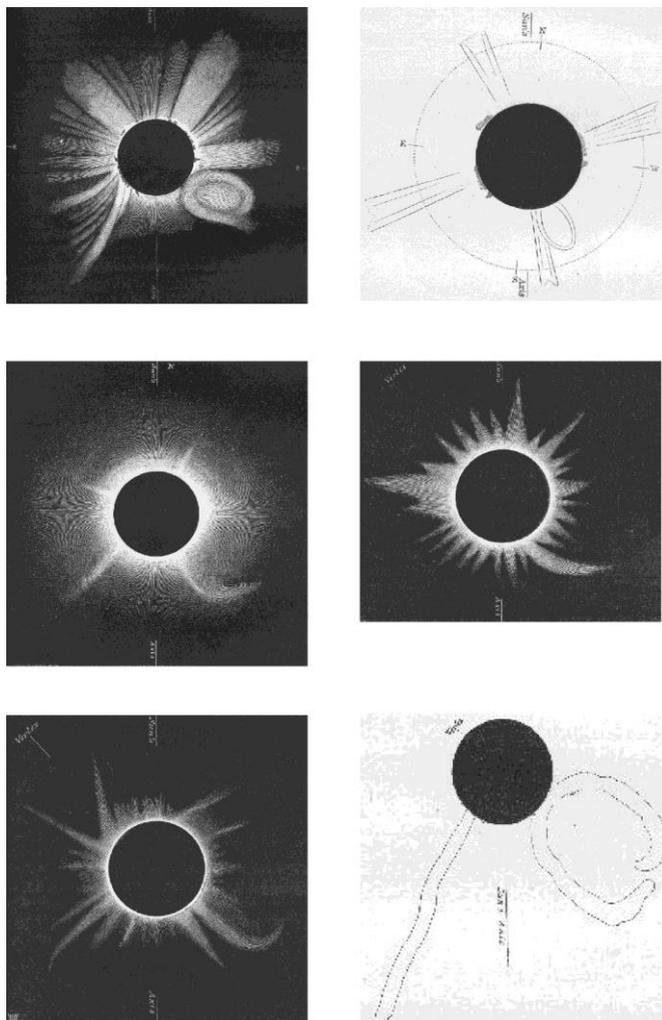


Figura D-24: Dibujos del eclipse total de Sol del 18 de julio de 1860. Los observadores, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, fueron: Guglielmo Tempel (Torreblanca, Alicante), von Feilitzsh (Castellón de la Plana), F.A. Oom (Alto de Urbaneja), E.W. Murray (Llodio, Logroño), F. Galton (Colina de La Guardia) y Carl von Wallenberg (Valencia)

A modo de ejemplo incluimos la descripción que hace Carl von Wallenberg observando desde Valencia: *“Una de las bandas luminosas que surgieron del Sol, destacó del resto debido a su considerable longitud. Partió del borde izquierdo, se curvó hacia abajo, al principio débilmente y progresivamente de forma más intensa y desigual, viéndose su periferia rodeada con algo similar, en forma y brillo, a una ligera banda de nubes, Su longitud la comparé con el diámetro de la Luna, encontrando que era al menos el triple. Si no hubiera hecho esta estima, hubiera indicado seguramente un tamaño considerablemente menor”*.

El Premio Nobel de Medicina Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) observó este mismo eclipse con su padre desde Valpalmas (Zaragoza) y lo narró en su biografía “Recuerdos de mi vida” (publicada en 1923, accesible en la Biblioteca Virtual Cervantes). En sus palabras: *“El eclipse de sol del año 60 había sido anunciado por los diarios y fue esperado por la gente con gran impaciencia. Muchas personas, protegiendo sus ojos con cristales ahumados, corrieron hacia colinas donde podían ver el eclipse con mejor comodidad. Llegó la hora anunciada y los cálculos se cumplieron con exactitud. Durante el eclipse, la inquietud llena toda la naturaleza, como me hizo observar mi padre. Para animales y plantas el eclipse es una contradicción, como si de repente las fuerzas naturales que gobiernan su vida fallaran. Comprendía que el hombre tiene en la ciencia un instrumento poderoso de previsión y dominio”*.

Tarazona y el Moncayo

Tarazona es un municipio perteneciente a la provincia de Zaragoza, en la comunidad autónoma de Aragón Es la capital de la comarca de Tarazona y el Moncayo (Figura D-25). El relieve varía desde las zonas áridas más cercanas al río Ebro hasta la Sierra del Moncayo. Entre ambos extremos se pueden observar las dehesas del somontano, el parque natural del Moncayo y la vega del río Queiles, que permite el acceso a Navarra.

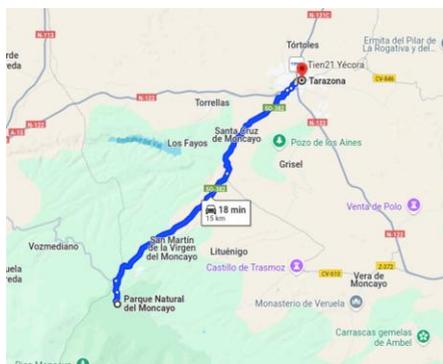


Figura D-25: Camino entre Tarazona y el Moncayo. Crédito: Google Maps

Eduardo Novella y Contreras (1818-1865), Catedrático de Geodesia de la Universidad Central y Primer Astrónomo del OAM, describe las peripecias del equipo hispano francés en su intento de observar el eclipse desde el Moncayo, en un informe al Comisario Regio del OAM⁵². Este se ha reproducido en el blog de Mariam Tarazona, *Dentro del Misterio*, del 15 de noviembre de 2021.

Formaron parte del equipo hispano además Tomás Ariño, Manuel Saénz Díaz, Valero Cansado Labastida, Constantino Ardanaz (Ingeniero de Caminos) y Celestino Olazaga.

En la expedición francesa estaban figuras como Jean Chacornac (1823-1873), Yvon Villarceau (1813-1883), León Foucault⁵³ (1819-1868) y el director del Observatorio de París, Urbain Le Verrier (1811-1877).

⁵² Novella, E.: *Memoria sobre los trabajos de la comisión astronómica que pasó al Moncayo a observar el eclipse total de Sol del 18 de julio último*. Manuscrito. AGA, EC. 6.510.

⁵³ Demostró experimentalmente la rotación terrestre en 1851 mediante un enorme péndulo, el llamado «péndulo de Foucault» (instalado primero en el Observatorio de París y unas semanas después en el Panteón de París). Entre otras contribuciones, midió la velocidad de la luz, hizo las primeras fotografías del Sol, descubrió las corrientes de Foucault e inventó el giróscopo.

Los instrumentos aportados por los franceses eran: tres anteojos (de seis, tres y media y cinco pulgadas de abertura) y dos telescopios con espejos de 20 y 40 centímetros de diámetro.

El 30 de junio ascendió el grupo madrileño al Moncayo desde Tarazona deteniéndose en el Santuario situado a media ladera en la falda este. No les satisfizo el lugar porque desde él quedaba oculto por la montaña el horizonte oeste y parte del sur. Al día siguiente subieron hasta la cúspide, a más de 2.000 metros de altitud y, aun siendo conscientes de la incomodidad producida por los fuertes vientos a que estarían sometidos, decidieron acampar allí y construir una caseta de piedra. Pronto hubieron de rectificar pues apenas construida la caseta la hundió el viento; así que volvieron al Santuario e instalaron los instrumentos en una pequeña plataforma delante de él. Enseguida se unió el grupo francés.

Sigamos con la descripción de Novella: *“Amaneció por fin el deseado día 18, y era tan densa y húmeda la niebla que rodeaba el Moncayo, que todos consentimos en no ver el eclipse, y para probar fortuna se decidió dividir las Comisiones, quedando en su sitio los instrumentos imposibles de transportar con los astrónomos que debían usarlos, y bajando al llano todos los demás”*.

En consecuencia, permanecieron en el Santuario (1621 metros de altura, Figura D-26) MM. Villarceau, Chacoroac é Ismail Effendi con los Sres. Saenz, Causada, Tomás Ariño (ayudante de Novella) y el alumno de la Escuela de Caminos Celestino Olózaga, y emprendiendo la marcha los restantes con tan feliz suerte, que conforme se bajaba, se disipaba la niebla.



Figura D-26: Santuario y Hospedaria del Moncayo

Al cabo de cuatro horas de camino se pudo ya escoger para garantizar estación las alturas de Tarazona donde el grupo se situó a las y once y media de la mañana bajo un cielo casi despejado, porque el viento fresco del N. O. había arrollado las nubes sobre el Moncayo, y apenas quedaban algunos cirros que no inquietaban. Empezó el eclipse, y siguiendo la parte del programa que les estaba encomendada, Mr. Le Verrier observó los contactos y estudió la disposición de las protuberancias rojas.

Mr. Tissot, geodesta del Observatorio de París, observó algún contacto, pero no consiguió ver el planeta intramercorial.

El Sr. Ardanaz tomó también algún contacto, y encargado de examinar el disco de la Luna durante la totalidad, no distinguió nada notable.

Preparado yo, Novella, con mi antejo adquirido a Stenheil, que es de una claridad admirable, observé con mucha seguridad el primer contacto exterior; y siguiendo la marcha de la Luna, tomé también los contactos con las manchas principales del Sol sin distinguir ninguna deformación de estas al aproximarse el borde de la Luna, lo que indica que no tiene ésta atmósfera perceptible; pero si noté que el borde de la Luna proyectado sobre el Sol no era regular, sino que presentaba el aspecto de una sierra de pequeños dientes desiguales, y sobre todo al aproximarse a la primera mancha, o sea la más occidental, vi en el borde inferior dos grandes picos que se diferenciaban mucho de los otros, sobre lo cual llamé la atención de Mr. Le Verrier que confirmó mi observación.

Aunque miré varias veces, apenas pude distinguir una pequeñísima parte del disco de la Luna fuera del Sol. Al aproximarse el eclipse total tampoco pude distinguir lo que se llama cuentas de rosario; porque a pesar de que hubo alguna ondulación, no era suficiente para producir tal apariencia. Así que observé la desaparición del último rayo de Sol, quité el vidrio de color y quedé sorprendido por el magnífico espectáculo del fenómeno, único en el mundo, y cuya mágica belleza todos la habrán sentido, pero pocos sabrán describirla.

Favorecido por mi antejo que me permitía ver toda la aureola, observé que esta brillaba más en la parte por donde se había ocultado el Sol que en la otra.

Al instante percibí que se destacaban sobre el fondo blanco de la corona y como adheridas al disco negro varias protuberancias rojas color de rubí claro, de las cuales dos que había juntas, a la derecha del punto más boreal, visión inversa, parecían puntiagudas; otras que estaban más abajo, siguiendo por el mismo borde, presentaban el aspecto de una cordillera desigual ; otras que había cerca del punto austral tenían una forma muy extraña, porque una estaba adherida al disco y la otra completamente aislada en forma de nube flotante bastante larga y paralela al borde.

Pasado el punto austral a la izquierda había una protuberancia notable también, porque al principio apenas se distinguía, y luego llegó a ser la mayor de todas adquiriendo la forma de llama. Por último, aparecieron también por el borde occidental varias protuberancias unidas que parecían una cordillera de llamas.

En su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias, E. Novella añadió algún detalle adicional sobre las fotografías. León Foucault utilizó una cámara oscura ordinaria dispuesta ecuatorialmente, con un objetivo doble de gran apertura y focal corta, que daba sobre el cristal raspado una imagen solar muy brillante. Con esta cámara, y utilizando colodión húmedo, obtuvo tres pruebas con tiempos de exposición de 10, 20 y 60 segundos. A continuación, las trató con sulfato de hierro y cianuro de potasio para conseguir imágenes positivas.

En las tres placas quedó bien impresa la corona, solo que en cada una la extensión es proporcional al tiempo de exposición; así que en la tercera, su anchura es triple del radio lunar. También se ve que la intensidad luminosa de la aureola va decreciendo conforme se separa del disco central, perdiéndose sus límites en el fondo del cielo, y notándose ciertas variaciones positivas y negativas que figuran los rayos de una gloria, distinguiéndose entre ellos uno más vivo y mayor que los demás.

¿Quién sino la fotografía hubiera podido conservar un retrato tan fiel de lo que todos han visto y no logrado trasladar al papel? Ya no quedará duda de lo inciertas que son las apreciaciones y de cómo debe estudiarse la corona para que los resultados sean comparables.

Hemos de mencionar además que los Sres. Bhruns, Director del Observatorio de Leipzig, y Auerbarch, comerciante del mismo punto, situaron su estación de observación en Tarazona.

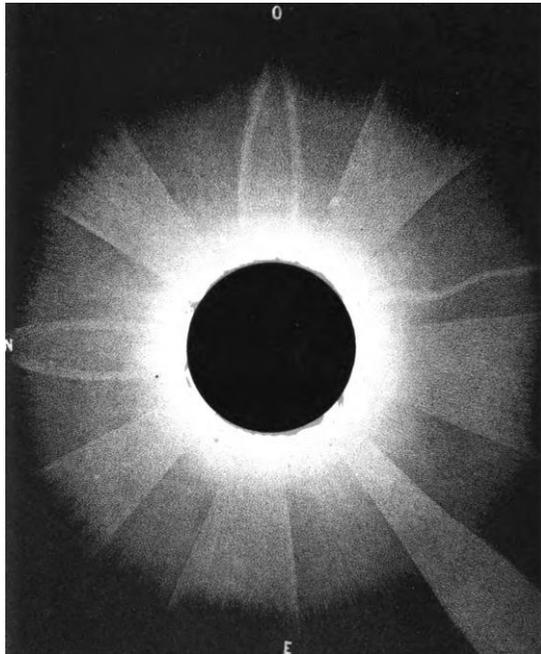


Figura D-27: La corona solar observada cerca de Tarazona

Sobre el fondo resplandeciente de la corona se distinguían muchos rayos de una blancura más brillante que el resto, casi todos normales al limbo ; pero como a la mitad del borde occidental se descubrían dos rayos luminosos, oblicuos respecto de dicho borde ,

que partiendo de puntos que distarían entre sí unos 20 grados, se encontraban ó confundían al extremo de la aureola, y formaban con el limbo de la Luna una especie de triángulo u hoja muy notable, cuyo fenómeno se repetía con toda claridad en la parte boreal, sin que se percibiera en ningún otro punto .

Por último, en el borde occidental, como a unos veinte grados del punto Sur, llamaba la atención un rayo muy brillante, que, partiendo de un punto separado del disco como un cuarto del radio lunar, formaba una curva muy marcada, con dos suaves inflexiones, perdiéndose luego en donde decrecía la luz de la aureola.

Oropesa

Francisco de Paula Márquez y Roco (1816-1886), lideró la expedición del *Observatorio de San Fernando*. Después de contactos previos en Madrid, emprendió viaje a Valencia adonde llegó el día 10, trasladándose el día siguiente a Castellón de la Plana (Márquez, 1861)⁵⁴. Allí se les unió la comisión portuguesa de Coímbra presidida por el astrónomo Rodrigo Ribera de Souza Pinto, D. Jacinto Antonio de Souza, profesor de física de la Universidad de Coímbra, y D. Juan Carlos de Brito Capello, oficial de la Marina portuguesa, destinado en el Observatorio meteorológico de Lisboa. Acompañaba a esta comisión el artista Sr. D. Francisco Antonio de Miranda. El Sr Bellón, gobernador civil, les ofreció un barco, destinado al servicio de faros, para su traslado a Oropesa.

El 12 de julio, al amanecer, fondeó en Castellón el vapor *Alerta* al mando del teniente de navío *Ángel Topete y Carballo*. En él venían como miembros de la Comisión el observador Enrique Garrido, los tenientes de navío de la Armada D. Manuel Fernández Coria, y D. Agustín Serrano Mayoral; el teniente de navío del Cuerpo de Ingenieros D. Jacobo José Gordon y los alféreces de navío D. Cecilio Pujazón y D. Simón Manzanos.

⁵⁴ Márquez, F., 1861, *Memoria sobre el eclipse de Sol de 18 de Julio de 1860*, Imprenta de Fontaner, Madrid. 201 páginas. Disponible en Google Books

Después de recibir a bordo a los astrónomos portugueses, salimos para el Cabo de Oropesa, a donde llegamos a las 10 de la mañana. Al instante se dio principio a poner en tierra los instrumentos, las tiendas, etc., y procedimos a instalarnos.

Los portugueses Souza y Miranda se encargaron de la parte astronómica, con un anteojo acromático Dolland. Souza y Brito de las observaciones fotométricas y magnéticas. Montojo y Gordon de la medida de parámetros meteorológicos como la presión, temperatura, humedad y la temperatura de radiación solar. Serrano y Pujazón de las medidas actinométricas. Garrido y Manzanos de la descripción de la corona y de las protuberancias.

El teniente de navío D. Manuel Fernández Coria y yo (Márquez) nos encargamos de medir ángulos de posición y magnitudes de algunas de las protuberancias: el señor Fernández Coria con un anteojo igual al de Garrido, pero con una amplificación de 40 veces. Por mi parte disponía de un anteojo montado ecuatorialmente, cuyo ocular amplificaba 49 veces y cuyo objetivo, puesto en servicio muy recientemente por Troughton and Simms⁵⁵, tenía 9.14 cms de abertura y 1.2 metros de longitud focal. En el foco de mi anteojo había colocado la empresa citada una escala de partes iguales trazada sobre cristal: el valor angular de cada parte, determinado en el observatorio era de 42"9.

Observaciones: El cielo estuvo en general despejado. A las nueve de la mañana de este día tuvimos el honor de ser visitados por S. A. R. Duque de Montpensier⁵⁶, que permaneció con nosotros casi hasta el fin del Eclipse. Los Sres. D. José Bellón, D. E. Trujillo y D. Felipe Picatoste periodista de *Las Novedades*, que también los acompañaban en ese día, tuvieron la bondad de tomar parte en las observaciones.

Un minuto antes de la totalidad, los observadores, que ya se habían quitado de sus anteojos los vidrios moderadores, pudieron

⁵⁵ Empresa británica de fabricación de instrumentos astronómicos, fundada en 1826 y que, después de una fusión, continuó funcionando hasta 1930.

⁵⁶ Antonio de Orleans y Borbón-Dos Sicilias (1814-1890), padre de la Reina Mercedes (1860-1878).

contemplar la luz enteramente blanca de la falce u hoz solar, sin notar ninguna particularidad en el color negro de la luna, y sin dejar de ver perfectamente terminados los limbos de ésta y del sol.

Solamente merece la pena destacarse que unos 30 segundos antes que la luna ocultase completamente al sol, la delgada falce (hoz) de este astro, adquirió un color fuerte de rosa, y simultáneamente el pequeño arco visible del limbo solar apareció circundado de una corona muy angosta de color violado que se fue extendiendo progresivamente alrededor del limbo de la luna a medida que ésta se adelantaba sobre el sol. En el momento mismo de la totalidad, todos los observadores vieron casi completa esta corona alrededor de la luna y, al completarse, convertirse rápidamente su color violeta en rosado, presentando alrededor de la luna una corona ancha de color de plata mate (Figura D-28).

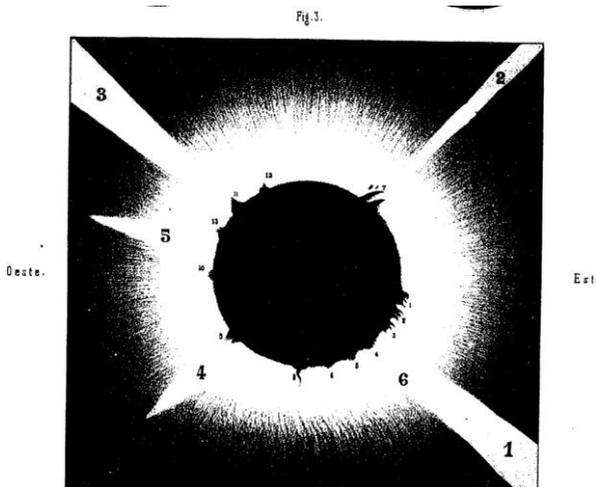


Figura D-28: La gran aureola blanca (plata mate) y la corona pequeña rosada, presentaban el aspecto que se ve en la figura 3. * en la que, por ahora, se debe prescindir de las protuberancias: los haces de luz blanca 1, 2 y 3, cuya posición aproximada se representa en la figura, eran mucho más luminosos que los demás, si bien la intensidad de la luz no era la misma en los tres.

Las bases de todos los haces de rayos luminosos estaban, al parecer, en contacto con el filete rosado, la cromosfera, que circundó constantemente al limbo de la luna durante la totalidad.

Los Señores Souza y Brito Capello, transformando un anteojo en microscopio, pudieron seguir la marcha de todo el eclipse observando las imágenes de los astros proyectadas sobre un cartón blanco. Los limbos de los astros y casi todas las manchas solares se vieron con suma distinción;

pero no se notó la menor apariencia ni de la corona ni de las protuberancias.

El doctor Souza, desde el momento en que se presentó la corona la exploró en todos sentidos con un polariscopio bilunar de Arago, y no halló la menor señal de polarización; pero más tarde, cuando ya se habían presentado las protuberancias, el señor Brito Capello, con un polariscopio de Savart, halló polarizada la luz de la corona.

Hasta unos dos minutos después de reaparecer la luz solar continuaron todos los observadores en sus puestos: unos observando si se presentaban nuevos fenómenos sobre los limbos o los discos de los astros, y otros, que ya tenían la vista fatigada, haciendo anotaciones.

Al final de su Memoria el Sr Márquez dedica un amplio espacio a presentar las ventajas sobre las dos teorías alternativas sobre la corona y protuberancias, discutiendo sobre si estas estructuras pertenecen al Sol o se tratan de un fenómeno óptico. Después de este eclipse pensamos que la disputa concluyó.

Se incluyen también observaciones realizadas por otros miembros de la Armada en Madrid, El Ferrol y San Fernando.

Observaciones de un grupo de catalanes

Resulta interesante narrar la expedición de una serie de amigos, aficionados a la astronomía, que se asociaron para trasladarse desde Barcelona a Oropesa a bordo del barco *Indio*

(Presas y Puig et al., 1861)⁵⁷, con un director de prestigio como Lorenzo Presas y Puig (1811-1875)⁵⁸. Para la observación (Figura D-29) eligieron la loma *Puig de San Joseph* (23.6 metros de altura).



Figura D-29: Campamento en el Puig de San Joseph

Los tiempos característicos del eclipse fueron observados por los pilotos José Pares, Paulino Blanch y Rafael Patxot mientras que el relojero Francisco Dunand observaba la hora de estos contactos con el cronómetro. La duración de la oscuridad fue de 3'06".

Las manchas que había sobre el disco solar fueron observadas por José Pares y Paulino Blanch con el telescopio, mientras que Francisco Dunand tomó nota del momento en que fueron ocultadas por el borde lunar.

⁵⁷ Presas y Puig, L., Maymó, M., Dunand, F., 1861, *Eclipse del sol de 18 de Julio de 1860 observado en Oropesa por una reunión de catalanes*, Joaquín Bosch

⁵⁸ Doctor en Ciencias y Farmacia y catedrático de Matemáticas y Mecánica de la Universidad de Barcelona. En 1842 se trasladó a Perpiñán para colaborar con F. Arago en la observación del eclipse. Obtuvo también, desde Barcelona, un daguerrotipo del eclipse solar de 1851.

Rafael Patxot y Antonio Michel observaron la corona con los anteojos astronómicos del sextante. El señor Yáñez y el capitán del «Indio» con gemelos o sea anteojos de Galileo; la mayor parte de los observadores lo hicieron a simple vista.

Parés y Dunand observaron el eclipse con el telescopio del primero, el cual no vio ningún punto luminoso en el disco de la luna. Mariano Maymó lo observó con unos gemelos marinos y recordando lo que decía F. Arago⁵⁹ (1786-1853) relativo a la formación de la corona luminosa, y a las dos ráfagas o flamas⁶⁰ de color rojo que observó en el eclipse total de 1842, se propuso fijar en ella toda su atención.

“En el mismo momento en que la luna acababa de ocultar el disco del sol, vi aparecer una corona luminosa por alrededor de ella, cuyo grueso parecía no exceder en término medio, a la cuarta parte del diámetro de nuestro satélite. Esta corona era producida por un gran número de rayos de luz que, reconociendo por centro el del sol, se extendían en todas direcciones”.

La multitud de rayos luminosos y su mayor intensidad formaban junto al limbo de la luna un anillo continuo que llamo aureola, cuyo grueso era aproximadamente la cuarta parte del de la corona.

La luz de la corona se presentó muy brillante y de un tinte semejante al de la luz eléctrica. En varios puntos de ella muchos de los rayos luminosos que debían ser divergentes, convergían de tal modo que llegaban a cruzarse, siendo de notar en la parte inferior, uno de mayor magnitud y grosor que los demás, que afectando una

⁵⁹ Arago, F., 1842, Sur l'eclipse totale de soleil du 8 Juillet 1842, Institute de France, Comptes Rendus

⁶⁰ Un comentario sobre la relación entre la Semántica y la Ciencia. En este caso se está hablando de Flamas, que tanto en francés como en catalán se refiere a llama, destacando su color y temperatura. Si nos referimos a su aspecto morfológico tendremos en inglés Prominences, en alemán Protuberanzen y en castellano Protuberancias. A lo largo del siglo se estudió su relación con el campo magnético lo que daba la idea de arcos, donde la materia está obligada a seguir las líneas de fuerza del campo magnético bipolar. Cuesta trabajo cambiar los nombres de estructuras que permanecen in secula seculorum.

forma serpentina sin separarse de la dirección del centro común, presentaba tres ondulaciones muy marcadas.

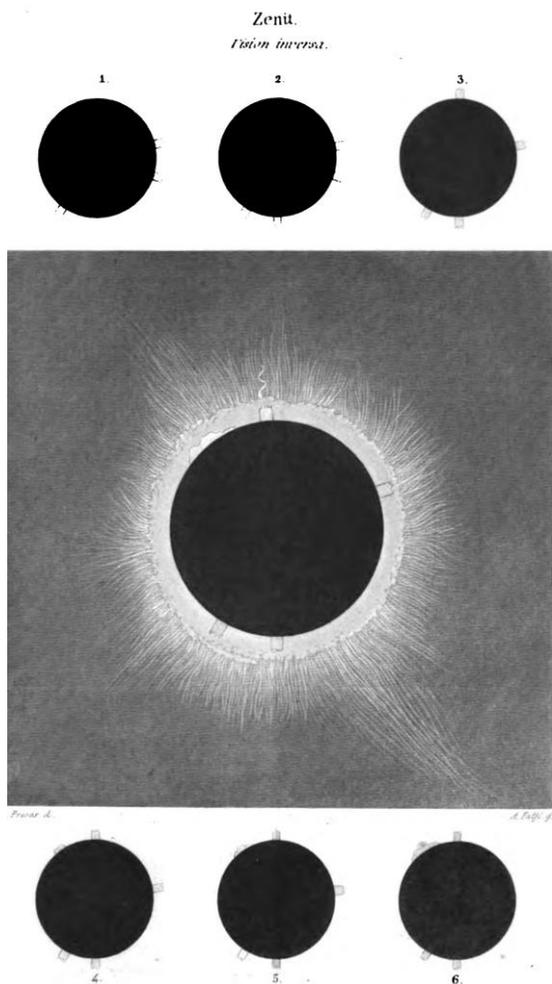


Figura E-30: La corona solar observada por una expedición catalana desde cerca del Faro de Oropesa

Pocos segundos después del inicio de la oscuridad total apareció por el mismo punto en que acababa de ocultarse el sol, una especie de flama y en el espacio de cincuenta segundos, se presentaron sucesivamente otras dos, iguales a la primera, a poca distancia, hacia la parte inferior de esta, bien separadas e independientes una de otra. Estas flamas desaparecían en el mismo orden en que se iban presentando mientras se formaban otras por la parte superior e inferior del disco de la luna, apareciendo finalmente las últimas por la derecha y por el punto en que debía empezar a descubrirse el sol.

Estas últimas flamas fueron en número de cuatro, las cuales, uniéndose sucesivamente, una con otra a medida que se iban formando, vinieron a confundirse en una sola de forma irregular que se extendía sobre un arco de veinte a veinte y cinco grados. La rápida desaparición de esta flama dio paso a la luz directa del sol y terminó la total oscuridad”.

El Profesor Lorenzo Presas observó con su telescopio y comentó brevemente lo siguiente: *“El fenómeno que observé con visión inversa consiste en la corona, que rodea el disco negro de la luna, que supongo compuesta de aureola luminosa que rodea el disco de la luna, rayos luminosos que salen inmediatamente de la aureola (ésta y los rayos son de color blanco), y flamas de color de rosa claro con tinte ligeramente violado, que salen del disco de la luna”.*

La aureola y rayos luminosos que a *simple vista* se presentan de un color blanco ceniciento, vistos con el *telescopio*, los rayos que están siempre en movimiento brillan como el diamante y las flamas se asemejan al color de los rubíes.

Asturias

Primera región de la Península en que se pudo contemplar el eclipse total (Figura D-31). Un primer objetivo fue comprobar el límite Sur de la franja de totalidad. El brigadier Elorza de la fábrica de Trubia dispuso las tropas a su mando provistos de pequeños anteojos. De sus observaciones se concluyó que la aldea de Linares,

donde se eleva el Pico de Grandameana, marcaba el límite Sur de la sombra lunar en esta latitud. El borde real de la sombra habría pasado un poco al Norte del punto designado por el cálculo.

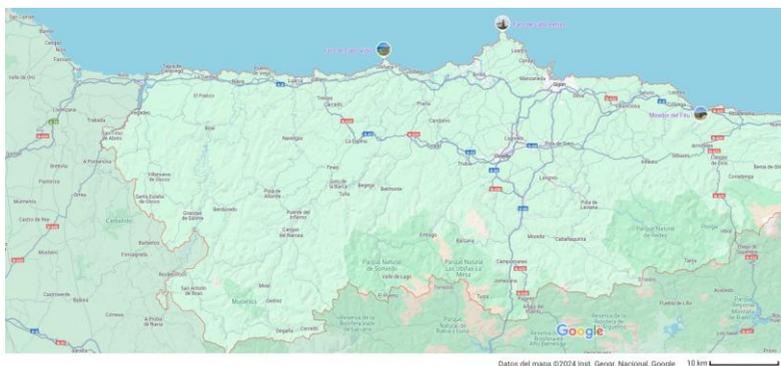


Figura D-31: Mapa de Asturias. Instituto Geográfico Nacional

El periódico *El Comercio* reprodujo en nuestros días un testimonio que se incluyó en ‘La Discusión’ el 2 de agosto de 1860. Se trataba de una carta escrita por el ilustre ovetense José González Alegre, republicano e hijo del exdiputado progresista de igual nombre.

Cuenta el entonces joven doctorando que el 18 de julio, hacia las diez de la mañana, salió de Oviedo con «varios amigos» y se dirigieron hacia “la pintoresca montaña del Naranco”. Los caminantes disfrutaron del paisaje, admiraron el románico de San Miguel de Lillo, y finalmente llegaron a la cumbre, donde fueron recibidos por otros paisanos que habían acudido con idéntico objetivo.

Entonces prepararon los sencillos instrumentos para contemplar el espectáculo. Y llegó el momento decisivo: «comenzamos a observar, con el auxilio de cristales y anteojos ahumados, que un punto negro se ponía entre el sol y nuestra vista».

Reinó el silencio, todos permanecieron absortos, el nerviosismo era general: “la mancha fue creciendo; nuestra

ansiedad en aumento. Media hora después notamos que el cielo se oscurecía por momentos, especialmente hacia el Norte, que la campiña presentaba un aspecto triste, como en uno de esos días de invierno. Y cundió la inquietud entre los animales: las golondrinas huían y los pájaros pasaban a ocultarse entre los árboles y zarzas; los ganados se agrupaban”.

En Gijón se realizaron observaciones meteorológicas y astronómicas por una comisión mixta de Oficiales del Ejército y profesores de la Escuela Industrial. Los resultados fueron incluidos en el informe del Sr Van Halen, comandante de Ingenieros. Por su parte en la cercana Oviedo participaron 24 personas bajo la dirección del Sr Salmean, catedrático de Física.

En el Anuario del OAM, 1861, Antonio Aguilar comentó las observaciones sobre las protuberancias hechas en Gijón y Oviedo, puntos próximos uno a otro, y donde, sin embargo, las apariencias fueron muy distintas, y aun contradictorias. De Gijón, como de la mayor parte de las demás estaciones de la Península, se nos dice sencillamente: *momentos después de comenzado el eclipse total, se percibió dentro de la corona, a unos 135° en el limbo oriental, una pequeña nube blanquecina que parecía ser centro de mayor irradiación; repitiéndose igual fenómeno aproximadamente a 45° del limbo occidental, antes de reaparecer la luz.*

Briviesca (Burgos)

Aquí se asentó la expedición *rusa* formada por Pratzmuski, primer astrónomo del Observatorio de Varsovia y Rechnieuski, teniente coronel de Estado Mayor y profesor de Geodesia en la Escuela de San Petesburgo y la francesa de F. Petit (1810-1865), director del Observatorio de Tolosa, D'Abbadie, astrónomo, Bruno Lespiaut, profesor de Astronomía de la Facultad de Ciencias de Burdeos, Bural y Main de la misma Facultad.

Sigüenza (Guadalajara)

Se formó un grupo en torno a Mariano Santisteban, catedrático de Física del Instituto de Sigüenza, constituido por Eduardo Echegaray, M. Casado, Alejo Muela y A. Ruiz de Castañeda, autor del informe⁶¹.

El observatorio se instaló en el Cerro del Otero, a tres kilómetros del pueblo y con una altura de 700 metros.

Vitoria / Gasteiz

Además de la estancia de J.H. Von Mädler (citado en la sección de W. De la Rue) quisiera mencionar algunos aficionados locales.

Observaron el eclipse, los profesores de física, geografía e historia natural, del instituto de Enseñanza, Félix Eseverri, Daniel R. de Arrese y Antonio Pombo y el director de la Escuela Normal, Benigno Lacunza. Utilizaron un antejo “Dollond” que regaló Bartolomé de Ayala a la Iglesia Colegiata de Vitoria. Con los datos obtenidos en la observación, redactaron un informe, que fue enviado al Observatorio Astronómico de Madrid.

Otros, estudiaron los efectos que el eclipse causó en las plantas y los animales, entre ellos Pedro Vicente Zabala Boneta (1817-1882), farmacéutico de Vitoria que vivía en una casa de campo con jardín en las afueras de la ciudad.

Ya comentábamos que en la Parte Final del Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid (OAM), se incluía una relación de todas las observaciones en España de la fase de totalidad de este eclipse. Las que hemos reseñado aquí han sido reservado a lo que hemos considerado con mayores consecuencias y con mayor número de participantes. Todos los grupos en conjunto han contribuido al avance del conocimiento de las capas externas del Sol.

⁶¹ Ruiz de Castañeda, A., 1860, *Observaciones sobre el eclipse solar del 18 de julio de 1860*, Revista de Obras Públicas Tomo I (15), 178-183

A la espera de mejoras en la instrumentación que permita ampliar los breves momentos de los eclipses. Sin embargo, el avance científico acontece con frecuencias a saltos. Hemos de esperar una década para que, de nuevo en la Península, se produzca uno de estos episodios.

1870 diciembre 22

Antes de comenzar con la descripción de este eclipse puede resultar adecuado incluir un pequeño relato sobre su historia. Estamos en plena guerra franco-prusiana que duró desde el 19 de Julio de 1870 al 10 de mayo de 1971. Esta fue la razón por la que no hubiera expediciones de los bandos contendientes a España.

En este contexto un comentario adicional sirve para ilustrar las dificultades que, a veces, hay que vencer para observar un eclipse.

El astrónomo francés Pierre Jules Janssen (1824-1907) tenía la intención de observar el eclipse de 1870 desde Argelia, territorio entonces de Francia. Pocas semanas antes, París estaba bloqueado como resultado de la guerra con Prusia. Decidido a toda costa a realizar las observaciones, se subió el 2 de diciembre de 1870, con un ayudante a un globo 'La Volta,' de 72,000 pies cúbicos de capacidad, con el que después de numerosas dificultades lograron alcanzar la costa atlántica, Saint Nazaire en la desembocadura del Loira. El descenso los llevó hasta Nantes, en cinco horas, donde un tren especial le condujo primero a Tours y luego a Marsella de allí trasladarse al norte de África⁶². El resultado fue frustrante ya que el tiempo estaba totalmente nublado en Orán el 22 de diciembre, el lugar de la observación (Janssen, 1879)⁶³.

⁶² Durante este tiempo se considera que unos 60 globos saltaron el cerco, no solo con personas sino también con una considerable cantidad de correo. Solo cinco fueron capturados por los prusianos.

⁶³ Janssen, J., 1879, *Notes on Recent Progress in Solar Physics*, *Annuaire du Bureau des Longitudes* p. 623. Además de describir este viaje, Janssen se planteó la habitabilidad del Sol propuesta por W. Herschel en 1801 suponiendo un núcleo frío.

Vayamos ahora a las particularidades de este eclipse que fue visible en el Sur de España, tal como muestra el mapa adjunto. El camino de totalidad incluyó el sur de Portugal, sur de España, norte de Marruecos y Argelia, Túnez, Italia, Grecia y partes de Turquía, Bulgaria, Ucrania y Rusia.

En cuanto a las ciudades españolas podemos citar a Sanlúcar de Barrameda, Jerez de la Frontera, Ubrique, Huelva, San Fernando, Málaga y Estepona (Figura D-32).

A partir de este eclipse el Observatorio Astronómico de Madrid va a iniciar⁶⁴ una doble misión: 1) Informar a las expediciones extranjeras sobre las condiciones del Gobierno para su instalación y los servicios disponibles y 2) Informar a los ciudadanos españoles sobre las cuestiones básicas de los eclipses y precauciones a tomar para su observación.

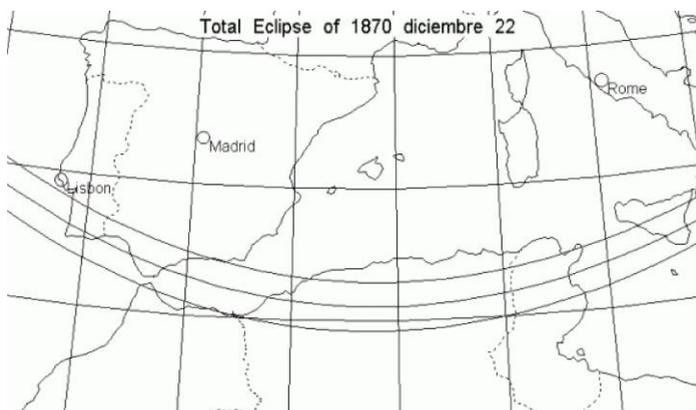


Figura D-32: Franja de totalidad del eclipse

Janssen conocedor de la teoría nebular de Laplace, concluyó que un proceso de condensación no pudo dar lugar un núcleo frío, sino muy caliente.

⁶⁴ Aguilar, A., 1869, *Eclipse de Sol del 28 de diciembre de 1870*, Anuario del Observatorio de Madrid Año X 1870, Imprenta de Miguel Ginestá, Madrid, páginas 323-360. Se complementa con un borrador manuscrito en que se incluyen la correspondencia del Observatorio con las autoridades para organizar este evento y finalmente financiar la participación del OAM.

Espectroscopia solar

Lo podemos llamar el eclipse de los espectros solares. Esto suponía un gran avance ya que a partir de entonces podíamos decir algo sobre la Física de los objetos que estábamos observando.

I. Newton nos demostró que la luz estaba compuesta por colores con sus experimentos con prisma. Sin embargo, la dispersión de colores que ofrecían los prismas no parecía ser la suficiente para obtener muchos detalles del espectro solar. Los fenómenos de la interferencia y difracción de las ondas fueron utilizados para mejorar la situación.

Existen numerosos textos de introducción sobre la óptica geométrica. La ley de Snell (Figura D-33) gobierna los procesos de reflexión y refracción al incidir luz sobre la superficie de un prisma de índice de refracción n . El grado de inclinación del rayo de luz emergente, δ , depende del ángulo que forma el haz incidente con la normal a la superficie α . A saber $\delta = (n - 1)\alpha$

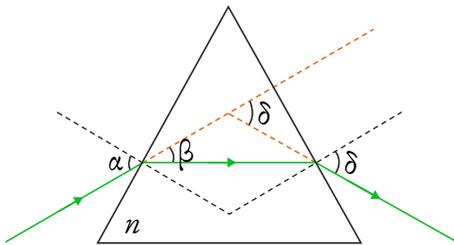


Figura D-33: Ley de Snell

Dependiendo de nuestro objetivo científico en concreto, el material del prisma es importante, por ejemplo, la dispersión lineal⁶⁵. Existen dos tipos principales: *Flint*, con un alto índice de refracción y alta dispersión y *Crown*, que por el contrario tiene un bajo n y una baja dispersión.

⁶⁵ La luz se descompone en colores formando un espectro que abarca una distancia lineal X sobre el detector. $\Delta \lambda / \Delta X$ ($\text{\AA} / \text{mm}$) es lo que se viene a llamar dispersión lineal de un prisma o espectrógrafo. Para más detalles cualquier tratado de óptica.

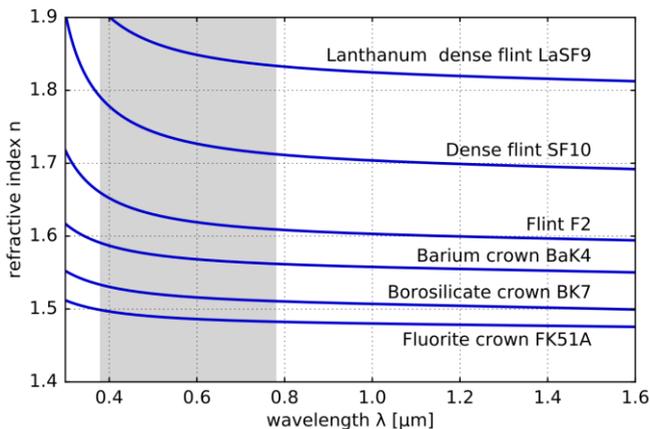


Figura D-34: Variación del índice de refracción con la longitud de onda, en micras, para diferentes materiales Flint y Crown.

Dos parámetros son importantes para describir a un espectrógrafo: a) Pureza o Perfil instrumental, $\Delta\lambda$, es una medida de la anchura (FWHM) de las líneas monocromáticas registradas por espectrógrafo. La resolución espectral R es el cociente entre la longitud de onda y la pureza espectral.

En lugar de utilizar agujeros para producir interferencias se podían grabar rayas a distancias equidistantes sobre una placa de cristal (Figura D-35). La luz incidía sobre estas muescas, se difundía y se producían interferencias. Teníamos lo que se conoce como una red de difracción⁶⁶. El estadounidense David Rittenhouse (1732-1796) fue el primero en construir una, hacia 1785, con unas cien líneas por pulgada.

⁶⁶ Con un prisma se pueden separar dos longitudes de onda con una precisión de una parte en diez mil. En la actualidad se utilizan para la observación solar, redes de difracción con un poder separador de una parte en un millón.

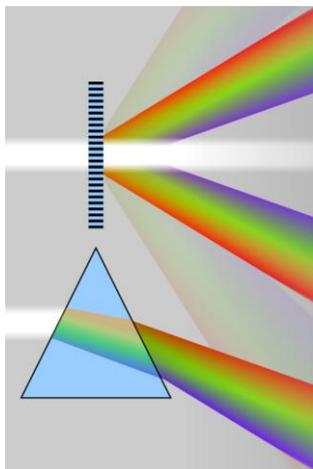


Figura D-35: Comparación de una red de difracción y de una dispersión de la luz por un prisma

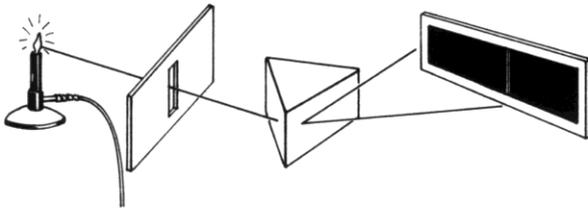
Parece que fue el inglés William Wollaston (1766 - 1828) el primero en darse cuenta, en 1802, de la existencia de líneas oscuras en el espectro solar⁶⁷. Las siete que observó se encontraban, por casualidad, en las transiciones entre colores, con lo que las tomó como simples líneas divisorias sin mayor importancia.

El alemán Joseph Fraunhofer (1787 – 1826) era un experto en la fabricación de vidrios. Hacia 1814 estudiaba la descomposición de la luz mediante un prisma de gran calidad, cuando notó que estaba surcado por numerosas líneas oscuras.

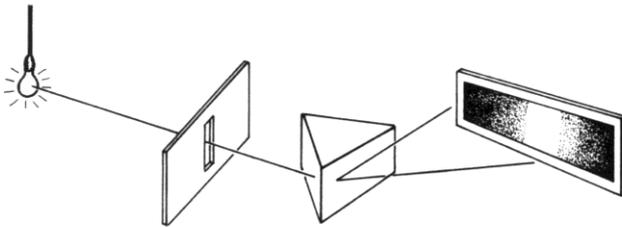
Más interesado en el problema que Wollaston, llegó a catalogar hasta unas 700 líneas, a las que asignó letras que iban de la A a la H y de la *a* a la *b*.

Hagamos ahora un recordatorio sobre los tres tipos de espectros (Figuras D-36 y D-37), basados en los experimentos de laboratorio de Gustav Kirchhoff (1824 – 1871) y Robert Bunsen (1811 – 1899). Un vapor de un determinado elemento emite radiación en una serie de líneas características.

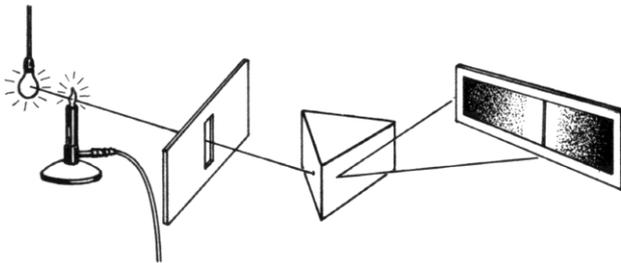
⁶⁷ Wollaston, W., 1802, *A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection*, Philosophical Transactions of the Royal Society, Vol. 92, no. 365



Espectro de emisión



Espectro continuo



Espectro de absorción

Figura D-36: Cuando calentamos un sólido tenemos un *espectro continuo* de radiación. Su intensidad depende de la temperatura del cuerpo y la de la radiación. Si intercalamos entre el sólido y el detector una nube de vapor de un determinado elemento, tendremos un *espectro de líneas de absorción*, características del elemento, superpuestas sobre el espectro continuo. Si es tan solo el gas (incandescente) el que emite radiación tendremos un *espectro de emisión*.

En el espectro de emisión tendremos unas líneas de emisión en las mismas posiciones que ocupaban antes las de absorción.

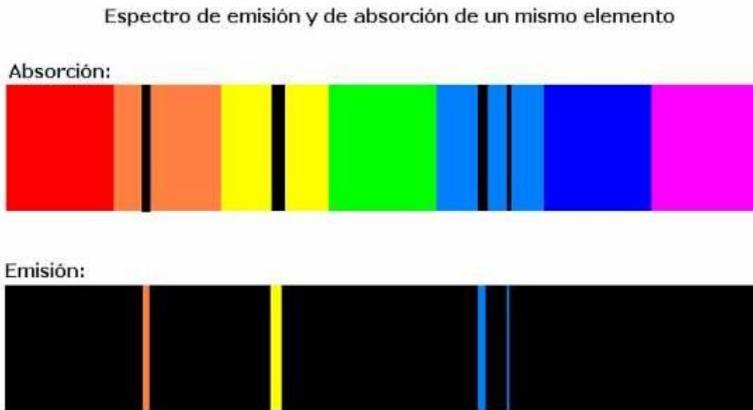


Figura D-37: Coincidencia de la posición de las líneas de absorción con las de emisión en el espectro solar.

Jerez de la Frontera

Benjamin Peirce (1809-1880), *Superintendente del United States Coast Survey*, escribió un informe sobre el eclipse de sol del 22 de diciembre, 1870 (traducido por la Universidad de Navarra) cuyas líneas maestras vamos a seguir.

Peirce había escrito a John A. Bingham, congresista de Ohio, el 8 de marzo de 1870 solicitando fondos para la expedición. Con prontitud se le asignaron 28.000 dólares y se le puso al frente de la expedición americana.

Dos lugares fueron seleccionados: Sicilia y el Sur de España. Peirce puso a su amigo Joseph Winlock (1826-1875), del Harvard College, al frente del grupo de España. En la foto D-38 vemos al grupo reunido antes del eclipse



*Figura D-38: Fotografía de los Harvard. Archives UAV 630.369.10
En el centro, al lado del telescopio J. Winlock y S.P. Langley*

Los participantes fueron George W. Dean (1825-1897), Asistente del United States Coast Survey; el profesor *Charles A. Young* (1834-1908), del Dartmouth College; el capitán Oswald H. Ernst (1842-1926), del ejército americano; el profesor Samuel P. Langley (1834 -1906), entonces de la Western University, Pennsylvania; el profesor Edward C. Pickering (1846-1919), del Massachusetts Institute of Technology (MIT); Alvan G. Clark (1832-1897), de Cambridgeport, Massachusetts; Henry Gannett (1846-1914), asistente en el Harvard College Observatory; O. H. Willard, de Filadelfia, fotógrafo de la expedición, y su ayudante, Mr. Jerry Mahony; W. O. Ross, ayudante del profesor Pickering y J. C. White, de Cambridge, Massachusetts, carpintero de la expedición.

El emplazamiento principal se situó en el Olivar de Buena Vista, a una milla al nordeste de Jerez, propiedad de los comerciantes de vino Richard H. Davies y su hermano. Durante veinte días se estuvieron haciendo preparativos, instalando los instrumentos y afinando su calibrado. En la azotea de El Recreo, casa de campo del olivar, se apostaría lo más granado de la astronomía y la astrofísica

estadounidense del momento. Un total de once personas que hemos mencionado.

A ellos se unirían algunos espontáneos colaboradores del lugar como Joseph C. Gordon, de origen escocés, y vinculado igualmente al sector del vino, Mr. Norman y Mr. Pye, además del pintor inglés Paul Jacob Naftel (1827-1891), que perpetuaría el momento cumbre del eclipse en una espléndida, imagen que reproduciría el periódico ilustrado inglés *The Graphic*, el 21 de enero de 1871 (Figura D-39).

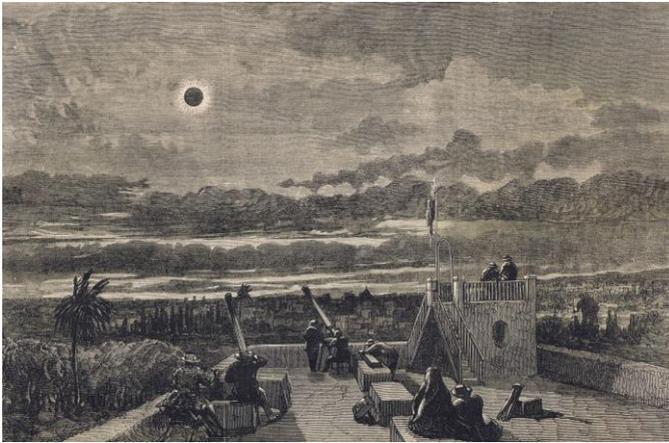


Figura D-39: Grabado publicado en *The Graphic* el 21 de enero de 1871 a partir de una acuarela de J. Naftel

Naftel no solo lo pintó, sino que dejó unas anotaciones de cómo se fue desarrollando el fenómeno: *“En el primer momento de completa ocultación del sol, la oscuridad total lo llenó todo, nubes de color púrpura aparecieron en el horizonte entremezcladas con rayas anaranjadas. La distante ciudad de Jerez pasó del blanco a un intenso y denso azul”*.

Joseph Winlock llevó a Jerez un telescopio con una lente de 10 cm de apertura y 97.9 cm de focal, con el que pudo obtener

algunas fotografías de la corona solar. En cierto sentido fue un predecesor del diseñado años después por Schaeberle, que sería utilizado en varios eclipses a partir de 1890 (ver 1905 Lick Observatory).

Desafortunadamente el mal tiempo interfirió en las observaciones de ambos grupos. En algunos casos las nubes se abrieron justo a tiempo. Joseph Winlock escribió: *"pocos minutos antes de la totalidad, apareció una rendija de azul al oeste, y lo aclamamos como proporcionando un rayo de esperanza. Lentamente se fue moviendo, dirigiendo su curso justo hacia el sol entonces reducido a una estrecha medialuna. Finalmente lo alcanzó; en un momento más la luna había completado el fenómeno, y ahí, claramente, entre las densas masas de pesadas nubes, estaba suspendido el bello espectáculo"*.

A los equipos de algunas localizaciones les fue mejor que a otros, pero todos ellos fueron capaces de obtener al menos resultados parciales a través de huecos entre las nubes. Aunque la esposa del coordinador de la expedición, Zina Peirce, no era científica, fue capaz de registrar un fenómeno desconocido: *Tuvo éxito al dibujar la corona, y reconoció con claridad las hendiduras oscuras que habían llegado a ser motivo de discusión, y que fueron fotografiadas por Mr Bothers, del equipo británico en otro emplazamiento.*

A pesar del mal tiempo la expedición fue un éxito. Peirce estaba eufórico: *"La expedición del eclipse ha sido un éxito maravilloso. Hemos resuelto problemas y sacado a la luz nuevas cuestiones. Hemos cortado cabezas a la hidra y nuevas cabezas han brotado en su lugar. Los misterios de la ciencia son tan eternos como el alma, tan infinitos como la divinidad. Ya no hay duda de que externamente al sol que se ve ordinariamente hay una atmósfera de al menos cincuenta mil millas de altura, y quizá de ciento cincuenta"*.

Tratemos ahora las aportaciones individuales

Charles A. Young (1834- 1908) había diseñado un espectrógrafo que le permitía realizar observaciones visuales del comportamiento de la línea H γ durante el eclipse. Con ello demostró

la existencia de lo que se llamó entonces capa inversora (reversing layer)

Así describía Young el evento: *“Cuando la Luna avanza, haciendo cada vez más estrecha y estrecha la parte restante del disco solar; las líneas oscuras del espectro permanecen sensiblemente sin cambios, aunque parecen un poco más intensas. Una pocas, sin embargo, empiezan a debilitarse y otras aún parecen volverse brillantes uno o dos minutos de que la totalidad comience.*

Pero en el momento en que el Sol se oculta, a lo largo de toda la longitud del espectro, desde el rojo al violeta, las líneas brillantes se dispararon desde cientos a miles en unos dos o tres segundos. Esta capa parece tener solamente un espesor de menos de mil millas y el movimiento de la Luna la cubre rápidamente”.

En resumen 1870: Observación del espectro antes, durante y después de la totalidad.

Capa inversora:

Espectro de absorción \Rightarrow Espectro de emisión

.... *“Las líneas oscuras del espectro, y el mismo espectro, se fueron debilitando, hasta que de pronto, tan repentinamente como las chispas del encendido de un cohete, todo el campo de visión se llenó con más líneas brillantes de las que uno podría contar”.*

Este astrónomo estadounidense había observado por primera vez, en 1869, el espectro de la cromosfera solar y descubrió una raya verde muy brillante en la corona. Como la misma no se ajustaba a ninguna de las líneas espectrales conocidas, le asignó un nuevo elemento a la producción de la misma, el cual denominó *Coronio*. Ya que se había descubierto un nuevo elemento en el Sol, el helio, en 1868, no había razón para que no pudiera acompañarle otro. Sucesivas observaciones en eclipses fueron añadiendo otras líneas coronales como la amarilla (569,4 nm = 5694 Å) y la roja (637,4 nm). Al mismo tiempo se buscaron analogías, desde los volcanes terrestres hasta las lejanas nebulosas planetarias donde también se habían descubierto otras líneas desconocidas atribuibles al presunto elemento nebulio, compañero de viaje del, no menos presunto, coronio.

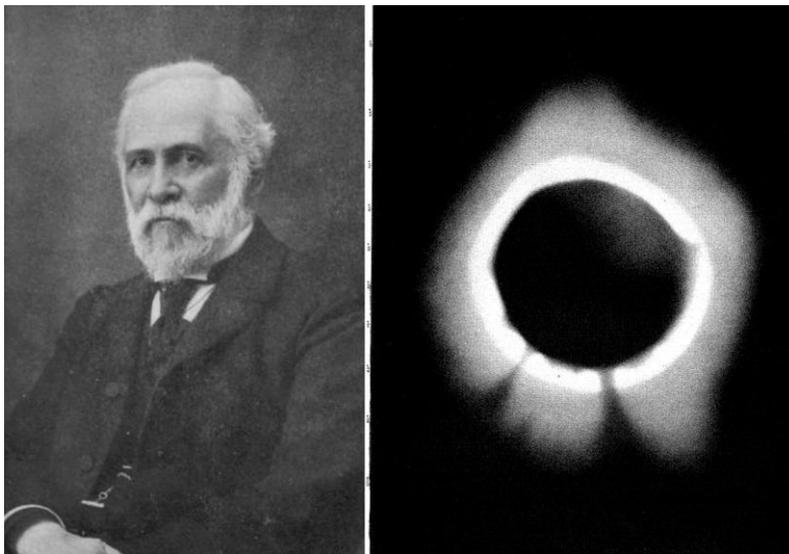


Figura D-40: Charles Young y una fotografía de la totalidad del eclipse. *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, Vol. VIII, Part 1, Chapter 1, Plate 4.

Posteriormente, hacia el año 1940, se descubrió que esa raya espectral se correspondía con la emisión de átomos altamente ionizados del hierro y calcio (Grotrian, 1939, Edlén, 1942)⁶⁸.

De estudios similares en otros eclipses y en observaciones de las capas exteriores fuera de los eclipses, se consiguieron modelos promedio de la atmósfera solar parecidos a los de la figura adjunta D-41

⁶⁸ Grotrian, W., 1939, *Zur Frage der Deutung der Linien in Spektrum Der Sonnenkorona*, *Naturwissenschaften* 27, 214

Edlén, B., 1942, *Die Deutung der Emissions Linien mi Spektrum der Sonnenkorona*, *Zeitschrift für Astrophysik* 22, 20-

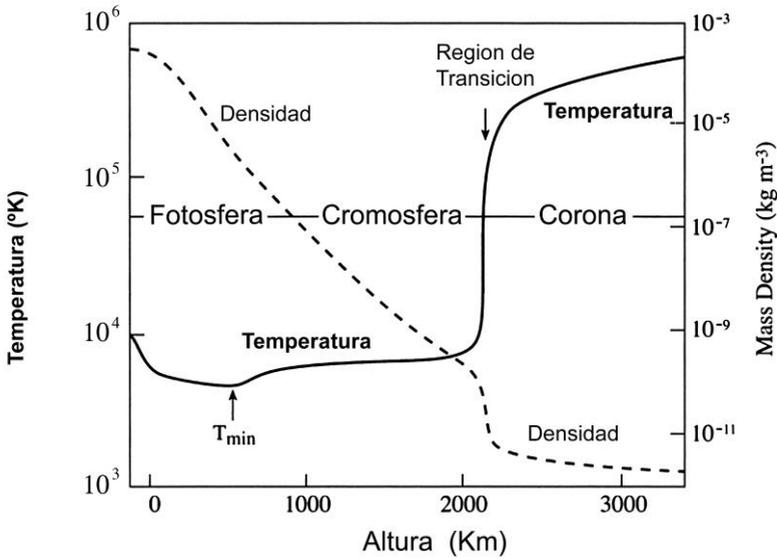


Figura D-41: Variación de la temperatura y densidad en las capas externas del Sol. Fuente: Athay, R.G., 1976, *The solar chromosphere and corona: Quiet Sun*, D.Reidel Pub. Co,

La solución a la paradoja del calentamiento de las capas exteriores hasta valores más allá del millón de grados está todavía por aclarar definitivamente.

Expedición británica

La expedición oficial inglesa en España fue organizada por la Royal Astronomical Society. Estaba encabezada por el jesuita y astrónomo, Stephen Joseph Perry⁶⁹ (1833-1889), quién escogió la zona conocida como San Antonio en la localidad vecina de *El Puerto*

⁶⁹ En esa época director de Observatorio Stonyhurst. Para una biografía ver: Bishop, G., 1979, *Stephen Perry, Forgotten Jesuit and Educator*, Journal of the British Astromical Association 89, 473-484

de Santa María. Los 13 observadores fueron distribuidos de la siguiente forma (Perry, 1871)⁷⁰: “*Mr. Moulton, del Christ's College, Cambridge, junto con Mr. Baines, de Oxford, observaron con el polariscopio en Sanlúcar en el punto oeste extremo de la línea de totalidad a unos 19 kilómetros al NO de San Antonio.*

En Jerez, a unos 8 kilometros al NE de San Antonio, se quedó P. Naftel para realizar esquemas visuales de la corona, lo mismo que F. C. Penrose aunque en este caso a través de un telescopio y Mr. Abbay, del Wadham College, Oxford, para observar con el espectroscopio. Mr. W. Smyth se estacionó en Arcos, a unos 11 kilómetros al E.N.E. of San Antonio, utilizó un telescopio para sus croquis de la misma apertura que el de Penrose.

El resto de los observadores se quedó en San Antonio. Los que se encargaron de la espectroscopia fueron el capitán Maclear, y el mismo Perry, ayudado por Mr. Hostage. La polarización fue observada por Mr. Hudson, del St. John's, Cambridge, y el óptico Mr. Ladd. Este último señaló que la polarización de la corona era mayor que en la superficie lunar o en el cielo nublado.

Finalmente quedó Mr Browne para esquemas de la corona.

Desde nuestra llegada el tiempo había estado muy malo, lo que justificó la dispersión de los observadores. El día 22 amaneció nublado y algo de lluvia. En San Antonio, la interrupción se produjo solo unos 48 segundos después del primer contacto, cuando se observó una muesca clara en el disco solar.

Esta interrupción fue solo un cambio de nubes espesas a cirros delgados, pero se pudo observar el momento del contacto del limbo de la luna con varios de los puntos solares más notables. En el norte, el cielo estaba parcialmente despejado, pero en el sur ninguna parte del cielo estaba libre de nubes”.

Encontraron que la corona tenía una forma cuadrangular y se extendía a $\frac{7}{8}$ del diámetro solar.

⁷⁰ Perry, 1871, *The eclipse expedition*, Nature Juan 5, 195-198

La mayoría del mismo grupo se ubicó en **Gibraltar (Estepona)**, bajo la coordinación de Talmage (1871)⁷¹. Allí se unió el 14 de diciembre a bordo del buque *Urgent*, el estadounidense del Observatorio de la Marina, Simon Newcomb (1835-1909) mediante un acuerdo con G. Airy y el citado Prof. Pierce.

El grupo británico que desembarcó en Gibraltar estaba compuesto por los señores Carpmael, Gordon, Lewis, Buckingham, Beasley, Harrison, Anson, Abbatt, Talmage y R.M. Persons, Excepto los tres últimos, el resto se desplazó a Estepona, a unos 48 kilómetros al norte y situada en el centro de la línea totalidad.

Las condiciones en Gibraltar fueron muy negativas. Mr Abbatt fue capaz de observar protuberancias y la corona durante unos breves segundos. El norteamericano profesor Newcomb, pudo ver los cuatro contactos y tomar varias medidas que le eran necesarias para el trabajo que tenía entre manos; también vislumbró la corona, pero dice que no pudo aprovechar dichas observaciones.

El Sr. Lewis afirmó que el grupo en Estepona solo vio la fase total a través de una brecha en las nubes durante aproximadamente 15 s, cuando estaba cubierto por nubes ligeras. El Sr. Buckingham, señaló que tuvieron allí una fuerte lluvia; no pudo tomar fotografías, pero el Sr. Carpmael observó tres líneas brillantes en posiciones dudosas, y el Sr. Lewis encontró la corona polarizada; el resto del grupo tuvo resultados negativos.

Otro grupo inglés, pero de carácter privado, fue el organizado por el escocés, Lord James Lindsay (1847-1913), entre cuyos miembros estaba el teniente Alex B. Brown, C. Baker y Henry Davis, además de los señores Scott, Rogers y Winson. El mismo día del eclipse llegaron Mr. Beade, Consul-General en Cádiz, Mr. C. Campbell, Consúl General en el Puerto, Mr. Greaves, Teniente de Navío a bordo del “Lee,” Mr.

⁷¹ Talmage, C.G., 1871, *Solar Eclipse, Dec 22, 1870*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 31, 64-68

Pitman del Puerto de Santa María, los Señores A. and E. Thuillier, y los Señores Lassaletta y González.

El lugar elegido como campamento de observación fue el viñedo María Luisa, también en El Puerto de Santa María, propiedad de Charles Campell (Lindsay, 1871)⁷².

Los instrumentos utilizados fueron:

1) Un reflector con espejo plateado de 12.25 pulgadas, con montura ecuatorial. El telescopio se colocó en una casa traída expresamente desde Inglaterra, con una longitud de 20 pies y 11 pies de profundidad. En un extremo se colocó una habitación oscura para fotografías, dejando el resto para el telescopio.

Todo fue cubierto y las puertas se hicieron de modo que se pudieran abrir todo el frente de la parte donde se encontraba el telescopio. El tejado pudo deslizarse hacia atrás para dar una visión hasta 5 grados del zenit.

2) Un telescopio de 6 pulgadas con montura ecuatorial al que se unió un espectroscopio estelar con un prisma para obtener espectros con baja resolución de la corona.

3) También se dispuso de un instrumento con montura altoazimutal de Troughton y Simms con círculos horizontal y vertical de 18" de diámetro.

Día del eclipse: apareció nublado con algún chubasco pero poco a poco se fue aclarando. Los señores Thuillier, Lassaletta y González hicieron esquemas visuales de la corona. Estos se compararon con las medidas de Mr Greaves.

Finalmente, unos comentarios de algunos ayudantes:

Mr. Reade; "Llegó la oscuridad unos 12 minutos después de mediodía. Todo lo terrestre tenía un matiz plomizo, mientras que las nubes mostraban un color púrpura; la hierba, por contra, tenía un precioso color verde. Contemplé un planeta cerca del Sol, probablemente Venus".

⁷² Lindsay, J., 1871, *Report of observations of the Total Eclipse of the Sun, taken at the "María Luisa" vineyard, Cádiz*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society XXXI, No.3, 49.53

Mr Cambell: “Un día nublado. La totalidad lo hizo la oscuridad. No tenía necesidad de las linternas para registrar el tiempo. Busqué sombras oscuras al aproximarse la totalidad, pero no vi ninguna”.

El Señor Brogi comentó: *“En el momento de la totalidad el Sol y La Luna parecían moverse conjuntamente, al igual que una rueda moviéndose dentro de otra, en direcciones opuestas. Entonces apareció la corona, y no pareció desaparecer hasta que terminó la totalidad. Hubo algo parecido a una neblina que cubrió el Sol parte del tiempo”.*

Sin embargo, tanto ingleses como americanos fijaron otros puntos en el itinerario previsto por el eclipse. Los primeros en Orán, y los segundos en Catania (Sicilia), a donde se dirigió Peirce para encontrarse con su padre y su mujer. Pero estando allí se percató de que su espectroscopio fue remitido a Jerez por error. Los resultados obtenidos por el grupo americano de Jerez durante el eclipse total del 22 de diciembre de 1870 servirían para que el nombre de la ciudad fuese incluido en los anales de la astronomía debido al importante hallazgo de profesor Young, a pesar de que el día estuvo algo nublado y con algún chaparrón que otro. También sirvió para confirmar las conclusiones, a las que se llegó por los norteamericanos durante el eclipse anterior de 1869.

A continuación incluimos una fotografía de la placa conmemorativa (Figura D-42) que las autoridades de Jerez dejaron a los participantes en el eclipse.



Figura D-42: Placa de la ciudad de Jerez en conmemoración del eclipse de 1870.

Observatorio de San Fernando

En pocas ocasiones se tiene la fortuna que el camino de totalidad de un eclipse solar cruce un observatorio prestigioso como fue en el caso del Observatorio de San Fernando. Entre otras ventajas se tuvo la de preparar lo necesario con tiempo, para adecuar el personal y comprar el instrumental necesario. Era entonces director el capitán de fragata Cecilio Pujazón y García (1833-1891), autor del informe sobre las actividades realizadas⁷³, que hemos tomado de referencia.

El personal que había de ocuparse de los trabajos en San Fernando se componía del propio del Observatorio⁷⁴, de los fotógrafos de Cádiz Sres. Rocafull e hijo, del profesor de dibujo del curso de Estudios Mayores, D. José Sánchez Márquez, y de los Sres.

⁷³ Pujazón, C., 1871, Eclipse de Sol de 22 de diciembre de 1870, Anales del Observatorio de San Fernando, Sección 1, págs. 1-42

⁷⁴ Además del Director podemos citar a los jefes de sección Enrique Garrido y Andrés la Flor, y los observadores José López Ayala, José Mellado y José Ruiz,

D. Rafael Martínez, astrónomo que había sido de este Observatorio, y Augusto Arcimis, aficionado de Cádiz, que se ofrecieron para ello.

Los instrumentos con que se contaba en el Observatorio eran:

- la ecuatorial para la parte fotográfica
- dos anteojos acromáticos de 92 milímetros de abertura, uno con un espectroscopio químico de dos prismas y el otro un espectroscopio de visión directa de cinco prismas, para el análisis espectral de la luz de la corona.
- dos anteojos acromáticos de 68 milímetros de abertura, uno de ellos con heliómetro, un sensor de luz diurna que cuenta con 8 células fotoeléctricas más un sensor de infrarrojos. Tiene como función medir la intensidad de la luz a lo largo del día y registrar el ángulo de incidencia de la luz solar.
- una ecuatorial pequeña de Dollond, de 52 milímetros de abertura con heliómetro.
- dos teodolitos astronómicos, para las observaciones astronómicas ordinarias y finalmente, los instrumentos meteorológicos usuales, para las observaciones de esta clase.

La amanecida del día 22 no dejaba esperanzas de poder observar el eclipse en buenas condiciones: el cielo estaba completamente cubierto de cúmulos y cirrostratos densos, el viento al O con tendencia a llamarse hacia el S y el barómetro descendía a la par que refrescaba el viento; en las tierras inmediatas apenas se distinguían los objetos colocados a una regular distancia, y el aspecto general era el que se presenta en esta localidad cuando rompen los temporales del SO.

A las 10 de la mañana se prepararon todos los instrumentos y observadores para hacer las observaciones que permitiera el estado del tiempo. Pocos minutos antes del principio del eclipse pudo verse el sol, aunque con dificultad, y en un momento en que las nubes que lo cubrían fueron menos densas, se obtuvo la fotografía de la lámina primera (Figura D-43), que indica desde luego el estado del cielo.

Momentos después se cubrió el sol, no siendo posible verlo, ni aun suprimiendo los vidrios oscuros de los anteojos; y cuando volvió a verse de nuevo había ocurrido ya el primer contacto.

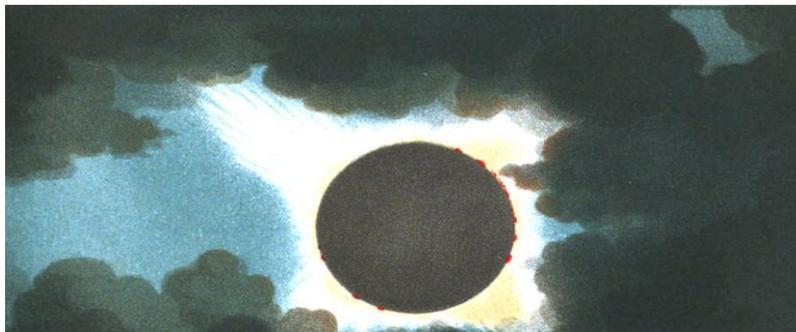


Figura D-43: Primera fotografía obtenida desde el Observatorio en medio del paso de nubes.

Cuando escasamente faltaba un minuto para el principio de la totalidad, cayeron gruesas gotas de agua que obligaron a los observadores colocados en el atrio del Observatorio a recoger sus instrumentos en una de las salas inmediatas orientadas hacia el Sur: el domo de la ecuatorial se mantuvo no obstante abierto, por si podía conseguirse obtener alguna fotografía.

La oscuridad aumentó sensiblemente; cesó la lluvia empezando a ceder el viento hasta quedar casi en calma; y cuando había transcurrido ya más de la mitad del tiempo de la totalidad, se descorrió de improviso una de las nubes que cubrían al sol y pudimos ver durante tres-cuatro segundos el cuerpo oscuro de la luna destacándose sobre la corona solar, que de nuevo quedó cubierta unos cinco segundos para reaparecer y quedar visible, aunque velada por cirro-estratos medianamente densos, hasta el fin de la totalidad.

Debe advertirse que, ni un solo momento de los en que fue visible la totalidad, estuvo despejada la parte de cielo correspondiente y así es que, a pesar de haber hecho la exposición

mucho más larga de lo que había pensado, apenas se encuentra traza de la corona en dicha fotografía (D-44).

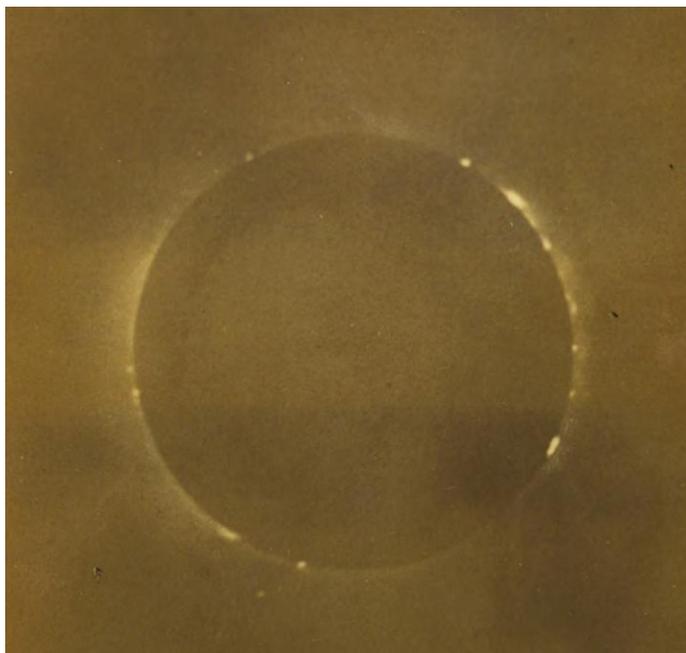


Figura D-44: Reproducción amplificada de la fotografía de la totalidad con mayor exposición.

Se vio la importancia de disponer de un segundo lugar de observación. Para ello se escogió la Casa Breva, posesión situada en las inmediaciones de Sanlúcar de Barrameda y propiedad del Duque de Montpensier, punto que ofrecía facilidad para la conducción e instalación de los instrumentos, situado casi en la línea central, y vértice secundario de la triangulación de esta parte de la costa.

En Sanlúcar se contaba con un anteojos acromático de 68 milímetros de abertura, montado ecuatorialmente con espectroscopio de un prisma; dos anteojos acromáticos de 68

milímetros de abertura, uno de ellos con heliómetro; una pequeña ecuatorial de 52 milímetros de abertura, también con heliómetro, y tres teodolitos con anteojos de 52 y 45 milímetros de abertura:

Para las observaciones meteorológicas se montaron un barómetro de montaña, un psicrómetro, un termómetro de máxima y mínima, un termómetro de radiación solar y un anemómetro de Lind.

El estado del cielo durante el día 22 en la estación de Casa Brevia, fue casi el mismo que en San Fernando: el mismo viento aunque más fuerte que en el Observatorio, y el aspecto de temporal del SO hacían creer que nada podría observarse

Se prepararon los instrumentos y los observadores que debían tomar parte en las observaciones astronómicas, que eran el capitán de fragata D. José Montojo, los tenientes de navío D. José Gómez Imaz y D. Juan Viniegra, los alféreces de navío D. Lorenzo Viniegra y D. Juan Chávez y los terceros observadores de San Fernando D. Ramon Escandon y D. José Peña.

Momentos antes de desaparecer la luz solar se formó alrededor de la luna un estrecho anillo anaranjado que al ocultarse aquella quedó convertido en una aureola de luz pálida, de un tinte amarillento y ligeramente anaranjado, y de forma casi circular, que se extendía a una distancia muy próximamente igual al diámetro del sol, y se degradaba suavemente hasta confundirse con el cielo.

Esta aureola adquirió poco después un tinte anaranjado más subido en las cercanías del limbo lunar, tinte que se perdía hacia la medianía de la corona y volvía a presentarse poco después para degradarse y perderse hacia su parte exterior : casi simultáneamente con la aparición de dicho color se presentaron sucesivamente, y en puntos situados al poco más o menos a 35° del vértice superior hacia la derecha (visión directa), á 55° del mismo vértice hacia la izquierda, á 35° del vértice inferior hacia la derecha y á 55° del vértice dicho hacia la izquierda, cuatro grupos de luz, más intensa, y blanca que formaban como cuatro aspás (Figura D-45): la primera y última de ellas, que eran las que más se extendían, terminaban en

rayos curvos: la segunda y tercera , que llegaban como a la mitad de la aureola , parecían formadas de rayos rectilíneos que partían desde el borde lunar: el fondo general de la aureola no parecía estar formado por rayos.

Cinco o seis segundos antes del fin de la totalidad desaparecieron las aspas de luz de la corona y el borde lunar empezó a adquirir un tinte violeta, que formó un anillo alrededor de la luna.

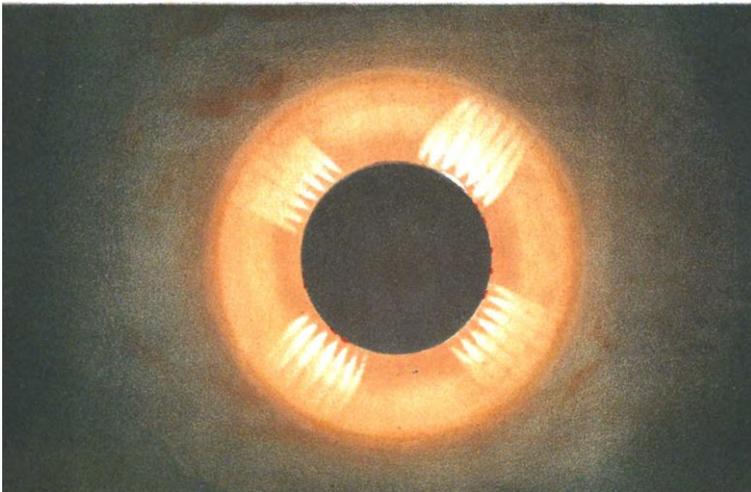
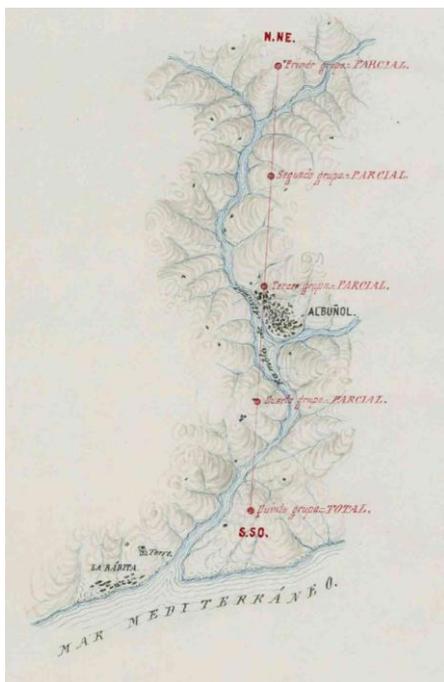


Figura D-45: Imagen de la totalidad desde Sanlúcar de Barrameda. Se ven claramente las cuatro aspas descritas en el texto.

Albuñol

La Dirección General de Obras Públicas recibió el encargo de comprobar la visibilidad del eclipse total al Sur de la provincia de Granada, para verificar las predicciones del Observatorio de Madrid. Para ello se formaron 5 grupos en torno a la villa de Albuñol (Figura D-46), situados cada 2.5 kms en la dirección NNE-SSO. Tan solo el situado más al Sur, formado por Francisco Gutiérrez y Antonio Marín, se vio la totalidad.

El material de que se disponían eran un cuaderno de notas en el que debían incluir dibujos a lápiz.



Número 1:

Eduardo Raillo

José Ferrer

Número 2:

Francisco Guerrero

Ricardo Murillo

Número 3:

José Torrera

José Navarro

Número 4:

Felipe Sánchez Suárez

José Sánchez Herradas

Número 5:

Francisco Gutiérrez

Antonio Marín

Figura D-46: Croquis del terreno comprendido por la línea para la observación del eclipse de 1870.

Estepona

Aquí se instaló el equipo del OAM para realizar observaciones científicas, coincidiendo con uno de los grupos británicos ya descrito. El grupo madrileño estaba formado por Antonio Aguilar, Miguel Merino y Vicente Ventosa. Se solicitó a la Universidad de Valencia la colaboración de José Monserrat que tanto éxito había obtenido con las fotografías del eclipse de 1860.

Instituto de Cádiz

Hemos visto que la provincia de Cádiz reunió numerosas observaciones del eclipse. El Instituto de Cádiz no iba a ser ajeno y desde el verano los Sres. Vicente Rubio y Díaz, Director del Instituto y Francisco Fernández Fontecha, Catedrático de Cosmografía, iniciaron los primeros contactos (Ver Rubio Díaz et al 1871)⁷⁵.

Se disponía de un anteojo astronómico y se consideró prioritario adquirir un micrómetro para poder acoplarlo al anteojo. Se le encargó a Pedro Torres, quién debido a la presión de trabajo lo pudo entregar tan solo el 14 de diciembre.

Para tener una ligera idea de él, diremos que las graduaciones estaban hechas sobre plata; el círculo de posición apreciaba ángulos de minuto en minuto en dos nonios diametralmente opuestos: el paso del tornillo micrométrico era de medio milímetro y en la graduación interior del tambor se contaban hasta 50 revoluciones del tornillo, y en la exterior, que está dividida en 100 partes, se apreciaba un centésimo de revolución; pero, como cada una de estas divisiones podía subdividirse fácilmente a simple vista en diez partes, resulta por lo tanto que podía apreciarse hasta un milésimo de revolución.

Otra cuestión a resolver era la ubicación del observatorio. En contacto con el Comandante de Marina el grupo se decidió por la *Torre de Vigía* en atención a su superior elevación, 45 metros sobre el nivel del mar, por ser también más espaciosa y cómoda para la instalación de los instrumentos y por estar más abrigada del viento con sus elevados pretils.

Día del eclipse: A la salida del Sol presentaba el tiempo un malísimo cariz; el cielo estaba completamente cerrado; el viento que soplabá del O levantaba sin cesar nimbos que descargaban con agua y viento, y a medida que el Sol iba tomando altura arreciaba el viento

⁷⁵ Rubio y Díaz, V., Fontecha, F., Alcolea y Tejera, 1871, *Eclipse Total de Sol del 22 diciembre de 1870: Memoria de las observaciones verificadas por varios catedráticos del Instituto de Cádiz*, Imprenta de la Revista Médica (Disponible en la Biblioteca Nacional de España).

y eran más frecuentes los chubascos. Se presentaron algunos claros en que se veía al Sol, pero siempre a través de cirro-cúmulos tenues, instantes que se aprovecharon con avidez para hacer algunas observaciones.

Llegó la hora del principio del eclipse y no se pudo ver el Sol, hasta que en el primer claro que se presentó, vimos su limbo bastante mordido por la Luna. Aprovecháronse después cuantas oportunidades se presentaron, y con el más profundo sentimiento veíamos (el tiempo empeoraba por momentos y se perdían las pocas esperanzas que aun alimentábamos); pero al aproximarse el instante de la totalidad del eclipse se nos presentó un claro, y con el mayor júbilo observamos toda la totalidad, si bien presentándose el Sol siempre a través de cirros tenues. A los pocos minutos volvió a ocultarse y puede decirse que no volvimos a verlo más en el resto del día.

No igual suerte tuvieron los Sres. Fernández de Castro y Mület, encargados de medir diámetros, coronas y haces luminosos, pues habiéndose trasladado para hacer las observaciones a la fragata *Loyola*, fondeada en Puntales, con el objeto de poder contar con la cooperación de sus pilotos y emplear los cronómetros que allí tenían, tuvieron el pesar de no hacer observación alguna por no haber visto el Sol ni un solo instante durante la totalidad.

El Observatorio de San Fernando nos había proporcionado un cronómetro Johannsen. Por su parte Antonio López Martínez asumió la tarea de situar las protuberancias mediante un anteojito meridiano portátil de Throughton provisto de una retícula con hilos de araña, en sentido vertical y uno horizontal que dividían simétricamente el disco del Sol y permitían determinar con bastante aproximación la situación de los accidentes que apareciesen en dicho astro. Efectuó numerosas observaciones en los días anteriores, levantó exactos croquis de las manchas del Sol en unos planitos cuadrículados que formó de antemano, y en los cuales estaba trazado el Sol en dimensiones iguales a aquellas en que aparecía en el campo del antejo (Figura D-47).

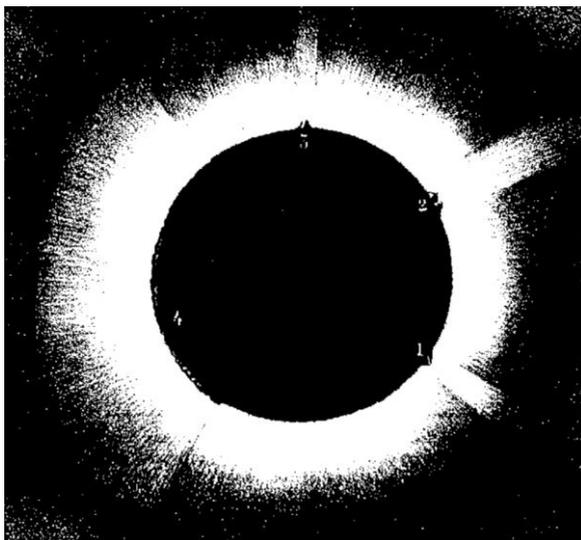


Figura D-47: Dibujo de la corona con las 4 protuberancias. Oeste a la izquierda y Este a la derecha.

A este respecto comentaba López Martínez: *“La impresión producida en mi ánimo por fenómeno tan notable, me dejó suspenso quizás por 20”, y tuve que hacer un gran esfuerzo para fijarme en el cometido que se me confiara. Esto fue la causa de que no pudiese apreciar con toda exactitud más que las protuberancias números 2 y 4, no pudiendo asignar sino límites de extensión a la 1. * y 3.”* No se distinguían más que cuatro protuberancias; tres sobre el limbo Este y una muy dilatada sobre el Oeste”.

Los Sres. La Orden, López y Terreros, nos dan la siguiente descripción de la Corona y ráfagas luminosas: *“Designados los que suscriben para el examen detallado de la coronación luminosa, nos propusimos estudiar esta parte importante del fenómeno principal, verificando las observaciones que pasamos a exponer sin comentario alguno, refiriendo únicamente los efectos que a nuestro parecer se notaron”*.

La voz de *listo* dada por el señor Fontecha a los encargados del registro de cronómetros, hizo fijar más y más nuestra atención sobre los astros, viendo solamente un pequeño punto luminoso destacándose sobre el disco plomizo de la Luna; nada de Corona, nada de ráfagas. A la voz de *top* del mismo señor anunciando la totalidad, se presentó a nuestra vista un espectáculo sorprendente, admirable; el punto luminoso había desaparecido; el disco solar completamente cubierto por el sombrío de la Luna y destacándose sobre este fondo oscuro y perdiéndose entre las tenues nubes que todo lo envolvían la Corona, motivo de nuestras observaciones.

Polarización de la luz de la Corona. —Aunque carecíamos de aparatos especiales para esta clase de observaciones, teníamos en el gabinete del Instituto prismas de Nicol, turmalinas y los polariscopios de Savart y Arago, proponiéndonos con estos instrumentos observar si la luz de la Corona estaba polarizada y sus ángulos de polarización. En el polariscopio de Arago pudo notarse luz polarizada en la Corona, aunque las indicaciones no eran tan claras para asegurar este resultado, quedándonos por lo tanto en una prudente reserva.

Efectos del Eclipse en los animales. —Viéronse las aves al presentir la oscuridad, volar aturdidas con incierto vuelo; a los sonidos de su canto sustituyó al principio el choque de sus temblorosas alas, y aún brillaba en el cielo el último rayo de Sol, cuando sucedió en el ramaje un silencio profundo. Algunos del género Fringilla como el gorrión y las silvias, que se retardaron para acogerse al nido, revoloteaban sobre nuestras cabezas y aun tropezaban rudamente contra las tapias del jardín.

Las gallináceas, gallinas y pavos, apiñábanse unas contra otras sorprendidas por la inesperada noche, y permanecieron durante la totalidad unidas e inmóviles, hasta que el canto del gallo saludó el primer rayo del nuevo sol. Asimismo, los patos, silenciosos y agrupados, y aun los caballos quietos y como atemorizados, dejaron pasar la brevísima noche.

Málaga

Una comisión preparatoria se encargó de organizar las observaciones del eclipse. De las observaciones telescópicas se encargaron Monseñor Tomás Bryan Livermore⁷⁶ (1824-1902), que fue nombrado presidente de la comisión, Domingo Ornela y José Sancha, a quienes se encomendó también la confección de los dibujos del Sol en los momentos más notables del Eclipse.

La descripción de la gloria (similar a la de los santos) y aureola con la dirección, color, forma ó intensidad de los rayos luminosos fue confiada a Manuel Hernández.

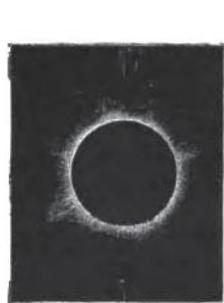
Las marcaciones de la hora de tiempo medio del meridiano de Málaga, en cada uno de los instantes exigidos por el jefe que había de seguir la marcha del fenómeno, se habían de dar por un relojero, provisto de un cronómetro. Se confiaron las observaciones meteorológicas a Juan de Salas.

Se dispuso para observatorio un espacioso andén de la Catedral, abrigado por altas murallas por el Norte y medianamente defendido por el Este y Oeste, pero con acceso a grandes horizontes.

Sobre la hora del principio de la totalidad, habíamos encontrado una diferencia no despreciable con la comisión inglesa. Ésta había señalado para el meridiano de esta capital el principio de la totalidad a las 12 horas. 1' 36", y nosotros marcamos el fenómeno a las 12 horas. 1' 57", encontrando, por consiguiente, un retraso de 21" sobre los datos suministrados por la referida comisión. La duración de la totalidad debía ser de 1' 44." Nosotros la encontramos de 1' 41."

⁷⁶ Malagueño de nacimiento. Después de estudiar el Bachillerato en Birmingham y después ingeniería en París. Luego optó por la carrera eclesiástica, cursando filosofía y teología en la Universidad de Madrid y se ordenó sacerdote en 1857, regresando a su tierra natal. En 1885 fue nombrado obispo de Cartagena.

Para terminar la narración de este eclipse incluimos una serie dibujos y fotografías de la totalidad fueron obtenidas desde diferentes observatorios (Figura D-48)



22d December 1870
(BECKER)



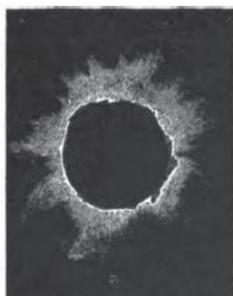
22d December 1870
(IGLESIUS)



22d December 1870
(A LADY AT CADIZ)



22d Decemler 1870
(LASSALETTA)



22d December 1870
(A. THUILLIER)



22d December 1870
(E THUILLIER)

Figura D-48: Becker (Británicos en Cádiz); A. Thuillier y Lassaletta (Grupo británico Finca: La María Luisa). Fuente: Googlebooks, 1894 Total eclipses of the Sun, by Mabel Loomis Todd. Roberts Brothers. Dominio público.

1878 JULIO 29 UN ECLIPSE EN LA CUBA ESPAÑOLA

Estamos al final del Imperio Español en que nunca se ponía el Sol. Uno de estos últimos lugares fue Cuba, sin duda el más querido por los españolitos de a pie. En 1878 tuvimos un eclipse solar cuyo camino de totalidad se ve en la Figura D-49

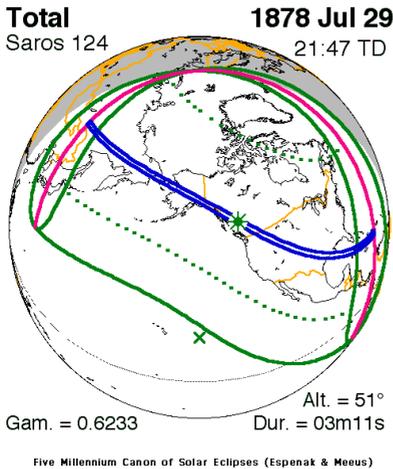


Figura D-49: Camino de totalidad. Se inició al Este de Rusia y prosiguió en Alaska, Oeste de Canadá y los estados USA (Washington, Idaho, Montana, Wyoming, Colorado, Nuevo México, Kansas, Oklahoma, Texas, Louisiana) hasta finalizar por Cuba, Haiti y la República Dominicana.

La comunidad científica de la metrópoli española se interesó por estudiar este fenómeno y el gobierno de Madrid envió a Cuba una comisión para estudiarlo "en vivo y en directo". Conformaban este selecto grupo de marinos, con conocimientos de Astronomía, el capitán de navío Cecilio Pujazón y García, director del Observatorio Astronómico Naval de San Fernando, y los tenientes de navío Rafael Cabezas, Manuel Carrillo y Vicente Canales, los cuales partieron en un vapor hacia la Isla el 20 de junio de ese año desde el puerto de Santander (G. De Florio, 2021)⁷⁷.

⁷⁷ De Florio, G., 2021, *Proyecto de investigación, restauración y conservación del antiguo fondo fotográfico del Real Instituto y Observatorio de la Armada*, Boletín ROA No.3/2021, páginas 85-98

En la Habana, y de manera simultánea, se organizó un grupo de personas para participar en las observaciones, dirigido por el teniente de navío de primera clase don José Montes de Oca. También fueron convocados a incorporarse al equipo de observadores los tenientes de navío señores Ramón Agacino y Armas y Antonio María de Goñi y Sol, junto a cuatro guardiamarinas de la fragata de guerra "Concepción".

El fotógrafo, señor Filiberto von Sobotker, del reconocido establecimiento capitalino "Fredericks y Daries", ubicado en la calle Habana, No. 106, fue seleccionado para las manipulaciones fotográficas. Todos se pusieron bajo el mando del señor Pujazón, pero fue el Padre Benito Viñes Martorell (1837-1893), director del Observatorio Meteorológico de Belén y considerado el precursor de la meteorología en Cuba, quien definió el espacio geográfico más conveniente para ubicar los equipos de observación.

El espacio elegido por el Padre Viñes estaba ubicado fuera de la Habana, en los límites del entonces término municipal de Mariel, y aunque el señor Pujazón inspeccionó otros, finalmente se decidió por el propuesto inicialmente.

La decisión se basó en la relativa cercanía con la capital, lo que facilitaba la conducción segura de los instrumentos de observación, y la presencia de una estación telegráfica local que permitiría la determinación objetiva de la longitud geográfica del lugar de emplazamiento.

Desde Europa llegaron a Cuba una serie de instrumentos para ser utilizados en las observaciones del muy interesante eclipse total de Sol. Entre ellos estuvieron varios de los más avanzados de la época: un telescopio reflector de espejo plateado de 20 cm de diámetro, montado ecuatorialmente, con movimiento de relojería y cámara oscura que permitían obtener fotografías; además de seis anteojos acromáticos de seis pulgadas (6 plg) de objetivo; dos espectroscopios, uno de ellos de visión directa; dos medidores de azimut y altura; un cronógrafo; dos sextantes con pie y horizonte artificial; cuatro cronómetros (cronógrafos certificados); un

barómetro de montaña; dos psicrómetros; dos anemómetros y otros instrumentos complementarios

Este grupo de científicos españoles, establecieron su campamento nada más y nada menos que en el conocido ingenio "Tinajas" (Figura D-50), en Mariel, fundado en 1796 por don Juan Bautista de Zayas-Bazán y Santa Cruz con el nombre de "Arroyo de las Tinajas" y propiedad en 1878 de don Ignacio Sebastián Sandoval y Lasa, marqués de Casa Sandoval. El marqués cedió gustosamente los espacios que necesitaran estos señores para desarrollar su investigación y les brindó alojamiento y alimentación en la casona señorial del ingenio.



Figura D-50; Fondo fotográfico ROA, El ingenio la Tinaja. Fotógrafo, Filiberto von Sobotker de la casa Fredericks y Daries de La Habana

El día señalado, 29 de julio, amaneció en Mariel con el cielo casi despejado por el noroeste, aunque se formaron turbonadas en otras direcciones, algo usual en el verano cubano, que afortunadamente solo provocaron el paso eventual de nubes cúmulo-nimbos por delante de los instrumentos.

Llegado el momento del eclipse, la observación permitió ver la corona en forma de anillo brillante de color blanco plateado mate

que rodeaba el cuerpo oscuro de la Luna, ya interpuesta entre el Sol y la Tierra, cuya intensidad aumentaba en la medida en que la oscuridad se hacía más profunda. Momentos antes de reaparecer el Sol, esta corona tomó un color violeta pálido, hasta que dejó de verse.

Ningún participante captó protuberancias, como pudieron haberse observado con anteojos o a simple vista, y el aspecto de la corona careció de una línea verde que le es característica, aunque sí fueron observadas las líneas de la cromosfera dentro del limbo solar.

El telescopio, por su parte, tuvo una plancha fotográfica expuesta la mayor parte del tiempo del eclipse y obtuvo varias fotos importantes, pero, aunque fueron observadas varias protuberancias, estas imágenes no permitieron a los investigadores formarse un juicio sobre la naturaleza de la corona, uno de los objetivos de la investigación. Errores de manipulación del equipo, además, impidieron sacar mejor provecho a la oportunidad que daba la naturaleza. En el Archivo del Observatorio de San Fernando se conservan 16 negativos de colodión húmedo de 120x120 mm de este eclipse (Figuras D-51 y D-52).

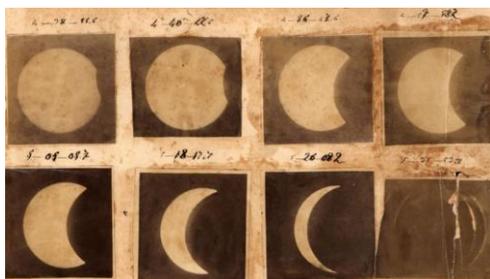


Figura D-51.-Antiguo Fondo Fotográfico ROA. Eclipse total de Sol del 29 de julio de 1878. Principio del eclipse y el de su totalidad. Observaciones arriba en horas, minutos y segundos

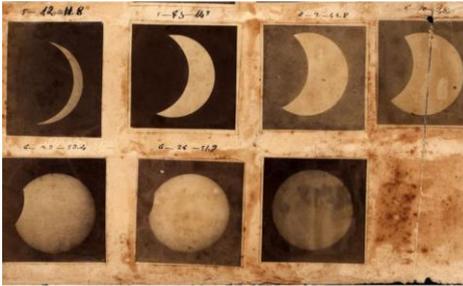


Figura D-52: Antiguo Fondo Fotográfico ROA. Eclipse de total de Sol del 29 de julio de 1878. Totalidad y fin del eclipse. Observaciones arriba en horas, minutos y segundos.

1900 MAYO 28 EL FINAL DEL SIGLO

Un eclipse solar total que ocurrió en el nodo descendente de la órbita lunar, con una magnitud de 1.0249 (Figura D-53).

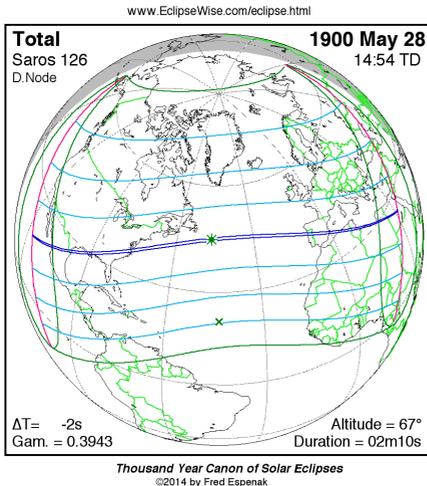
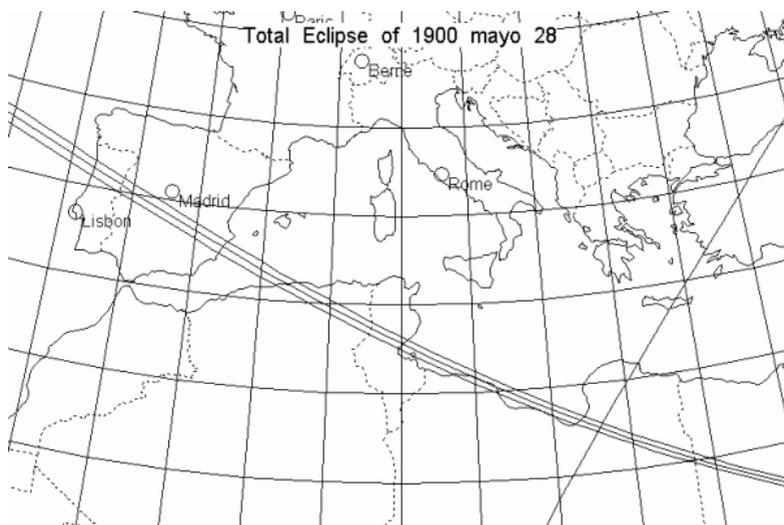


Figura D-53: El camino de totalidad fue visible desde partes de México, y los estados USA de Texas, Luisiana, Mississippi, Alabama, Georgia, Carolina del Sur, Carolina del Norte y Virginia, Portugal, España, Argelia, Trípoli y Egipto.



D-54: Eclipse total cuya línea de totalidad cruzó Portugal, entró en España por Las Hurdes y salió por Alicante. Duración Totalidad 80 segundos, Anchura banda 70 km

El eclipse entró a la península por Portugal (Oporto y Ovas) cruzando las provincias de Cáceres, Toledo, Ciudad Real, Albacete, Murcia y Alicante. Y las poblaciones más seleccionadas fueron Coria, Plasencia, Jarandilla, Navalmoral de la Mata, Puente del Arzobispo, Talavera, Orgaz, Madrudejos, Daimiel, Alcázar de San Juan, Manzanares, Villanueva de los Infantes, Alcaraz, Albacete, Chinchilla, Hellín, Yecla, Villena, Cieza, Monóvar, Novelda, Jijona, Dolores, Orihuela, Elche, Alicante hasta salir por Santa Pola.

En este caso empezamos por la capital de España: Madrid, donde el eclipse fue casi total (ver figura del camino de totalidad). El Rey y la Reina Regente, la Princesa de Asturias y la Infanta María Teresa, acompañados por las personas de la servidumbre del día, presenciaron el eclipse desde la terraza del Alcázar, utilizando algunos telescopios e instrumentos ad hoc.

Desde las dos de la tarde había numeroso público en la parte del Parque del Retiro que da a la calle de Alfonso XII. Muchas personas iban provistas de ecuatoriales de todos los precios. Desde aquella parte del Retiro el aspecto que ofreció Madrid era realmente magnífico. El cielo tenía un color gris y el astro del día aparecía como envuelto en tupida gasa. La población ofrecía el mismo aspecto que las noches iluminadas por la luna llena. El rostro de las personas se veía de un color intensamente pálido. En todos los concurrentes había honda emoción, y en el momento de menor claridad reinó un profundo silencio.

En la calle de Alcalá sacaron de un café un gran espejo, que sirvió también de aparato, formándose un grupo numeroso de curiosos dispuestos a gozar del espectáculo gratis. También llamaron la atención, en la calle de la Montera, varios “astrónomos alcoholeros”, que miraban al sol a través de grandes botellas llenas de morapio.

Dejemos ahora el protagonismo a las expediciones científicas, tratando de asentarse en el lugar más adecuado.

Expedición Británica

Maunder (1901)⁷⁸ resumió las observaciones de los diferentes equipos británicos.

Santa Pola (Alicante)

Estación de observación de los británicos (Lockyer, 1900)⁷⁹.

Duración totalidad: 1 m 18.8 s

Se dispuso de 4 Telescopios: Determinación de la altura de las distintas capas de la atmósfera solar.

⁷⁸ Maunder, E.W., 1901, *The Total Solar Eclipse*, British Astronomical Association, Internet Archive

⁷⁹ Lockyer, N., 1900, *Total Eclipse of the Sun, May 28, 1900: Preliminary account of the observations made by Solar Physics Observatory Eclipse Expedition and the Officers and Men of the HMS Theseus at Santa Pola*, Joint Meeting of Royal and Royal Astronomical Societies.

Antes de dejar Inglaterra N. Lockyer (1836-1920) contactó con F. Íñiguez e Íñiguez (1853- 1922), Director del Observatorio de Madrid, y Mr Jasper Cumming H.M. Vicecónsul en Alicante. Estos caballeros junto con José Bonmati Mas, padre del Alcalde de Santa Pola, realizaron todas las gestiones previas. Las autoridades locales habían sido instruidas al respecto por el Gobierno Español siguiendo un acuerdo con la Oficina de Exteriores, a petición de la Royal Society.

Después de llegar a Gibraltar a bordo del HMS Theseus, partieron hacia Santa Pola. A partir del 17 de mayo se instalaron en dicha localidad. La lista de participantes del equipo y sus tareas están incluidas en la publicación citada y no se incluyen por falta de espacio.

Colocaron su observatorio cerca de la playa de El Saladar, a unos kilómetros al Sur de Alicante.

Se había efectuado un cierto progreso desde la observación pionera de C. Young en 1870. En esta ocasión se unieron espectroscopios de dos prismas a los telescopios de 15 cms., comprado para esta ocasión, y el de 10 cms (4 pulgadas) de Cooke.

El espectro de la corona mostró el anillo verde a 5303.7 \AA , el azul a 4231 \AA , y el violeta a 3987.0 \AA : Todos estos anillos (líneas coronales) son diferentes de los arcos de la cromosfera. Las fotografías muestran que la escala de los espectros es demasiado grande para trabajar con exposiciones cortas con la lente de 15 cms. Los espectros tenían 19 cms desde la línea D3 hasta la CaII K, y el diámetro de los anillos es de 2.5 pulgadas; fotografías tomadas con una exposición de $\frac{1}{4}$ de segundo se expusieron totalmente.

Para las observaciones de la corona se utilizaron varios telescopios. Uno de 12 centímetros y 16 pies de focal estuvo a cargo de Howard Payn ayudado por T. McGowan, E. Woodland, H. Eary, W. Mann, H. Brooks. El resto de los instrumentos (Graham, De la Rue) para observar la corona estuvieron bajo el control de los oficiales del Theseus.

Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, especialmente aquellos con el instrumento de focal grande. La

imagen era de 4.5 cms de diámetro y tenían una perfecta definición. En concreto, las obtenidas con una exposición de 5 segundos mostraban un gran detalle en la corona interior y las protuberancias, quizás debido a utilizar una lente de Taylor que llevaba la radiación de distinta longitud de onda al mismo foco. En una fotografía con larga exposición, con el mismo instrumento, era destacable por la definición del borde lunar, a pesar del movimiento durante la totalidad.

Las tres fotografías obtenidas por el ingeniero K.N. Porteh con las lentes de W. De La Rue, también ofrecieron detalles finos en las imágenes.

Se colocaron seis discos para cortar la brillante luz de la corona interior permitiendo a los observadores extensiones largas. Fueron cuidados por los tenientes Doughty y Andrews con oculares adecuados para los ajustes. Durante el eclipse al observador se le vendó los ojos durante 5 minutos antes de la totalidad.

El capellán Rev. G. Brooke-Robinson se encargó de las observaciones de astros, preparando cartas astronómicas junto con N. Lockyer. A bordo del Theseus componían el grupo, el propio capellán, R.G. Andrews, H. Croxon, G. Nightingale, A. Phillips, S. Wilson, R. Yigus y E. Savage. Se observó a Venus desde los primeros momentos y Mercurio lo fue al final de uno de los haces coronales. Se registró la presencia de α Tauri, α y γ Orionis, junto a un objeto desconocido de aspecto cometario.

Navalmoral de la Mata (Cáceres)

A primera hora de la mañana partieron desde la antigua estación madrileña de Delicias tres trenes hacia Navalmoral, con más de un millar de pasajeros cada uno de ellos. Tras los tres primeros trenes, un cuarto tren de lujo, con más de 400 viajeros, y un quinto con más de mil, abandonaron ese lugar.

Eso influyó en el turismo y comercio: venta de libros, folletos, periódicos, revistas, instrumentos ópticos; se organizaron rutas, visitas, etc. Esa franja del territorio español fue considerada como una de las mejores para ser observado dicho fenómeno, tanto

por sus condiciones meteorológicas como por la ventaja que suponía la baja altitud del sol en el momento de su ocultación y la larga duración del evento.

El interés no solo atrajo a científicos y periodistas, sino a personajes de la más diversa índole.

El Rev. S.J. Johnson⁸⁰ observó el eclipse desde la cumbre de una colina no lejos del pueblo. La corona interior era redonda y brillante unos 5 segundos antes de la totalidad, pero no podría decir que noté tal efecto después de la totalidad.

Haces (streamers) ecuatoriales cubrían hasta dos diámetros solares en el borde Oeste y hasta uno en el Este. Dos protuberancias con forma de pluma se vieron muy claras, con un cierto tinte rojo, cuando las observé con el telescopio de 6 cms (Figura D-55).

Además, podemos destacar:

1. La sierra escarlata o borde de rojo brillante, se extiende a lo largo de unos 150 grados. Esto fue visible durante 8-10 segundos solamente antes de la reaparición del Sol. Johnson lo atribuyó al hecho de que la Luna se solapaba con el Sol, siendo la diferencia de sus diámetros aparentes muy pequeña.

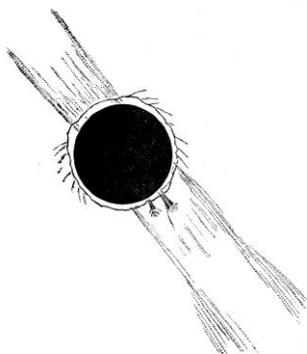


Figura D-55: Haces ecuatoriales que se desarrollaron hasta una extensión de dos diámetros solares sobre el borde oeste y uno en el Este. Observaciones con el telescopio de 5 cms.

⁸⁰ Johnson, S.J., 1900, *1900 May 28, observed at Navalmoral, Spain*, Monthly Notices Royal Astronomical Society 60 (9), 590-

2. Podemos destacar al brillo rosáceo mostrado por un pequeño banco de nubes en el horizonte SW.

La totalidad durante exactamente 80 segundos. Mercurio se presentó en el instante en que se cubrió el Sol. Mi hijo fue capaz de ver con unos anteojos de ópera de campo de visión amplio a Castor y Pollux. Venus estaba claramente visible, incluso más de veinte minutos después de la totalidad.

Mientras teníamos bastante calor en Navalморal, había nieve en las montañas a una docena de millas al Norte.

Hellín (Albacete)

Guillaume Bigourdan (1851-1932) estuvo al frente de la misión francesa organizada por la Oficina de Longitudes y el Observatorio de París y aunque en un principio pensaron establecer el observatorio en Portugal las condiciones meteorológicas, el transporte y la acumulación de observadores en otras regiones hicieron que se decantaran por la provincia de Albacete.

Se instalaron tres estaciones de observación cerca de la línea del ferrocarril Albacete – Murcia, lo que posibilitaría también una rápida comunicación telegráfica. La estación principal se situaría cerca de la línea de totalidad y las dos secundarias a ambos lados, cerca de los límites. Bigourdan señalaba en su informe que en un primer momento habían pensado establecerse en Tobarra, pero que no habían encontrado tantas facilidades como las que les brindó el alcalde de Hellín D. Tomás Fernández Montesinos.

Además de Bigourdan, la misión estaba compuesta por Joseph Eysséric (1860-1932), reconocido pintor, matemático y explorador que estaría al frente de la estación de Albacete; Paul Heitz ingeniero, el cual acompañó a Bigourdan en el observatorio principal de Hellín; Pierre Salet, alumno del Observatorio de París, a cargo de la estación de Las Minas; y por último, José Fernández y Fernández, intérprete puesto al servicio de la misión por el Observatorio de Madrid.

Bigourdan y Heitz se instalaron en la serrería San Rafael, contigua al andén de carga de la estación de ferrocarril de *Hellín*, lo que facilitó el transporte y montaje del equipo. Al Oeste tenían unas vistas abiertas, lo que permitiría seguimiento total del eclipse que terminaría próximo al ocaso. En *Albacete*, el puesto de observación se fijó en el Jardín del Instituto y en *Las Minas*, muy cerca de la hoy desaparecida estación de tren, en campo abierto. El gobernador militar de Albacete, el coronel Rajal Larré, puso a disposición de Pierre Salet varios guardias para vigilar el campamento y el instrumental a cambio de que los gendarmes que acompañaban la misión permanecieran en Albacete.

Un eclipse total de Sol se desarrolla en cuatro etapas; el primer contacto, el segundo contacto (principio de la totalidad), el tercer contacto (fin de la totalidad) y cuarto contacto. Los informes recogen la hora de los contactos y duraciones de las fases en cada uno de los observatorios.

En 1900 no existía aún una normalización horaria (se establecería en 1912 con la creación de la Oficina Internacional de la Hora, de la que Bigourdan fue director desde 1919 a 1928), por lo que los datos que arrojó su informe⁸¹ pueden parecer dispares. Gracias al programa Stellarium se simuló el eclipse tal y como se vio en Hellín con horario actual (GMT+1). Durante la totalidad pudieron observarse a simple vista varias estrellas y constelaciones, además de Venus, Marte y Mercurio.

No ha trascendido tanta documentación como en el caso de la misión de la British Astronomical Association en Alicante, Santa Pola y Elche, ilustrada con las magníficas fotografías de Arturo Cerdá (1844-1921), pero el informe de Bigourdan deja constancia

⁸¹ Bigourdan, M. G.: *Observations de l'éclipse totale de Soleil du 28 mai 1900, faites en Espagne, à Hellin, à Albacete et à Las Minas*. En *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, T. 131 (1900), pp. 246-250

de la realización de fotografías en los 3 puestos de observación⁸². Probablemente también se tomaron imágenes del entorno. De aquel “lunes al sol” en Hellín solo quedan ruinas y sombras.

Mercurio, en cercana proximidad, brilló como un Sol en Miniatura y envolviéndolo todo había un halo de débil luz blanca; un espectáculo que las más bellas palabras no pueden describir.

Tobarra (Albacete)

Localidad integrada en la comarca de Campos de Hellín de la provincia de Albacete. Se encuentra a 47 kilómetros de la capital albaceteña.

Tenemos una expedición del Colegio de Jesuitas de Granada. A su frente el Director J. De la Cruz Granero, el profesor de Física P. Martínez y L. Hurtado. De vuelta a Granada, los dos profesores impartieron una conferencia sobre el evento y crearon en el Colegio unas dependencias, útiles pero insuficientes, para los estudiantes de ciencias. Entre estos figuraba Antonio Osborne, el hijo de una familia acaudalada, propietaria de viñedos en Jerez de la Frontera, que donó fondos para construir un observatorio a imagen y semejanza de los más notables.

Así nació el Observatorio de la Cartuja, activo desde 1902 hasta 1980. En 1905 se procedió a la compra de un fotoheliógrafo Steward, instrumento utilizado para la fotografía del disco solar en placas de vidrio. Se instaló en el Observatorio Astronómico de los jesuitas de Cartuja en el año 1905 gracias a la donación de Manuel María Sánchez-Navarro Neuman S.J. (1867-1941) y Don José Mier.

Argamasilla de Alba (Ciudad Real)

Ese día, como bien describía la revista Blanco y Negro en su crónica: “*el rubio sol que horas después debía ser eclipsado, salía perezosamente por Oriente un 28 de mayo, llenándose los andenes*”

⁸² Salet, P., 1900, *Rapport sur les observations de l'éclipse totale de Soleil du 28 mai 1900 faites à la station secondaire de Las Minas (Espagne)*, Bulletin astronomique, tome 17, pp. 387-390

de la estación del Mediodía de Madrid de astrónomos, madrugadores e impacientes, que la mayor parte no habían acabado de vestirse y llevaban una bota en la mano”.

Salía el tren a las seis de la mañana de la estación de Atocha. A esa máquina (que) la denominaron “botijo”, ya que casi todos sus pasajeros eran *observadores obreros que llevaban cristales ahumados para ver el fenómeno*, aunque, según el redactor de Blanco y Negro, “*la chispa que llevaban por dentro no servía para ver nada del famoso eclipse*”.

Tras la ola popular, media hora después llegó a la estación de Madrid un distinguido y elegante grupo de viajeros que se subieron al tren, que llamaron “de lujo”. Entre otras personalidades, estaba el ministro de Hacienda del momento, Raimundo Fernández Villaverde (1848-1905).

Otro de los trenes especiales que formó parte del acontecimiento, era el denominado *rose* o *rosa*, que debía partir cuarenta minutos después que el tren de lujo, lleno de matrimonios jóvenes, pero que finalmente saldría a las diez de la mañana. En este, viajó la Infanta Isabel (1851-1931)⁸³, acompañada por la marquesa de Nájera, la condesa de Toreno y su secretario-tesorero, Sr. Coello. El tren llegó a Alcázar a la una y veintinueve minutos de la tarde y a Argamasilla a las dos y cinco. Regresó después del eclipse, partiendo de Argamasilla a las cinco y pasando por Alcázar a las cinco y treinta y siete, estando de regreso en Madrid a las nueve y quince de la noche. El coste del billete de ida y vuelta, bastante menos que el billete ordinario, pues solo costaba hasta Alcázar 20 pesetas y hasta Argamasilla 25 pesetas.

En la fonda de la estación de Alcázar, según un prospecto que tenemos a la vista, se dio a los viajeros, por seis reales (1.50 pesetas) cubierto, una comida compuesta de sopa, un plato de frito, merluza en salsa, pollo con arroz a la valenciana, pan vino y postre. [Diario El Liberal, 20 de mayo de 1900]

⁸³ Hija primogénita de Isabel II y Francisco de Asís. Fue apodada como La Chata.

Se calcula que llegaron unas tres mil personas. En el Observatorio provisional de Cinco Casas (entonces estación de Argamasilla), estuvieron los astrónomos del observatorio de Meudon que se situaron en esta zona para estudiar el fenómeno y que fueron, como jefe, H. Deslandres⁸⁴ (1853-1948), con el ayudante del Observatorio, Mr. Borron, y auxiliar, Mr. Rambuja, manipuladores de la meridiana grande. En la otra ecuatorial, el ayudante, Mr. Millanchón y Mr. Blanch. La ecuatorial cinematográfica la cuidó el fotógrafo parisino, Mr. Jolleaun, y el alumno de doctorado de Ciencias español, Fernando de Aguilar (Paniagua y Fdez. Martín, 2022)⁸⁵.

Sus observaciones tenían un triple objetivo:

1. Determinación de la velocidad de rotación de la corona por el método espectroscópico
2. a) Examen de la parte ultravioleta del espectro (de 3500 a 3000 Å)
b) Examen de la parte ultravioleta de la llamada capa inversora
3. Estudio del espectro de calor de la corona, lo que conocemos como radiación infrarrojo. En concreto se utilizó una pila de Meloni, sensible a 13000 Å (1.3 micras) con un galvanómetro.

Además, tres pequeños telescopios (focales de 1.10 metros, 0.40 y 0.30 metros) sirvieron para fotografía directa de la corona. Se utilizó película de grano fino que permitió ampliaciones (Deslandres, 1900)⁸⁶.

⁸⁴ Se mantuvo como investigador activo hasta su muerte. Su amigo, el también astrónomo Raymond Michard (1925-2015) dijo de él que: "*En su forma de ser, su carácter y su estilo de vida, Deslandres siempre permaneció más próximo al soldado (y oficial) que al erudito*". En este contexto, recordemos su agrio enfrentamiento con P.J. Janssen cuando le sucedió al frente del Observatorio de Meudon.

⁸⁵ Paniagua Villanueva, F., J. Fdez. Martínez de Ruedas, 2022, *Remembranzas del eclipse de 1900*, Salitre No.7

⁸⁶ Deslandres, H., 1900, *Observations of the total solar eclipse of May 28, 1900 at Argamasilla, Spain*, *Astrophysical Journal* 12, 287

Plasencia (Cáceres)

F. Iñiguez, director del Observatorio Astronómico Madrid, coordinó un grupo formado por Ventosa y Puente que observaron los contactos, el primero por proyección con un buscador de cometas y el segundo de forma directa con un antejo Mertz de 9 cm de apertura y 1.50 de focal. En el Anuario del Observatorio tenemos una descripción pormenorizada.

Durante la totalidad se obtuvieron tres fotografías con la cámara de mayor distancia focal y dos con la más corta. Todas ellas muestran la complicada estructura de la corona y su mayor extensión en el sentido del ecuador solar.

También eligieron esta ciudad los siguientes grupos británicos (Maunder, 1901):

A.W. Downing (1850-1917), Miembro del Trinity College, Dublín y de la Royal Astronomical Society, tuvo la ventaja de alojarse en una casa del Marqués de Mirabel. Para su lugar de observación eligieron Berrocalillo, a una milla del pueblo. Allí se encontraron otros grupos como H.S. Grubb y su hijo de Dublín, Dr Rambaut del Radclife Observatory de Oxford, Mr. W. E. Wilson, de Daramona, Prof. Joly, Astrónomo Real de Irlanda y Prof. Bergin, de Cork.

A mi señal de totalidad los fotógrafos empezaron a exponer sus placas. La corona estalló y en su cercanía se vio a Mercurio brillando cerca del borde oeste. Era más brillante que en otros eclipses y no hubo necesidad de luz artificial para tomar notas.

Los otros miembros de la Royal Society que observaron el eclipse desde Plasencia fueron T. W. Backhouse y Irwin Sharp, desde Santa Barbara, una colina a unas 2.6 millas de la ciudad (2007 pies de altura sobre el nivel del mar).

Elche

Iniciamos nuestra historia con un grupo británico que habían viajado al eclipse y se decidieron por la ciudad ilicitana. E.W. Johnson, Lady McClure y Miss J.Mc Ree, embarcaron en el buque

Egypt rumbo a Gibraltar. En Granada se encontraron con la familia Willis y decidieron juntar sus esfuerzos. Después de varias discusiones en Elche sobre tejados disponibles decidieron viajar mientras tanto a Santa Pola. Al llegar se encontraron con la llegada del *Theseus*, con N. Lockyer, con el que compartieron una comida. Regresaron con tiempo a Elche para observar el eclipse. Maunder (1901) incluye una fotografía del grupo (D-56).



Figura D-56: (De Izquierda a Derecha): E.C. Willis, J.H. Willis, Miss J. Mc Rae, Lady Mc Clure, E.W. Johnson, Miss E. Willis y Miss Willis. Fuente: Maunder (1901) Chapter VII

Se alojaron en una Fonda y dedicaron la mañana a recorrer el pueblo. A las 14:30 tomaron sus posiciones en el tejado y las 14:58 se anunció el primer contacto con un disparo. Provistos de gafas especiales pudieron seguir como el disco solar se iba oscureciendo. A las 15:38 J.H. Willis anunció la aparición de Venus. 20 y 10 minutos antes de la totalidad Lady McClure tomó exposiciones cada 10 segundos.

Un segundo tiro anunció que faltaba poco para la totalidad. Series de fotografías de la corona fueron tomadas por Lady

McClure, Miss Willis, Miss Edith Willis y E. C. Willis mediante cámaras ordinarias.

Al día siguiente viajaron desde Alicante a Madrid con el Dr Lockyer y W.L. Wyllie, que habían estado en Santa Pola. Ya en Madrid se encontraron con Keatley Moore, Mr. Gare, y el capitán Carpenter que habían observado el eclipse en Manzanares. Felices, compararon las respectivas notas y observaron el débil creciente lunar.

Observatorio de la Marina

El Observatorio de la Marina en San Fernando no podía faltar a la cita. Formaron una expedición bajo la coordinación del Director, el capitán de navío, Juan Viniestra (1842-1918)⁸⁷, formada por el teniente de navío José Chereguini, los astrónomos de segunda clase, Castellanos, Antonio Sotelo, Vélez, Lobo y Guijarro, y el relojero Sr Torres hasta un total de catorce personas. También se incorporó al grupo el director del Observatorio Vaticano, el agustino P. Angel Rodríguez de Prada (1859-1935), con claros conocimientos de meteorología⁸⁸.

Las fotografías adjuntas muestran el observatorio (D-57) que instalaron en las cercanías de Elche y otra del grupo de trabajo (D-58). Los aparatos se guardaron en casetas de madera y tiendas de lona.

⁸⁷ Se hospedó en la finca de Villa del Carmen, propiedad de Domingo Bartolomé.

⁸⁸ Rodríguez de Prada, A., 1902, *Meteorología Dinámica*, Imprenta Gómez Fuentenebro



Figura D-57: Instalaciones del grupo de San Fernando. A la izquierda se ven las casas de madera y tiendas de lona.



Figura D-58: Grupo expedicionario del Observatorio de San Fernando en la Villa del Carmen en la carretera de Elche a Santa Pola.

Pag. 149 de P. Ibarra y Ruiz, 1900, *Recuerdo del Eclipse Total de Sol*, Ministerio de Cultura.

Como instrumentación disponían de lo siguiente:

- Una montura ecuatorial Grubb con una apertura de 15.2 cms, con doble objetivo y cámara fotográfica (D-59).
- Otra montura con una apertura de 10.2 cms unida con un anteojo de Steinheil
- Un celostato
- Un anteojo con una apertura de 15.2 cms

Se tomaron tres buenas fotografías de la corona.



Figura D-59: El astrónomo Sr Castellanos operando con la ecuatorial Grubb y el aparato fotográfico Steinheil adaptado a ella.

Pag 217 de P. Ibarra y Ruiz, 1900, *Recuerdo del Eclipse Total de Sol*, Ministerio de Cultura, Biblioteca Nacional

J. Comas Solà (1868-1937), director del Observatorio Fabra, fue encargado por La Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona de organizar una misión en Elche para estudiar el eclipse de Sol. El matrimonio Comas Solà se instaló en la finca *La Bellotera*, a unos dos kilómetros del núcleo urbano de Elche, asesorado por su colega y amigo J.J. Landerer (1841-1922). El astrónomo catalán se sirvió de un cinematógrafo Gaumont y adaptándole el prisma del espectrógrafo, registró en cine, por primera vez en el mundo, el espectro de la cromosfera solar. Por

desgracia, una inadvertencia del operador, que colocó solo 25 metros de cinta al aparato, hizo que no pudiesen alcanzar los objetivos previstos y que se acabase la película muy pocos segundos antes de comenzar la totalidad del eclipse.

Interesado en la espectroscopia, Comas dispuso de una cámara prismática constituida por dos prismas de Flint de 60, colocados delante de un objetivo de 5.5 cms de diámetro y 80 cms de focal con una cámara fotográfica de 1.6 metros de longitud y un objetivo de 11 cms. Los dos aparatos estaban montados sobre un mismo pie ecuatorial. Las placas empleadas eran isocromáticas Ilford (Comas Sola, 1900)⁸⁹.

El primer cliché espectroscópico de la cromosfera se obtuvo al principio de la totalidad con una exposición de dos segundos. Aparece bastante rico en rayas (líneas espectrales), pudiendo contarse más de 120. Las más intensas son las Ca II (H y K) y las de Hidrógeno. Es muy fuerte también la NaD3 y el doblete de Mg b, algunas de titanio y muchas de hierro.

La segunda fotografía fue tomada 25 seg después de iniciada la totalidad con 4 segundos de exposición. Ahora han desaparecido casi todas las rayas. Solo quedan las de Ca II (H.K) dibujando todo el contorno de la cromosfera y las de Hidrógeno, tan solo en las protuberancias.

Las dos fotografías de la corona solar mostraron muchos detalles. El tipo de la corona es el mismo que le corresponde en la época de mínimo del ciclo solar: es decir, grandes expansiones ecuatoriales, formadas de filamentos y haces luminosos arqueados ó convergentes hacia el ecuador solar, y plumeros o abanicos de luz en los casquetes polares (N y S). La expansión coronal del Oeste alcanza en los clichés hasta casi 3 veces el radio solar. Los plumeros polares son muy regulares y parecidos a los rayos de Sol que pasan entre las nubes. El eje de rotación de estos plumeros se corresponde con la dirección del eje solar.

⁸⁹ Comas Solá, J., 1900, *El eclipse de Sol del 28 de mayo de 1900*, *Astronomische Nachrichten* 153, 86-87

Muy poco pude mirar directamente el eclipse, atareado como estaba manejando los aparatos. A pesar de todo, comprobé que la corona ofrecía un tono blanco, argentino, siendo visibles muchísimos menos detalles que en las fotografías.

Expedición francesa

El primer grupo estaba formado por M. Hamy, M. Lagarde y el conde de la Baume-Pluvinel, del Observatorio de París-Meudon.

En la carretera a Santa Pola, había entonces una casa conocida como la Finca del Pino (Figura D-60), más tarde Casa Azul, propiedad del banquero Jaime Brotons Pastor (1832-1907). Este alojamiento fue cedido a estos astrónomos franceses para realizar y preparar sus observaciones.



Figura D-60: Maurice Hamy y su telescopio en la Finca del Pino (actual Casa Azul).

Pasemos ahora al segundo grupo. A la magnífica finca San Antonio, propiedad en aquel momento de Gervasio Torregrosa

(1844-1909)⁹⁰, fueron invitados los científicos de las universidades francesas de Toulouse (Henry Bourget)⁹¹ y Montpellier (Auguste Lebeuf, Joan Carrère y George Meslin), para que pudieran tanto alojarse durante los días previos (figura D-61) como para realizar sus observaciones el día señalado, el 28 de mayo.



Figura D-61: El segundo grupo francés descansando en la Finca San Antonio.

Montpellier y Toulouse decidieron unir sus esfuerzos. La primera dispuso de: a) un telescopio con espejo de Secretan (D=108 mm y focal 165 cm), con un pie ecuatorial metálico dotado de un mecanismo de relojería. b) un telescopio fotográfico de 160 mm y 90 cm de focal, fijado sobre un pie ecuatorial de madera, dispuesto para fotografías de la corona solar en circunstancias variadas.

⁹⁰ Ingresó en la masonería en el año 1878 en la logia Ilicitana 124, con el nombre simbólico de “Pelayo 1º”, logia perteneciente al Gran Oriente de España. Alcanzó el grado 3º en 1888 en la logia Ilicitana 378. En 1878 ocupó en la logia el cargo de Guardián de Sellos.

⁹¹ Bourget, T., 1902, *Éclipse totale de soleil du 28 mai 1900. Rapport de la mission organisée par l'université de Toulouse*, Annales de la Faculté des sciences de l'Université de Toulouse pour les sciences mathématiques et les sciences physiques, Série 2, Tome 4 (1902), pp. 471-478.

La segunda, Toulouse, proporcionaba una cámara prismática con una red Rowland unido a un heliostato para trabajos de espectroscopia. Además de un telescopio de Steinheil para la fotografía de la corona.

Después de algunas inspecciones se decidió fijar el observatorio en la Finca San Antonio, en la carretera de Crevillente, puesta a disposición del grupo por el Señor Torregrosa y Parreño.

Ya allí se unieron al grupo por un lado Paul Joubin (1862-1941) de la Universidad de Besançon, intentando medir la polarización de la luz coronal, y por otro lado M. Moye, profesor de la Facultad de Derecho de Montpellier y M. Tramblay, dos competentes astrónomos aficionados. El primero se encargó del telescopio de M. Meslin y de la observación en el sol de las bandas ondulantes y M. Tramblay de anotar los fenómenos generales en el exterior y de las variaciones en los termómetros.

Al principio muchos del grupo pudieron contemplar las perlas de Bailey. Un tiro de Lebeuf anunció el segundo contacto y se iniciaron la toma de fotografías. Después de la exposición de las nueve placas, Bougert comenta que pudo contemplar durante unos 5 segundos el eclipse en toda su belleza, muy grande a los ojos de un observador que asiste a este espectáculo por primera vez: “*La corona brillaba en un blanco deslumbrante ... Se veía una protuberancia muy bonita*”.

En el cielo, alrededor del Sol brillaban Venus, Mercurio, las estrellas más bellas de Orión y Sirio. La oscuridad no era muy grande y pudimos ver un reloj de tiempo sin problemas.

Sin embargo, una figura eclipsó a todas. *Camilo Flammarion* (1842-1925), presidente de la Sociedad Francesa de Astronomía y gran experto de esta ciencia, se desplazó a Elche para presenciar el eclipse, por la alta probabilidad de tener buen tiempo.

Fue recibido de forma entusiasta en la estación de ferrocarril y agasajado en lugares como La Casa del Cura (Figura D-62), propiedad del Padre José Castaño (1835-1918).

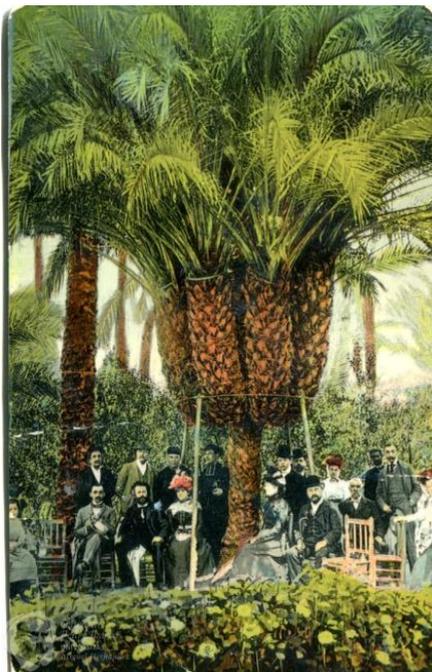


Figura D-62: Casa del Cura con una típica palmera, durante una recepción a personajes como C. Flammarion, el general Camilo García de Polavieja (1838-1914) y el poeta Teodoro Llorente.

Flammarion describió los cambios de luz que se van produciendo durante el eclipse hasta llegar a su totalidad: *«la luz se debilita considerablemente y su palidez es a la vez extraña y siniestra... asume un tinte angustioso»*.

En el periódico *El Imparcial* escribe el día 28: *“La sombra de la luna, al pasar sobre Elche como el cálculo había previsto, ha dado a todos los observadores un espectáculo inolvidable. Desde la terraza de la casa de campo del alcalde de aquella población, Sebastián Canales Múrtula (1871-1942), ningún obstáculo nos impedía la contemplación del paisaje.*

El eclipse total del astro del día ha durado mucho menos tiempo que el empleado por mí en escribir estas líneas. Los 79 segundos de la totalidad han acabado. Un relámpago cegador brota

del sol, mostrando que la luna, al seguir su curso, empieza a descubrirlo. Este espectáculo espléndido se había desvanecido, pasando como una sombra, ¡Ya acabó! Es casi una desilusión. Ha sido demasiado, corto... ”.

Mi mujer hizo un croquis de la corona luminosa, mientras la señora condesa de la Baume Pluvinel se ocupaba en contar las estrellas "visibles, siete u ocho, todas de primera magnitud: Venus, Mercurio, Sirio, Proción, Capella, Rigel y Betelgeuse. No estamos seguros de haber visto Aldebarán, y en vano hemos tratado de distinguir a Marte.

El abate T. Moreux (1867-1954), coincidió con C. Flammarion, comentaba así el eclipse: *“Tuve el placer de contemplar dos veces en mi vida ese halo hecho de materia onírica. Fue por primera vez en España, en el fresco oasis de Elche, en el momento del eclipse del 28 de mayo de 1900. ¡Qué espectáculo más maravilloso!”.* (Figura D-63)

Esa misma noche cuenta que resumió las impresiones que sintió durante ese minuto inolvidable: *“El cielo se vuelve lívido, las montañas adquieren un tono púrpura oscuro; Algunos cirros blanquecinos aparecen sobre las crestas de las escarpadas sierras, la luz del día se oscurece como al anochecer. Estoy esperando febrilmente. ¡Voy a tener que dibujar el eclipse y solo tengo un minuto y dieciocho segundos para este trabajo! Está todo ahí, en mi mesa, al alcance de la mano. Practico, hago repeticiones, mi tinta china untada con un pincel no se seca lo suficientemente rápido. Solo quedan unos minutos.*

Por encima de mí, el cielo se oscurece cada vez más, mientras que en el horizonte la luz del crepúsculo se vuelve más asertiva; Estamos en los bordes del cono de sombra proyectado por la Luna.

Un minuto más!

Me gustaría ver salir el último rayo de sol, pero tengo que cerrar los ojos para poder captar mejor los más mínimos matices de la corona. Me resigno y espero, ¡con qué angustia!

El minuto supremo es largo. ¿Y si la gente me olvidara? Pero no. Aquí está el salto esperado. Abro los ojos. El eclipse total ha comenzado. ¡Espectáculo mágico!”.

El Sol, una mancha redonda, negra como la tinta. Alrededor de su disco de 60 ámbar, una luz vaporosa, ligera, luminosa a pesar de ello, y tachonada de oro y plata. Parece la corona tejida con hilos transparentes, casi irreal.

A la izquierda, un amplio haz de luz sale disparado desde el ecuador. A la derecha la extensión es doble. Uno de los puntos está precisamente dirigido hacia Mercurio, que brilla con un brillo maravilloso. Era la forma general que esperaba.

Esta contemplación dura apenas unos segundos. No experimenté ni por un solo momento ese sentimiento de miedo que sienten algunas personas, incluso a veces los astrónomos. Pero ante este complicado espectáculo de la corona solar, una especie de ansiedad se apodera de mí al pensar que un minuto nunca será suficiente para dibujar la maravilla.

Toda mi sangre corre violentamente hacia mi cerebro, mi corazón late más rápido y un temblor nervioso me agita...

Pronto un rayo, atravesando el borde del disco negro con un agujero blanco y luminoso, rompió sin piedad el hechizo. La corona se desvanece. Todos debemos suspender las observaciones que ya no tienen razón de existir. Miro con resignación mi dibujo donde del sueño desaparecido y demasiado breve, al menos permanece la forma.

El aspecto de un eclipse total es muy diferente según los momentos en que se observe. Fuente: T. Moreux, 1911 "Quelques heures dans le ciel", páginas 21-25.

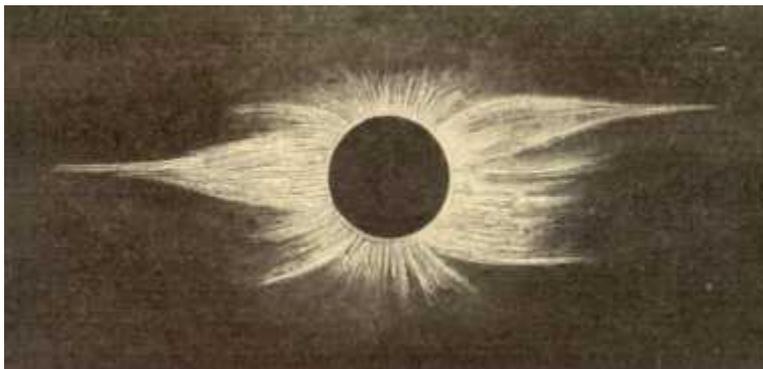


Figura D-63: Coronal solar observada por T. Moreux en Elche

Academia de Ciencias Rusa

También hemos de reseñar el grupo ruso (Academia de Ciencias de San Peetersburgo) que bajo la dirección de M.N. Donitch se instaló en el Hotel La Confianza de Elche. Disponían de un astrógrafo y un espectrógrafo pancromatico, cedido por M.A. Belopolsky del Observatorio de Pulkovo.

Al día siguiente del eclipse el alcalde de Elche ofreció una recepción en honor de Flammarion, asistiendo los Sres. Viniegra y Landerer, con sus ayudantes, por España; Labour y Pluvinel de París; el abate Moreux, de Bourges, Beurget y señora de Carréré, de Toulouse, Martín, Iranllay y Moys, de Montpellier, Hamy y Hagarde, del Observatorio de París; Donitsch, de San Petersburgo; Jouvin de Besançon, y Rodríguez Prada, del Vaticano. Además, asistió al principio de la comida la Comisión inglesa presidida por los Sres. Norman y doctor Lockyer. Los Sres. Casas y el alcalde de Elche brindaron dando la bienvenida a las comisiones extranjeras.

Hubo fotógrafos que se dedicaron a captar la reacción del público durante el eclipse. Así podemos destacar a Arturo Cerdá⁹²

⁹² Poveda,R., Martínez “Caneu”, T. *El fotógrafo Arturo Cerdá y Rico y el eclipse total de Sol de 1900*,

(1844-1921), quién tenía la costumbre de envolver cada vidrio negativo en un papel sobre el que anotaba un número, la fecha y el motivo.

Algunos vidrios han perdido su envoltura y en otros corre peligro su conservación como consecuencia del desprendimiento de la emulsión, aunque en general -y teniendo en cuenta que tienen un siglo- están suficiente bien conservados y nítidos.

De entre los cientos que dejó a su fallecimiento incluimos dos fotogramas (D-64) tomados durante el eclipse total de 1900.



Figura D-64: Observando el eclipse con cristales ahumados. Autor: Arturo Cerdá

Ahora que termina este capítulo, dediquemos un espacio a proseguir con nuestras inserciones sobre el desarrollo de la fotografía, ahora que ya había pasado el tiempo de los daguerrotipos.

FOTOMETRÍA CUANTITATIVA

La aplicación de los avances fotográficos a los negativos obtenidos en eclipses solares, que hemos visto con anterioridad en este capítulo, iba a resultar complicada si queríamos reproducir

fielmente la realidad de lo que se observaba en la corona. Lo oscuro en el negativo era muy brillante en el positivo y viceversa. Se plantearon discusiones que nos pueden parecer fútiles como la existencia de una atmósfera en la luna. Ranyard (1879)⁹³ resumió los principales resultados hasta la fecha de la publicación.

La explicación iba a estar en el trabajo de Hurter y Drirfield (1890)⁹⁴, en el marco de la Fotografía Industrial. La capa fotosensible de una fotografía es más oscura cuanto más luz incide sobre ella. En otras palabras, la relación entre la cantidad de luz y la densidad de la película no es lineal sino logarítmica (Figura D-65).

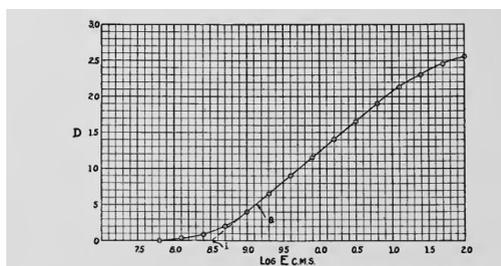


Figura D-65: *Densidad óptica (transmitancia) de una película y su relación con el logaritmo del tiempo de exposición, que es la intensidad de la radiación por el tiempo.*

Davis y Walters (1922)⁹⁵ publicaron lo que podemos considerar como guía para elegir las mejores películas para nuestro objetivo científico, en donde incluyen una larga mención al trabajo de Hurter y Drirfield.

⁹³ Ranyard A.C., 1879, Observations during total solar eclipses, Memoirs of the Royal Astronomical Society Vol. 41, con 18 placas.

⁹⁴ Hurter, F., Drirfield, V.C., 1888, *Photochemical investigations and a new method of determination of the sensitiviness of photographic plates*, Journal of the Society of Chemical Industry

⁹⁵ Davis, R., Walters, F.M., 1922, *Densitometry of photographic emulsions and a survey of the characteristics of plates and films of american manufacture*, Scientific Papers of the Bureau of Standards Vol 18, 1-120

La conocida como *curva característica* de una película, se construye mediante cuñas fotométricas, calibradas previamente, que se insertan entre las exposiciones del rollo de gelatina. Estas se muestran con una imagen en escalón para diferentes ennegrecimientos. En ocasiones el intervalo de intensidades de las cuñas no coincide con el de las medidas efectuadas. En cualquier caso, hemos de considerarla para reconstruir la realidad precisa.

Sin embargo, tardó un cierto tiempo en que la idea calase entre los astrónomos. Kienle (1937)⁹⁶ propuso para la curva de calibración una cuña con 6 diferentes densidades y un filtro de densidad uniforme de transmitancia conocida T_{HF} . Se le conoce como el método del filtro medio.

Para obtener la curva característica en lugar de un método directo, en este caso se proponen dos exposiciones, una solamente con los 8 niveles y la segunda con el filtro medio superpuesto. Así se obtienen más valores y el ajuste a realizar es más exacto (Figura D-66).

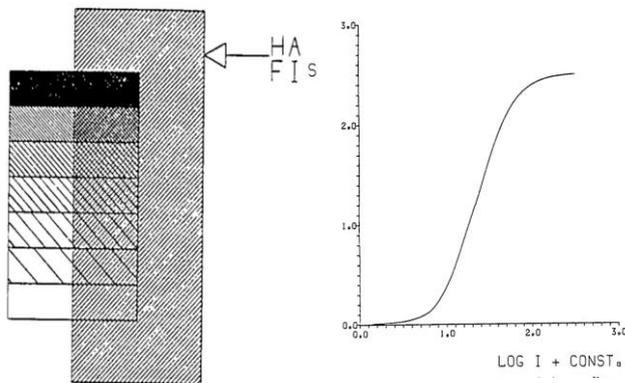


Figura D-66: (Izqda) Cuña fotométrica del método del filtro medio. (Derecha) Curva Característica obtenida con este procedimiento. Cortesía: J.A. Bonet

⁹⁶ Kienle, H., 1937, *Photographische Photometrie*, Handbuch der Experimentalphysik, Band 26, 649-794

Antes de entrar en el siglo XX sería bueno recordar algunas propiedades de las películas.

Curva característica: Para cada película puede trazarse en laboratorio una gráfica, llamada Curva Característica, relacionando la cantidad de luz recibida con el ennegrecimiento conseguido en la película.

Para conseguir el máximo control y rendimiento de una película, conviene saber interpretar su curva; en ella se recoge, como hemos dicho, la relación entre la luminosidad del motivo y la densidad obtenida en el negativo. La luminosidad se expresa logarítmicamente para poder comprimir la longitud de la curva. Un incremento de exposición de 0,3 en abscisas supone duplicar la exposición.

La curva no comienza desde cero porque ya tiene cierto nivel de densidad, aunque no haya recibido nada de luz. El valor de esta densidad se denomina NIVEL DE VELO, y varía con cada tipo de película en función de su composición y de la transparencia del soporte, siendo menor en las más lentas.

Conforme continuamos aumentando la exposición, llega un momento en que la película empieza a ennegrecerse ligeramente, a este comienzo de la curva se le llama TALÓN, luego la curva comienza a ascender de forma proporcional a la cantidad de luz recibida y se transforma en los que se llama PORCIÓN RECTA, que abarca toda la gama de grises y es la parte «útil» de la misma ya que en ella es donde vamos a intentar recoger toda la gama tonal de la escena.

Pasado un cierto nivel de exposición la película empieza a dejar de ennegrecerse, es el denominado HOMBRO de la curva.

Latitud es el nombre que se le da a la abscisa.

La inclinación de la curva, respecto al eje inferior, determina cuan contrastada es la película. En concreto, el contraste se corresponde matemáticamente con la tangente del ángulo formado entre la porción recta y el eje de abscisas. A simple vista puede adivinarse el contraste de una película con solo fijarse en el grado de inclinación.

Rapidez: Su clasificación depende del tamaño de los cristales de haluro de plata. Los cristales muy pequeños proporcionan gran detalle y resolución, pero necesitan mayor exposición a la luz. Cuanto más grandes sean los granos de plata, más fácil es que intercepten la luz, y por tanto, mayor será su rapidez. Una emulsión con grandes cristales permite trabajar en lugares con menor luminosidad, pero la imagen puede resultar demasiado basta y granulosa.

Existen varias escalas para definir la rapidez de una película, las más utilizadas son la ASA americana y la DIN alemana. Mientras que la escala ASA aumenta en proporción aritmética, la DIN lo hace logarítmicamente. Ambas se agrupan por convenio en la escala ISO (internacional). Así por ejemplo en una película de 100 ASA (equivalente a 21 DIN), figura en el envase como ISO 100/21°. Esta es la película mayoritariamente usada por los aficionados.

Una película de 100 ISO es el doble de rápida que una de 50 y la mitad que una de 200, es decir se diferencian en un diafragma (o en un paso de velocidad).

Formatos: Las películas se vendían en cartuchos, chasis, rollos envueltos en papel y hojas de distintos tamaños. Todas las presentaciones excepto las hojas, están diseñadas para poder cargarse a la luz. La mayor parte de los formatos, guardan relación con el tipo de cámara.

CHASIS: Es el envase característico de la película de 35 mm. Consta de un eje sobre el que va sujeta y enrollada la película y una carcasa de latón que la protege y de la que sale a través de una ranura provista de fieltros negros de seguridad. Aquí, la película está perforada y la numeración de los fotogramas la hace la cámara; además es necesario rebobinar al terminar la película, para reintegrarla al chasis.

Una escena muy contrastada con grandes diferencias de luminosidad, puede tener un intervalo tonal mayor que la porción recta de la curva, en este caso habrá que elegir entre sacrificar los detalles en las luces o en las sombras.

Cuanto más larga sea la curva, más tonos de gris obtendremos en la copia; y cuanto menos pendiente tenga, más intervalo de luminosidades aceptará y tendrá además una mayor latitud de exposición (figura D-67)

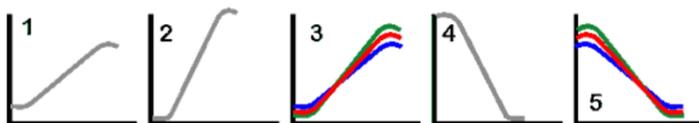


Figura D-67: Curva característica para diapositivas (4 y 5) y fotografías normales (ver texto para explicación).

La curva de las diapositivas se distingue fácilmente porque su trazado es al revés: comienza desde una densidad máxima y que va disminuyendo a medida que la exposición aumenta. La curva 5 es típica de una diapositiva en color y la 4 de una diapositiva en blanco y negro.

La curva 1 es de una película negativa en blanco y negro ya que solo presenta una curva; tiene muy poca pendiente y un alto nivel de velo. De ello podemos deducir que corresponde a una película rápida, de bajo contraste y gran latitud. La 2, por el contrario, presenta un bajo nivel de velo, poca latitud y alto contraste, características típicas de una película lenta.

CAPÍTULO V: ECLIPSES EN ESPAÑA SIGLO XX

Iniciamos un nuevo siglo, marcado en la primera parte a nivel planetario por dos Guerras Mundiales y en nuestro entorno por una Guerra Civil. Todo ello salpicado por una Gran Depresión Económica. La segunda parte ha estado caracterizada, en el Primer Mundo, por lo que se ha llamado como la sociedad del bienestar, simultánea con una gran pobreza en el Tercer Mundo. Los avances científicos y tecnológicos no han llegado a toda la población mundial que no ha dejado de crecer.

En lo que respecta a nuestro tema, los eclipses, es el tercero de los cuatro que se van a producir en nuestro suelo en poco más de cincuenta años.

1905 AGOSTO 30: EL ECLIPSE REAL

Un eclipse con una trayectoria de totalidad muy similar al de 1860 y también de la que tendrá el de 2026 (Figura E-01). El principio del eclipse total, o sea la entrada de la sombra, será en Canadá al Sur del Lago Winipeg, a las 11 horas y 41 minutos, también al amanecer en aquel lugar. La sombra de la Luna atravesará sucesivamente la bahía de Hudson, la península del Labrador, el Océano Atlántico, España, el mar Mediterráneo (por las Baleares), Argelia, Trípoli, Egipto, el mar Rojo y Arabia, en cuyo desierto terminará el eclipse total a las 14 horas 34 minutos al ponerse el Sol en aquellos parajes.

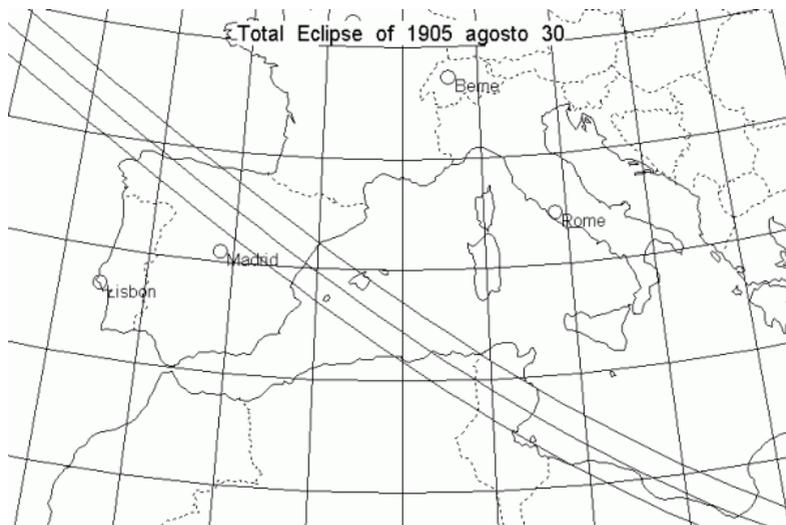


Figura E-01: Camino de totalidad global

La línea central del eclipse entrará en España por Asturias, partido judicial de Castropol, cerca de la ría de Navia, a las 13 horas 1 minuto y 59 segundos, y atravesará sucesivamente las provincias de Oviedo, León, Palencia, Burgos, Soria, Zaragoza, Teruel, y Castellón, saliendo de ésta última en las cercanías de Torreblanca (partido judicial de Albocacer) a las 13 horas 18 minutos 25 segundos, durando por tanto su recorrido sobre la Península 16 minutos y 26 segundos.

Hagamos la descripción como es costumbre en esta obra

Burgos

La mayor parte de la información procede de Burgos, ciudad que visitó el Rey Alfonso XIII (1886-1941), que había asumido la Corona en Mayo de 1902. El motivo de su visita, la observación del eclipse total de Sol. Nos podemos imaginar todos los problemas originados por la presencia del Rey y parte de Casa Real. Como se

muestra en la Figura E-02 vemos: a) una imagen de la recepción que el Ayuntamiento ofreció con motivo de la real visita, b) Alfonso XIII, su familia y autoridades observando el evento y c) una imagen de la totalidad.

La familia real, se alojó en aquella jornada en el Palacio de la Diputación y decidió subir al Cerro del Castillo para contemplar el eclipse. De aquel momento realizó el pintor Marceliano Santa María un grabado que se conserva en el Archivo Municipal de Burgos.

Siguiendo con recepciones hemos de citar la celebrada el 28 de agosto a las diez de la mañana a las diferentes comisiones de astrónomos asistentes al eclipse. Presidía el Gobernador Civil, Eduardo Ortiz Casado, el Alcalde José Plaza y numerosos concejales.

En septiembre se convocó un concurso para las mejores fotografías del evento astronómico. Formaban parte del jurado Genaro Pérez Villarejo, Juan Alvarellos, Isidro Gil, Guillermo Roca y Luis Roig. Se adjudicaron tres premios a personas de las que solo se les conocían los lemas.

El Ayuntamiento editó un folleto que bajo el nombre *Burgos: Eclipse Total de Sol*, ofrecía al visitante una relación de los lugares más interesantes de la ciudad.

Antes de seguir, debemos resaltar la información sobre el evento existente el Archivo Municipal de Burgos, a la que se puede acceder tanto personalmente como por correo.

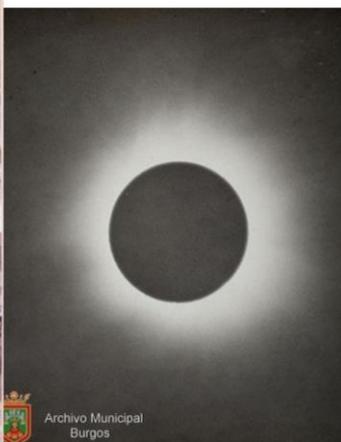


Figura E-02: (Arriba) Recepción a la llegada de Alfonso XIII a Burgos, (Abajo izquierda) Observación del eclipse por la Familia Real en El Castillo, por Marceliano Santamaría, (abajo derecha) Fotografía del eclipse total

Algo diferente en este evento burgalés fue la exhibición de globos aerostáticos, de los que tres (Marte, Júpiter y Urano) serían soltados media hora antes del inicio del eclipse, alcanzando alturas hasta los 6000 metros.

Ver P. Vives para el plan inicial⁹⁷ del 6 de marzo de dicho año.

En principio, los aeronautas hubieran sido todos militares, pero se les agregó el director del observatorio meteorológico de Madrid, Sr. Augusto Arcimis (1844-1910); el notable profesor y meteorólogo Arthur Berson (1859-1942), el presidente de la Aerostación Científica de Alemania doctor H. Hergessell (1859-1938) y el teniente de ingenieros austriaco Mr. Volmagini.

El globo “Júpiter” que iba recubierto de aluminio, tenía planeada una ascensión libre, pilotado por el Sr. Vives y el profesor alemán Mr. Berson para realizar observaciones espectroscópicas. El globo “Marte”, pilotado por el capitán de ingenieros A. Kindelan (1879-1962) y el Sr. Arcimis tenía en su programa observaciones fotográficas en correspondencia con la estación de tierra. Por último, en el globo Urano subieron otro oficial de ingenieros y D. José Duro, encargándose los tripulantes de dibujar la corona solar (Figura E-03).



Figura E-03: Los tres globos, momentos antes de la ascensión delante del Monasterio de San Juan. Cortesía: Archivo Municipal de Burgos

⁹⁷ Vives y Vich, P., 1905 (6 marzo), Observaciones del Eclipse Total de Sol, 30 de agosto de 1905, por medio de globos, Imprenta del Memorial de Ingenieros, Guadalajara

Arcimis en el Urano logró al menos culminar algunas de las observaciones previstas. En sus palabras: *“a los 2.417 metros con 1°,9 de temperatura, un nimbo enorme, de color de pizarra, nos ocultó gran parte del cielo; la lluvia continuaba por el N. y el N. W.; a las 12h 55m el frío se dejó sentir, pues el termómetro indicaba 0°, así como la humedad, por hallarnos en el centro de una nube a los 2.690 metros de altura. Seguíamos subiendo, con lentitud, porque el globo se cargaba de agua, y al alcanzar los 2.870 metros, siempre envueltos por la nube, empezó a nevar; la temperatura era de 1°,7 bajo cero”*.

Arcimis continúa con su descripción del vuelo: *“A las 13h 4m, libres en gran parte de la nube, pudimos descubrir el Sol, casi completamente eclipsado, pues el momento del comienzo de la totalidad estaba muy próximo; sin detenernos procedimos a orientar la cámara, lo que no se consiguió sino con gran dificultad, pues estábamos de espaldas al Sol y fue necesario que cambiáramos de sitio en la barquilla, pasando debajo del puente que sustentaba el aparato; por fin pude hacer una fotografía poco antes de la totalidad, con intento de obtener la imagen de la corona, y en seguida coloqué el prisma delante del objetivo; mas las nubes, que incesantemente se amontonaban y se dispersaban, si bien la masa mayor y más espesa de ellas estaba a nuestros pies, no me permitieron obtener la fotografía del espectro del destello (flash spectrum); quité, pues, el prisma, y prescindiendo de seguir al pie de la letra lo preceptuado en el programa, con tanto esmero elaborado y discutido, y perdido el segundo contacto, me propuse utilizar todos los momentos favorables sin tener en cuenta si coincidían o no con los correspondientes a la estación de tierra.*

Aún este plan simplificado era de difícil ejecución, pues cuando, después de mucho trabajo, conseguía fijar el Sol en el centro del buscador, mientras se cambiaba al chasis, ora una nube, ora el movimiento giratorio del globo, me desorientaban por completo, faltó en absoluto de puntos de referencia, y reapareciendo el Sol por donde menos podía presumirse, una de las veces a nuestra espalda, lo que nos obligó a cambiar nuevamente de posición en la

barquilla, con las molestias y la pérdida de tiempo consiguientes”; así y todo, se obtuvieron seis fotografías (Palomares Calderón, 2010)⁹⁸

El globo *Marte* descendió cerca de Villasur de Herreros ante el temor de ser arrastrado por los vientos hasta la Sierra de la Demanda. *El Júpiter* hizo lo propio en Zaldierra, muy cerca de Excaray; el *Urano* descendió en la localidad riojana de Prejano.

En cuanto a la visión desde tierra, a partir de mediodía comenzó a aumentar el nublado. Según escrito del Diario de Burgos (19 de abril de 2024) firmado por R. Pérez Barredo: “*Las laderas del Castillo y todos aquellos lugares con amplias explanadas acogieron multitudes en el mediodía del día 30 de agosto. Sin embargo, minutos antes de que la luna solapara al sol, unas nubes traicioneras amenazaron con chafar el sortilegio*”.

El anuncio era que el acontecimiento empezaría el día 30 de agosto a las 11 horas, 30 minutos y 48 segundos. En las memorias de María Cruz Ebro (1885-1967) hay una interesante narración de su visión del eclipse desde el Cerro de San Miguel: “*El día amaneció esplendido: luego asomaron algunos nubarrones. Y entre nubes dio principio el emocionante espectáculo. Sombras medrosas se extendieron sobre los campos. Sentimos frío, un frío escalofriante. A lo lejos un gallo lanzó al aire la amapola sonora de su canto. Poco a poco la oscuridad se fue acentuando; en los cielos entristecidos se prendieron las estrellas y era fantástica la visión de los globos elevándose lentamente. El aerostato Júpiter se hallaba recubierto de aluminio y aparecía como de plata bajo los trémulos resplandores del Sol que agonizaban.*

De pronto las nubes se rasgaron y en azul pálido del firmamento vimos campear un sol desconocido, extraño, de sobrecogedora belleza. Era aquel sol, un sol negro, semejante a una estrella que agujereada en el centro luciese en la periferia su corona de luz. ¿Cómo explicar aquella luz? Era blanca, hermosa, de un

⁹⁸ Palomares Calderón, M., 2010, *La ascensión en globo de Augusto Arcemis en 1905*, AEMET

tono a que nada puede compararse, así como la redonda losa del sepulcro dejase escapar el espíritu que brota en busca de las anchuras sin fin del espacio”.

Luego las estrellas se apagaron, cantaron los pájaros y en el cielo brilló de nuevo el Sol. Eran las 14 horas, 12 minutos y 13 segundos. El espectáculo había terminado.

Elúa Vadillo (2002)⁹⁹ describe de forma detallada todas las circunstancias del eclipse.

Astrónomos franceses, holandeses, alemanes, belgas e ingleses se instalaron en diversos puntos de la ciudad, como el Campo de Lilaila (al sur de la ciudad, entre Cortes y la Cartuja de Miraflores) o el entonces conocido como Plantío de Arnáiz, acompañados de toda una serie de modernos aparatos y cámaras para estudiar el eclipse que hicieron las delicias de propios y extraños.

En el campo de Lilaila se instaló el grupo belga (Dramy, Dresse) al que se unió el astrónomo del OAM, V. Ventosa Martínez de Velasco (1837-1919). Éste se encargó de dibujar la corona (Figura E-04) y determinar los contactos con unos prismáticos de la marca Emil Busch, un ocular tintado para las fases parciales y otro libre para la totalidad (Ventosa, 1906)¹⁰⁰.

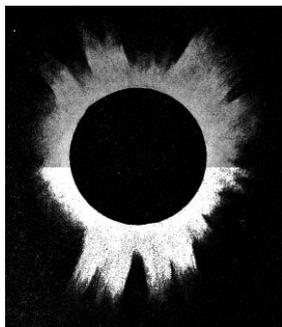


Figura E-04: Reproducción fotográfica de un dibujo realizado por el hijo de Vicente Ventosa.

⁹⁹ Elúa Vadillo, M.L., 2002, *Eclipse total de Sol en la Ciudad de Burgos*, Editorial CELYA.

¹⁰⁰ Ventosa, V., 1906, Total Solar Eclipse viewed at Burgos, *Popular Astronomy* 14, 151-153

En la misma localidad se instaló el grupo holandés (Van de Sande Bakhuyzen, 1905)¹⁰¹, compuesto por W.H. Julius (1860-1925), J.H. Witerdink, A.J. Nyland el ayudante Moll y el autor del informe. Dispusieron de la siguiente instrumentación:

Un sideroestado con celostato

Dos espectrógrafos de rendija, para trabajar con el celostato.

Una cámara prismática para ser dirigida sobre el espejo polar.

Un actinómetro, para la medida de calor, junto a un pierheliómetro

Un sextante con accesorios y tres cronómetros

La estación de observación, la colina Lilaila, a 3 kms. al SE de la ciudad, era un verdadero desierto de arena donde generalmente soplaban un fuerte viento, del cual las tiendas (prestadas por los españoles) podían proteger solo parcialmente a los instrumentos. En el mismo artículo siguen la descripción en detalle de los instrumentos.

Los británicos solían organizar expediciones de eclipses a diferentes lugares y sus informes se imprimían de forma conjunta. Este fue el caso de 1905 (Levander, 1906)¹⁰². El grupo de Lilaila estuvo dirigido por C. Thwaites con 17 personas más (A. Carpenter, Cooke, E. Hiecksva, E. Diekson, K. Moore, Rev. J.E. Phillips y A. Raisin) de las que cinco eran señoritas (Miss Berry, Miss Bruford, Michaelis, E. Vakes y M.E. Kroolston). El día anterior al eclipse recibieron la visita del Rey que estuvo charlando con Thwaites.

Vale la pena señalar que la corona se hizo visible unos segundos antes de que la totalidad hubiera comenzado realmente, porque alguien cerca exclamó "La corona", mientras que las franjas brillantes de las perlas de Baily todavía estaban presentes. Al mismo

¹⁰¹ Van de Sande Bakhuyzen, H.G., 1905, *Preliminary Report on the Dutch expedition to Burgos*, Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen, Proceedings Vol 8 (1), 501-503

¹⁰² Levander, F., 1906, *The Total Solar Eclipse 1905. Reports of the observations made by members of the British Astronomical Association*, Eyre and Spottiswoode, London.

tiempo, el Sr. Thwaites dio la señal de "Adelante", y a esto le siguió unos segundos más tarde la clara voz de la señorita Berry que actuó como cronometradora.

No pudimos ver el primer contacto y temimos que permanecería cubierto todo el evento. Por consiguiente, cambiamos nuestras placas por otras más sensibles para llevar adelante nuestro programa. Ajusté el metrónomo para tomar más fotografías. Afortunadamente se abrió un claro de cinco minutos uno más que la totalidad.

La corona era de un color blanco y no tan brillante ni nacarado; los rayos eran tan largos y nítidos como en el eclipse de 1898; era una corona típica del máximo del ciclo de manchas solares. Antes de la totalidad se observó un espléndido despliegue de colores prismáticos en los bordes de una nube, que formaba el borde de una grieta al suroeste del Sol, y Venus se vio inmediatamente cuando las nubes se destaparon.

Una expedición francesa estaba presidida por George Rayet (1839-1906), astrónomo de sólido prestigio, profesor entonces en la Universidad de Burdeos. Dispuso para las observaciones de un antejo ecuatorial con objetivo de veintidós centímetros de diámetro y un espectroscopio de tres prismas. Su compañero Mr. Courty manejó otra cámara ecuatorial fotográfica y auxiliado por un español universitario de Burdeos, pensaban analizar las envolturas gaseosas de nuestra estrella. Esta Comisión se instaló en el vivero de nuestro Distrito Forestal, sito en la zona de «Los Vadillos», el cual se cedió por feliz idea del Ingeniero de Montes burgalés D. José Díaz Oyuelos.

En el Jardín Botánico del Instituto Provincial de Burgos montó sus aparatos George Merlín, Director del Instituto de Física y Profesor de esta asignatura en la Universidad de Montpellier. Con los Auxiliares que trajo planeaba estudiar la corona solar.

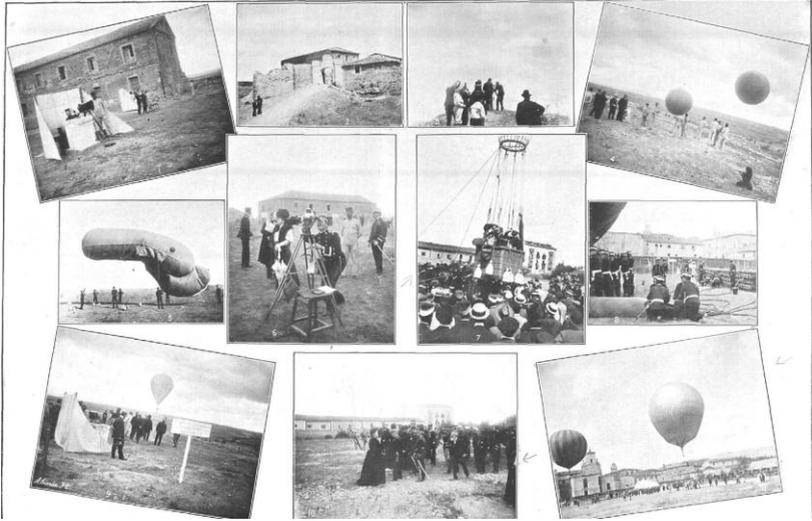


Figura E-05: Retazos del eclipse total en Burgos: (1) Instalación en el Parque de los Ingenieros en el Castillo; (2) Castillo de Burgos; (3) Oficiales observando la marcha de los globos sonda; (4) Globos sonda elevándose la víspera del eclipse; (5) Globo cometa recostado; (6) El teniente Castillo haciendo observaciones espectroscópicas ; (7) Elevación del globo Júpiter pilotado por el Ingeniero Sr Vives; (8) Inflado de los globos; (9) Un globo piloto ; (10) La Real Familia en la Huerta de San Juan, esperando la ascensión de los globos y (11) Los globos Júpiter y Marte esperando para elevarse.

Fotografías: D'Asloe, Mariani y Rivero

Crédito: *Ilustración Española y de América 1905, septiembre*

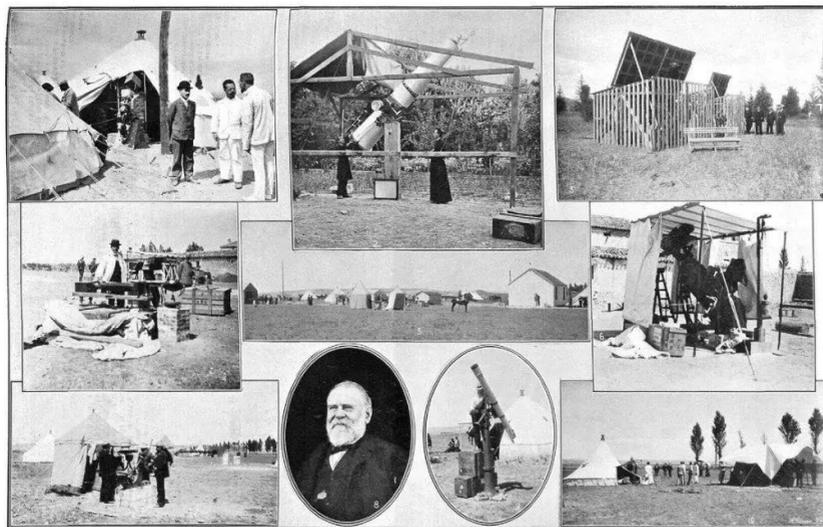


Figura E-06; Nueve imágenes de diferentes grupos en Burgos. (Arriba) Astrónomos holandeses; Padres jesuitas de Valkenberg del Colegio de la Merced; Instalaciones del Observatorio de Burdeos. (Centro) Mr Deslandres del Observatorio de Meudon; Vista general del campo de Lilaila; Observ. Meudon en Campo de Villargamora. (Abajo) Instalaciones Observatorio de Madrid; C. Thwaites (Comisión inglesa); Observatorio alemán (Mr Archenhold)

Crédito: Ilustración Española y de América 1905, septiembre

Alhama (Aragón)

W. H. Crocker (1861-1937) fue un financiero estadounidense que a principios del siglo XX había destinado importantes fondos para que el Observatorio Lick¹⁰³ pudiera organizar importantes expediciones para observar eclipses totales de Sol. Con la mente en el de 1705 el observatorio aprovechó dicha

¹⁰³ Fundado en 1888 con una herencia de James Lick (1796-1876). Situado en la cumbre del Monte Hamilton (1300 metros de altura), en la actualidad depende de la Universidad de California.

ayuda para tres expediciones: Labrador, España y Egipto. Lógicamente vamos a dedicarnos a la de España (Campbell y Perrine, 1906)¹⁰⁴ (Figura E-07).

Las expediciones a España y Egipto salieron en el mismo barco, *Romanic*, el 6 de Julio desde Nueva York con destino intermedio a Gibraltar donde bajaron los “españoles”, prosiguiendo los “egipcios” hasta Génova. Entrevistas con el Prof. Casares habían llevado a la selección a Alhama, que se encontraba no solo en la línea de totalidad, sino que también estaba situada en la línea de ferrocarril de Madrid a Zaragoza. El embajador de USA en España, W. M. Collier y el Vicecónsul en Madrid M. Sommers procedieron rápidamente a realizar las gestiones y suministrar la información requerida.

W.W. Campbell y señora llegaron a la villa, de unos 1500 habitantes, el 21 de Julio. Se encontraron en un valle rodeado por paredes de roca de 200-400 pies de altura. Después de una inspección se eligió para la observación una colina de unos 20 metros de altura en la zona más al Sur.

La villa de Alhama ofreció alojamiento para todo el equipo en el Hotel Las Termas. Durante nueve días, mientras se esperaba completar el resto de la expedición, se procedió a mejorar la infraestructura del lugar de observación.

Se contó con la ayuda de los Drs Mc Kinney y R.S. Dugan de Valencia, el teniente M. Hernández del Servicio de Geodesia de Madrid, Esteban Terradas (1883-1950) de la Universidad de Madrid, Enrique Ibáñez del Municipio, Esteban Barbajossa y Juan Blasco, de la Guardia Civil. El día 27 quedó completo el equipo con el Prof S. Arrehnius¹⁰⁵ (1859-1927) y G. Kobb de la Universidad de

¹⁰⁴ Cambell, W.W., Perrine, C.D., 1906, *The Lick Observatory-Crocker eclipse expedition to Spain*, Publications of the Astronomical Society of Pacific 18, 13-36

¹⁰⁵ Primer científico que predijo que el aumento de CO₂ en la atmósfera ocasionaría un incremento de la temperatura media del planeta. Arrehnius, S., 1896, *On the influence of Carbonic acid in the air upon the temperature of the ground*, Philosophical Magazine and Journal of Science Serie 5, Vol. 41, 237-276

Estocolmo y E.M. Olmsted un aventajado estudiante americano de la Universidad de Bonn.

Un segundo grupo llegó el mismo día, a saber: Profesor J. Hartmann (Postdam), Ernesto Greve (Observatorio Nacional de Chile), V. Ströyberg (Copenhagen), Arturo Cuyás (Madrid), José Casares (Univ. Central Madrid), Hilarión Gimeno y Antonio Rocasolano (1873-1941) de Zaragoza, Felipe Lavilla (Valencia) y Esteban Terradas (1883-1950) de Madrid. La mayor parte de ellos están en la fotografía adjunta E-08



Figura E-07: Grupo de observadores en Alhama. Crédito: Archivo Mary Lean, Lick Observatory

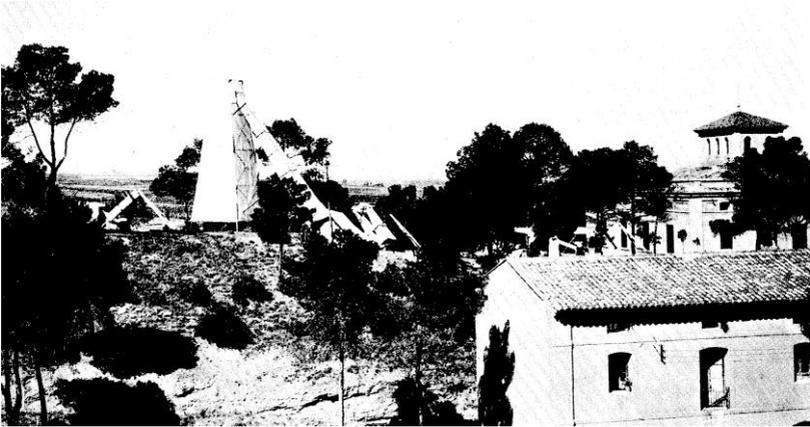


Figura E-08: Visión general del Observatorio del Lick Observatory en Alhama

Los 18 instrumentos de observación se montaron en seis grupos compartiendo un reloj. Antes de la totalidad Mr Olmsted fue el encargado de la señal “uno, dos, tres, cuatro ...”

La observación de la totalidad se vio perturbada por el paso de algunas nubes. Sin embargo, el revelado de las placas indicó que la calidad de las fotografías era excelente (buena resolución espacial, ver Figura) lo mismo que los espectrogramas. Para detalles ver la citada publicación de Campbell y Perrine (2006).

Cámara Schaeberle (40 pies): Recién llegado al Lick Observatory, J.M. Schaeberle se interesó en desarrollar un telescopio capaz de obtener imágenes excelentes de la corona solar. Para ello se decantó por obtener fotografías con una gran escala espacial en un telescopio reflector montado ecuatorialmente. Su modelo consistía en un espejo de 45.7 cms y una distancia focal de 3.8 metros. A pesar de su tamaño pudo desarrollar un sistema capaz de transportarlo al lugar del eclipse.

Las dos figuras siguientes, E-09 y E-10, muestran imágenes obtenidas con este instrumento.

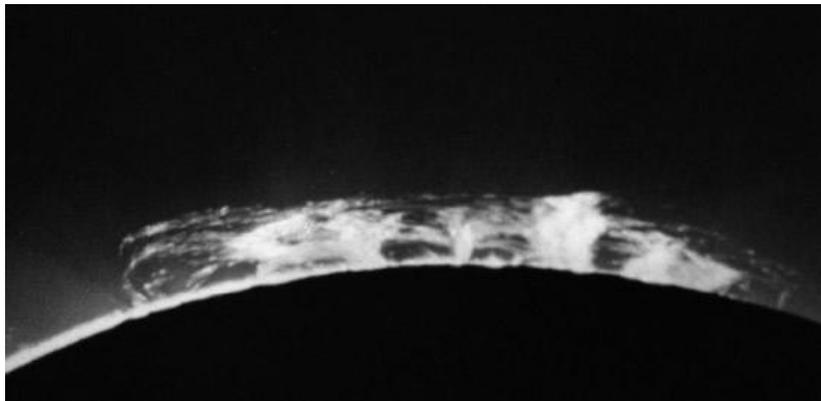


Figura E-09: Grandes protuberancias y una cromosfera perturbada en el borde Este. Imagen obtenida con el telescopio Schaeberle de 40 pies.



Figura E-10; La corona solar fotografiada con el telescopio Schaeberle de 40 pies. Crédito: Archivo Mary Lean Shane (Lick Observatory)

Eddy (1971)¹⁰⁶ y Pearson & Orchiston (2008)¹⁰⁷ mencionan las ventajas de esta cámara con respecto al tradicional telescopio horizontal alimentado por un helioestato.

Los espejos adicionales degradarían el poder de las lentes por problemas de expansión y además introducirían rotación de las imágenes coronales en exposiciones largas, creando problemas con el control del tiempo.

Además, el instrumento estaría a una cierta altura (Figura E-11), lo cual haría que la calidad de las imágenes estuviera menos sometida a los efectos de la convección forzada cerca del suelo, lo cual nos lleva al concepto de las modernas torres solares.

Ambos autores describen las dificultades logísticas sufridas por Schaeberle (Eddy, 1971) con su gran telescopio desde su primer eclipse en 1889 hasta el último en 1932.



Figura E-11; La cámara de Schaeberle en su instalación de Alhama, donde tuvo que levantarse hasta unos 55 grados

¹⁰⁶ Eddy, J.A., 1971, *The Schaeberle camera para eclipses de 40 pies del Observatorio Lick*, *Journal for the History of Astronomy* 2, 1-22

¹⁰⁷ Pearson, J., W., Orchiston (2008, *The 40-foot Solar Eclipse Camera of the Lick Observatory*, *Journal of Astronomical History and Heritage* 11(1), 25-27.

La Capa reversible (Cromosfera): Se tenía la idea de extender los estudios de la capa inversora (ver Young, 1870) hacia el violeta. Para ello Campbell y Kobb diseñaron un espectrógrafo cuyas partes deberán ser eficientes en la zona del UV cercano y que tuvieran una placa móvil; Dos prismas objetivo de vidrio de Jena ultravioleta No. 3199, ángulos de refracción 60° , bordes de refracción 60 mm, y longitudes de las caras 100 mm y 110 mm, respectivamente. Una lente especial de vidrios UV con apertura de 66 mm y focal de 2000 mm.

Un celostato de espejo de metal (ver figura E-12) de Schroeder No.1 alimentaba los espectrógrafos. Tenía un diámetro de 110 mm y espesor 15 mms. y estaba sujeto al extremo final del eje polar del celostato de Lick.

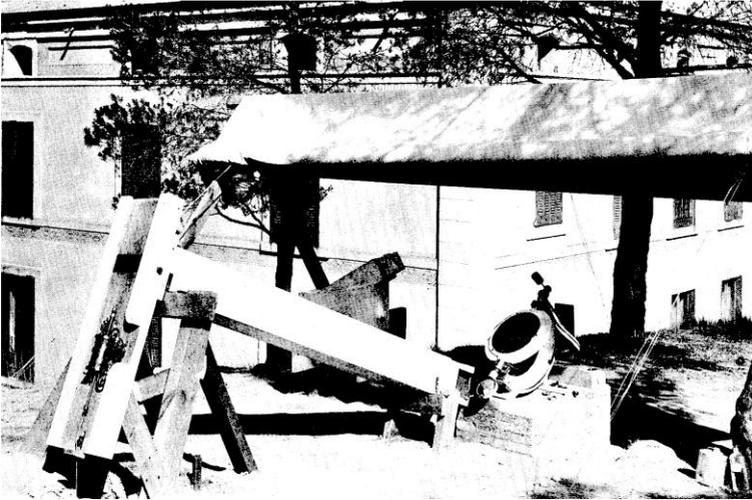


Figura E-12: Espectrógrafo ultravioleta. El celostato de del Observatorio de Lick lleva un espejo plano de 12 pulgadas (30.48 cms) de O.L. Petittidier (1853-1918), ingeniero óptico de precisión, así como el espejo metálico de Schroeder.

Las partes anteriores fueron encargadas a la alemana Carl Zeiss Jena en febrero, pero llegaron al Mt Hamilton en junio, cuando el equipo ya se había embarcado. Así y todo, se envió a España donde se completó en un tiempo mucho más corto que se había pensado dedicar a ese propósito. El soporte de las placas se movía con un pistón.

Las ligeras nubes interfirieron el paso de luz ultravioleta. Mientras que el registro podría llegar a 3200 el espectro observado es débil y solo se mostraron las líneas más intensas de esta región (Ca II H y K) (Figuras E-13 y E-14).

La dispersión del vidrio en UV es muy baja; la dispersión lineal de 3200 y 5200 no es sino 150mm para los dos prismas de 60° y distancia focal de la cámara de 2000 mm.

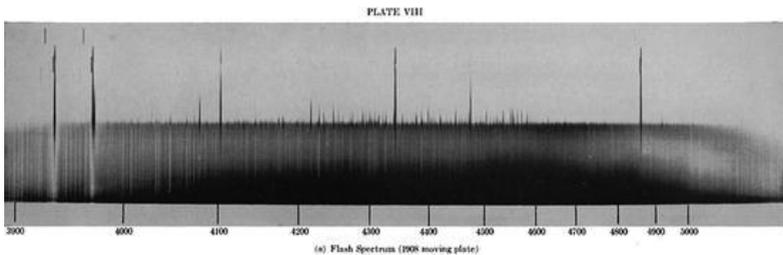


Figura E-13: Espectro flash, baja resolución, para el espectrógrafo de placa móvil. Se muestran líneas coronales fuertes en 3933.6 Ca II K y 3968.5 Ca II H. Archivo Mary Lean Shane, Lick Observatory

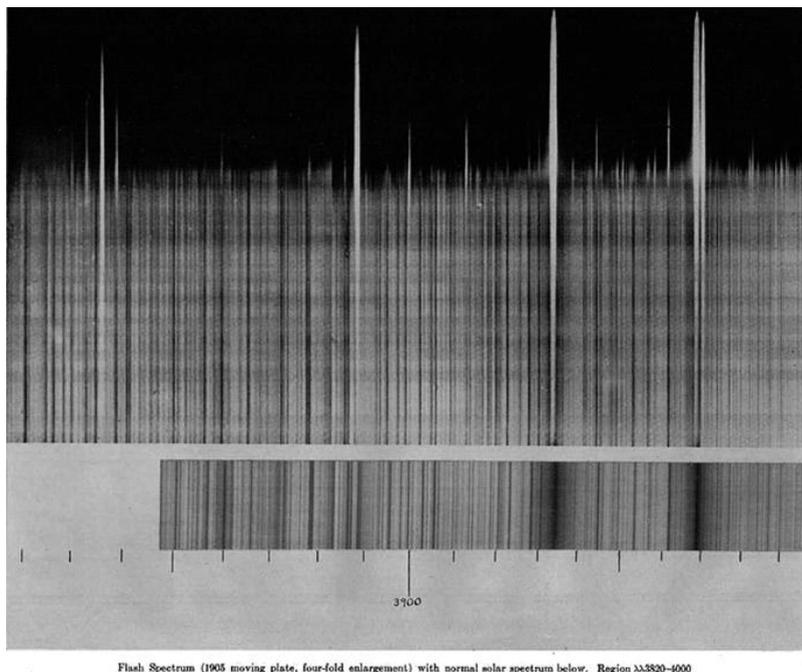


Figura E-14: Flash spectrum of 1905 total eclipse para el espectrógrafo UV de placa móvil. El espectro solar normal se muestra en la parte de abajo (3820-4000). Archivo Mary Lean Shane, Lick Observatory

El *Prof Hartmann* fue el encargado de observaciones con otro **espectrógrafo de prisma objetivo, con placas estacionarias**. El propósito era obtener una serie de fotografías del espectro variable del borde solar, flash spectrum, cerca de los tiempos del principio y final de la totalidad.

Los detalles ópticos están dados en Campbell y Perrine, 1906 pag. 25. El espectrógrafo recibía su luz de un celostato de espejo de 15 pulgadas, prestado por la Universidad de Yerkes. Se ajustó el instrumento para traer a la línea H γ (4341Å violeta) al centro de la placa.

Siguiendo las instrucciones de Campbell se intentó hacer la primera exposición varios segundos antes de la totalidad (líneas de absorción de la fotosfera) y empezar la segunda exposición tres segundos antes de la totalidad para registrar el espectro Flash. La llegada de la totalidad unos 17 segundos antes de lo previsto, pero Hartmann con un espectrógrafo de bolsillo se dio cuenta y realizó la primera exposición tres segundos antes de la totalidad. La relación de imágenes obtenidas fue la siguiente:

No 2: 0.4 segundos después de la totalidad

No.3: 60.0 segundos de exposición desde 0m12s hasta 1m12s

No.4: 120.0 seg, exposición desde 1m16s hasta 3m 16 s

No.5: 3 segundos después de la totalidad

Espectrógrafo de prisma objetivo con placas móviles.

Hemos visto que los tiempos de exposición en la zona de totalidad eran demasiado largos y podían ocultar variaciones temporales rápidas con una posible importancia para la física del proceso.

Campbell había propuesto que una simple adición al espectrógrafo de prisma objetivo permitía obtener esta variación temporal rápida para una corta longitud del limbo solar. El espectro habitual de capas invertidas consistía en una serie de crecientes, cada una de las cuales era una imagen de la porción no eclipsada del Sol.

El método consistía en lo siguiente: La ranura que recorría el espectro en el centro, estaba colocada casi en contacto con la placa fotográfica, permitiendo que una pequeña sección central de cada medialuna creciente cayese sobre la placa. Si se le daba a la placa un movimiento lento y continuo por medios mecánicos adecuados, una parte nueva de la placa se colocaba debajo de la ranura y el espectro cambiante se registraba de forma continua.

El instrumento confiado a S. Arrhenius (Estocolmo) fue equipado de la siguiente forma. Los dos prismas objetivos eran de vidrio flint denso, Jena No. 0.102, con ángulo de refracción, $63^{\circ} 27'.5$, longitud del borde refractario de 5.1 cms, y las longitudes de las caras 3.47 y 3.95 pulgadas, respectivamente. La lente triple tenía una apertura de 6.1 cms y una focal de 1.52 metros. La rendija a la

entrada del sistema óptico tenía una anchura de 0.13 cm y 24.1 cms de largo. El soporte de las placas se movía mediante un pistón hidráulico. La válvula de control se movía a una velocidad de unos 0.15 cms/segundo.

Una sesión que comprendía el final de la totalidad se terminó con éxito. Se contempló la transición desde las intensas líneas brillantes al alto nivel, a las líneas brillantes de la capa inversora al espectro ordinario de las líneas oscuras de la fotosfera. Se registraron cerca de 800 líneas espectrales en el intervalo entre 3800 y 5200 Å, con H γ en la parte central de la placa.

Espectrógrafo de red. En la Figura E-12 podemos ver detrás del espectrógrafo ultravioleta este instrumento, que recibía su luz del celostato superior de Lick.

Consistía en una red de Rowland, 14438 líneas por pulgada, ajustada en el tercer orden, recibía la luz y la devolvía a través de una lente de cámara (visual) de 2 1/8 pulgadas (5.6 cms) de apertura y 52 cms de focal, hacia una placa isocromática Cramer. El campo estaba centrado en la línea coronal en 5303 Å.

El objetivo de la observación durante la fase de totalidad era registrar el anillo verde, de cara a ver si la capa que emitía esa luz estaba distribuida uniformemente alrededor del Sol. Sin embargo, en parte debido a las nubes y en parte a la luz que se absorbía en el camino óptico, las imágenes eran muy débiles y poco se puede decir sobre el objetivo científico buscado.

El planeta intramercurial. Los europeos habían demostrado una clara ventaja sobre los estadounidenses, en lo que respecta al descubrimiento de planetas: Urano por W. Herschel en 1781 y Neptuno por J.G. Galle (1812-1910) en 1845 basándose en predicciones teóricas independientes del británico J.C. Adams (1819-1892) y el francés U. Le Verrier (1811-1877).

Durante el último tercio del siglo XIX los estadounidenses trataron de descubrir un nuevo planeta en el otro extremo del Sistema Solar, entre el Sol y Mercurio, al que en general se le adjudicó el nombre de Vulcano.

En 1859 el prestigioso Urbain Le Verrier se interesó en calcular el movimiento de precesión del perihelio de Mercurio y encontró que, sumando las perturbaciones ocasionadas por los demás planetas, éste debía ser de *574 segundos de arco por siglo*. Sin embargo, las mediciones demostraban que dicho valor era de *531 segundos de arco por siglo*. Esta desviación de 43 segundos le hizo sospechar que, al igual que ocurría con Urano, éstas se pudieran deber a las perturbaciones producidas por un planeta desconocido que orbitase más cerca del Sol que Mercurio, que quedaría oculto a nuestros ojos por la luminosidad del Sol o posiblemente un segundo cinturón de asteroides dentro de la órbita de Mercurio. Estos resultados los comunicó al público y a la comunidad científica en una conferencia el 2 de enero de 1860. La única manera posible de observar este planeta intra-mercuriano o estos asteroides era cuando transitaban el Sol o durante eclipses totales de Sol, como fue el caso de las observaciones de las tres misiones de Crocker.

Para ello utilizaron un telescopio de 3 pulgadas (7.6 cms) de apertura y 11 pies 4 pulgadas (3.46 metros) de focal (Figura E-15). La región a fotografiar cubría un área de 29 grados de longitud centrada en el ecuador solar. Los resultados fueron satisfactorios en cuanto al funcionamiento del equipo. Sin embargo, en 1905 ni una huella de Vulcano.



Figura E-15: El telescopio intramercutrial

En 1916, El físico alemán Albert Einstein publicó su Teoría General de la Relatividad, que explicaba las desviaciones de Mercurio sin la necesidad de invocar a un desconocido planeta intramercuriano; esta teoría nos dice que la causa de la precesión del perihelio de Mercurio es la curvatura del espacio causada por la masa del Sol.

En mayo de 1929, Erwin Freudlich (1885-1964) fotografió el eclipse total de Sol en Sumatra, y más tarde examinó cuidadosamente las láminas que mostraban una abundancia de estrellas. Se tomaron otras láminas de comparación seis meses después. No se encontró cerca del Sol ningún objeto desconocido más brillante que la novena magnitud. La idea de Vulcano se fue olvidando, aunque con algún resurgimiento esporádico.

Almazán (Soria)

Localidad escogida para situar la estación de observación del eclipse del equipo dirigido por el Prof W.A. Cogshall del Observatorio Kirkwood de la Universidad de Indiana en Bloomington.

El equipo se componía además de los estudiantes E. Slipher (1883-1964), E.A. Crull, C.J. Bulect y los profesores Kürsteiner, J.A. Steiner y J.A. Miller. Asistieron en las observaciones los locales F. Jodra, L. Nebot, V. Jiménez y E. Milla.

Durante el día del eclipse estaba nuboso, pero al iniciarse el evento se descubrió parcialmente el cielo, lo que permitió realizar algunas observaciones previstas (Ver Miller, 1906)¹⁰⁸.

- 1) Fotografía de la corona: Cuatro cámaras la mayor de 9 pulgadas de apertura y una distancia focal de 60 pies. El instrumento estaba montado horizontalmente y alimentado de luz por un celostato.

Las paredes exteriores e interiores del tubo eran de lienzo blanco y papel de construcción respectivamente, separadas

¹⁰⁸ Miller, J.A., 1906, Solar Eclipse of August 30, 1905, Astrophysical Journal 23, 93

unos 10 cms. Dicho tubo iba desde el objetivo a una cámara oscura en la que se exponían las placas. Todo el instrumento estaba cubierto por una tienda de lienzo blanco.

Los soportes de las placas se estiraron para formar un hexágono, que el operador podía girar en torno a un eje paralelo al de la Tierra. Se hicieron seis exposiciones con esta cámara desde 0.5, 2.0, 40.0, 60.0, 15.0 y 0.5 segundos de tiempo.

Las exposiciones más cortas, mostrando las protuberancias, sufrieron poco del paso de las nubes. Las exposiciones más largas con la cámara de focal larga y las de focal corta mostraron considerable detalle de la corona. Por otra parte, las que no fueron cubiertas por las nubes resultaron sobreexpuestas. La larga extensión espacial de la corona fue hasta $\frac{3}{4}$ del diámetro solar.

- 2) Búsqueda de un planeta intramercurial: Seis cámaras de 136 pulgadas de focal. El resultado negativo como muchas otras observaciones.
- 3) Fotografía del espectro flash

Daroca (Zaragoza)

El Observatorio Naval de Estados Unidos colocó dos de sus tres estaciones de observación en territorio español, en Daroca y Port Coeli (Figura E-16). La primera en el centro de la totalidad y Port Coeli en el borde. La Figura nos muestra la posición de ambas localidades en un mapa general de España.

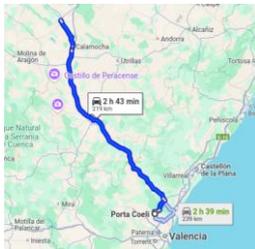


Figura E-16: Camino entre Daroca y Porta Coeli. Crédito: Google Maps

El contralmirante C.M. Chester (1844-1932), entonces director del Observatorio Naval organizó la expedición en tres barcos que salieron de forma separada de Estados Unidos: El US Minneapolis¹⁰⁹ con pasajeros desde Nueva York el 3 de Julio, el USS Caesar con carga desde Norfolk el 22 de junio y el USS Dixie desde Filadelfia el 26 de junio. Llegaron juntos a Gibraltar y de allí el Dixie siguió camino a Túnez, mientras que los dos primeros ponían rumbo al Puerto del Grao en Valencia (Chester, 1906, 1922; Mitchel, 1906)¹¹⁰. En el último trabajo Mitchel hace especial énfasis en el entorno social de la expedición¹¹¹.

En la localidad de Daroca se situaron el Professor Eichelberger (al frente de la estación) y E.I. Yowell del Observatorio Naval; Professor Bigelow, del US. Weather Bureau; Mr. Hoxton, de la Universidad Johns Hopkins. Se incluyeron también en el equipo diferentes técnicos y marineros (Figura E-17).

Varios años más tarde, en 1922, de US Naval Observatory publicó un extenso resumen (citado como PUNO22)¹¹² donde incluyen informes los encargados de los diferentes instrumentos.

El programa de trabajo incluía:

- A. Observaciones Meteorológicas por el Professor Bigelow, asistido por los marineros A.C. Boietz, E.G. Rickerd y T.I. Trainor. Contiene no solo los resultados en las tres estaciones sino también los recogidos por el USS Caesar en su travesía de América a Europa y a la

¹⁰⁹ Primer barco de guerra estadounidense que llegó a un puerto español desde el conflicto hispano-estadounidense en 1898, que supuso la pérdida de las últimas colonias como Cuba, Puerto Rico y Filipinas.

¹¹⁰ Chester, C.M., 1906, General Report of the 1905 Eclipse, US Naval Observatory, Second Series Vol. 10, pp B11-B13

Mitchel, S.A., 1906, *An eclipse expedition to Spain*, Popular Science 68, 1-18

¹¹¹ Por ejemplo, dedicó casi dos páginas a describir una corrida de toros en Valencia, de las que se celebraron durante su estancia. También dedica espacio a las relaciones con el pueblo valenciano. Ambas partes trataron de vencer la barrera idiomática con cortesía y buenas maneras.

¹¹² Donnell, W.D. (coordinador), 1922, *Total Solar Eclipses of August 30, 1905, and June 8, 1918*, Publications of US Naval Observatory 10B

vuelta. Están incluidos en PUNO22 desde la página 219 hasta el final.

Eclipse: Según Mitchel (1906): *“A las 11.52 a.m. se vio una pequeña sombra en el borde oeste del Sol: el eclipse había comenzado. Los cielos estaban claros con alguna nube aquí y allá. Durante la primera hora de movimiento de la Luna sobre el disco solar, poco se puede decir. Veinte minutos antes de las 13:12 empezaron a verse fenómenos que calificaríamos como no normales. Sin necesidad de mirar el Sol uno podía darse cuenta que algo estaba pasando. Diez minutos antes de la totalidad un silencio se impuso entre los asistentes cuando una nube grande se desplazó hacia el Sol. El momento duró solo cinco minutos que parecieron una eternidad.*

Quince segundos antes del tiempo calculado, la corona apareció. ¡¡Qué magnífica visión con su pálida luz perlada!! Según las predicciones, la corona tenía una forma casi cuadrangular, con sus haces (streamers) extendiéndose unos cuantos diámetros solares. Durante los primeros 30 segundos el silencio era tan grande que se oía claramente al contador de segundos y cuando se iniciaba y terminaba la exposición de una placa fotográfica”.

El Gobierno Español había puesto a nuestra disposición una estación telegráfica y así pudimos enterarnos que en Alhama, a unas 50 millas, el equipo del Lick no había tenido tanta fortuna como nosotros.

- B. Fotografías de la corona: Siete fotografías de la Corona con la cámara horizontal de 40 pies, fueron tomadas por Mr. *Hoxton* con los siguientes tiempos de exposición: 0.5, 2s, 5s, 45s, 120s, 5s e instantánea.

Estuvo asistido por B. Paks y H.G. Downs.

H. R. *Insley*, US. N.O., obtuvo tres con la cámara de 12 pies y exposiciones de 5s, 70s y 10s.

E. W. *Chafee*, US. N.O, también otras tres con la cámara Dallmeyer de 36 pulgadas y exposiciones de 5s, 70s y 40s.

Fotografías de la corona por Yowell

C. Espectroscopia solar: Mitchell (1906b; 1913)¹¹³.

Se emplearon cinco espectrógrafos, tres de red y dos de prisma.

Las placas fotográficas se revelaron en el colegio de Daroca, asistido por el rector de la comunidad, Padre Félix Alvarez. Los resultados fueron los siguientes:

Red parabólica: El espectrógrafo fue utilizado sin rendija y consistía en una red de Rowland sobre una superficie parabólica y una placa fotográfica. Se situó horizontalmente con la luz suministrada por un celostato. La red tenía 4 pulgadas de diámetro con 14.438 líneas por pulgada y una focal de 5 pies. Las exposiciones fueron tomadas por A.G, Howe del USS Minneapolis. La definición fue muy buena y el flash se extendió desde la Na D3 hasta 3300. Asistentes fueron los timoneles B. Stelting y R.H. Sherwood.

Red plana: Se utilizó para datos en la zona roja del espectro electromagnético. Se utilizó una red Rowland de 6 pulgadas con 15000 líneas por pulgadas. La luz fue reflejada por el celostato y enfocada sobre la placa por una lente. Seis placas en paralelo fueron montadas en cada soporte. Estuvo a cargo de S.A. Mitchell asistido por los marineros P. Gaffney y G.J. Taylor.

Información sobre la determinación de la longitud de onda de las líneas, sus intensidades e identificaciones se puede ver en PUNO22 (páginas 35 a 115) y en Mitchell (1913).

¹¹³ Mitchell, S.A., 1906b, *Preliminary Account of Flash Spectra taken August 30*, Monthly Notices Royal Astronomical Society 66, 326-330
 Mitchell, S.A., 1913, *Wavelengths of the chromosphere from spectra obtained at the 1905 eclipse*, The Astrophysical Journal 38, 407-495

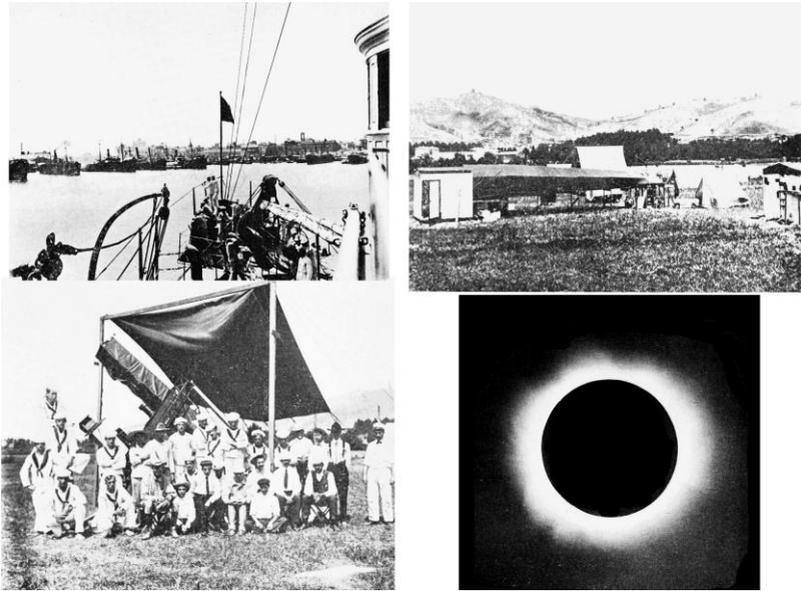


Figura E-17: Mosaico de fotografías del equipo ubicado en Daroca: (Arriba izquierda); El USS Minnesota entrando en el puerto de Valencia, (Arriba derecha) Una vista hacia el norte de la zona del Observatorio, (abajo izquierda) Grupo de observadores y asistentes en Daroca, (Abajo derecha) Fotografía de la corona solar por W.W. Divinwidle con un tiempo de exposición de 82 segundos

Porta Coeli (Valencia)

Segunda estación de observación cercana al pueblo de Bétera (Valencia). Se encontraba situada a unos 400 metros del monasterio de una Cartuja, a unos 300 metros de altura, anteriormente hospital para tuberculosos. El propietario, Francisco Carbajosa, cedió los terrenos junto con una casa para cazadores que se utilizó como almacén para diferentes necesidades (Figura E-18).

La familia Carbajosa y sus criados se alojaban en este viejo monasterio y aquí encontrarían alojamiento parte de los americanos. Cerca de donde se encontraban los dormitorios, estaba la posada de Celestino Navarro, donde comieron los primeros días, hasta que tuvieron su propia cocina en el campamento. El agua era transportada desde el monasterio y toda la vajilla llevaba el escudo de los Estados Unidos.

Importante fue el servicio prestado por el Duque de Bivona, Director General de Telégrafos de Madrid, al extender una línea telegráfica desde Valencia hasta la estación del eclipse y a los señores José Vilches y Elíseo Gil Delogo, telegrafistas oficiales, que estuvieron en constante asistencia durante la última semana. El Sr. H. A. Johnson, cónsul en Valencia, con su ayuda, contribuyó mucho al éxito de la expedición.

F.B. Littell y E.E. Hayden (1858-1932) compartieron la dirección del grupo. Entre sus miembros podemos citar a G.A. Hill, asistente de astronomía, G.H. Peters fotógrafo, J.A. Anderson de la Universidad John Hopkins. D.R. Carrión, de origen puertorriqueño, fue el intérprete de la expedición. En total el grupo llegó a tener hasta 50 personas.

Durante la fase de preparación los trabajos se iniciaban a las 6 de la mañana hasta las 12, reanudándose a las 14 para concluir a las 19 horas.



Figura E-18: Fase de preparación de las instalaciones

El día del eclipse en la plaza de la Cartuja se concentró la mayor parte de la gente como si se tratara de la Plaza del Ayuntamiento de Valencia un día de Mascletá.

Incluso, vendedores ambulantes pregonaban rosquillas, refrescos, aparatos de vidrio y celuloide para poder contemplar el Sol. De nada habían servido las indicaciones en la prensa valenciana, aconsejando no dirigirse el día del eclipse al observatorio, para así, salvaguardar la tranquilidad de los científicos.

Agentes de la Guardia Civil de Bétera, eran los responsables de que la estación astronómica no fuera invadida, estaban preparados para cuando llegara el momento, hacer respetar el silencio necesario para facilitar el trabajo de los científicos americanos. Después del desayuno, en la instalación americana, se desalojó el campamento de visitantes, comenzaban los preparativos (Grande Ballester, T)¹¹⁴.

La totalidad tuvo una duración de 106 segundos en los que la corona solar ofreció toda su grandiosidad, breves momentos mientras que los científicos aprovecharon para utilizar sus instrumentos para los programas planeados (Figura D-19).

G. H. Peters, fotógrafo del Observatorio Naval, obtuvo siete fotografías de la corona con una cámara de 65 pies de focal y tiempos de exposición de 2, 3, 35, 5, 15, 3 y 28 segundos. Se había procedido a comprar la cámara con una abertura de 7.5 pulgadas. La imagen tenía un diámetro de 7.47 pulgadas. El resultado durante las pruebas y las observaciones fue excelente. Con estas dimensiones no fue práctico mirar directamente al Sol, sino con un celostato de espejo plateado en el camino óptico.

Durante el contacto, fase parcial del eclipse, se expusieron 4 placas de 10 pulgadas de lado. A pesar de la lentitud de la emulsión era inevitable tener alguna sobreexposición, con lo que se redujo la

¹¹⁴ Grande Ballester, T., *Eclipsi solar de 1905 a Bétera. L'Observatori America de Porta Coeli*, Centro de Estudios Locales de Bétera.

apertura a 4.25 pulgadas con un diafragma temporal para esta fase del programa.

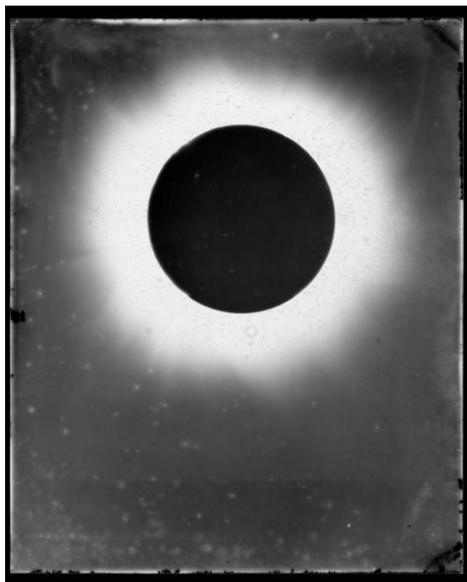


Figura E-19: Imagen de la corona obtenida por G.H. Peters con el telescopio de 65 pies de focal.

Se expuso una serie de cinco placas para el último contacto cerca del final de la fase parcial del eclipse. Se pretendía comenzar las exposiciones de esta última serie aproximadamente un minuto antes del cuarto contacto.

Debido a un malentendido con respecto a la señal dada desde el exterior en cuanto al momento de inicio, esta serie se puso en funcionamiento aproximadamente dos minutos antes para asegurar los mejores resultados.

Por su parte G.A. Hill, astrónomo asistente obtuvo cuatro con la cámara de 104 pulgadas (2.64 metros) y tiempos de exposición de 5, 10, 40 y 22 segundos (Figura E-20). En sus notas escribe que las Perlas de Baily se vieron estupendamente en el segundo contacto. Llegada la totalidad se pudo ver un grupo de protuberancias extendiéndose unos 20° a lo largo del borde solar.

Para mi sorpresa solo una pequeña parte del grupo era de color rojo intenso.

Cuando pasó la totalidad el Sol no estalló en luz, como en el último eclipse, sino que fue un rato brillando a través del espacio entre dos montañas lunares. En ese momento cerré el disparador de las placas.

El comandante Hayden dijo enseguida STOP.



Figura E-20: Fotografías de la corona solar con distinto tiempo de exposición

En el eclipse de 1905, la corona presentó las características típicas que asume cuando se la observa cerca del período de máxima actividad solar.

Los rayos polares bien definidos y las extensas alas ecuatoriales, el tipo coronal que prevalece en el mínimo de manchas solares, estaban ausentes. El eclipse, que ocurrió en el período máximo de actividad solar, la corona consistía en alas y serpentinas de intensidad casi igual en toda la circunferencia solar. Los rayos polares, aunque todavía conservaban sus características generales y se distinguían como tales, estaban muy intensificados.

La estructura de estos rayos polares estaba parcialmente oscurecida por el entrelazamiento con otra materia coronal que se originaba cerca de ellos, y toda la corona mostraba enfáticamente el efecto de un aumento de las fuerzas emanantes y directivas en comparación con las del período mínimo de manchas solares. La

corona había adoptado así la forma general que se había predicho para ella.

De la experiencia obtenida en los eclipses anteriores se vió conveniente ampliar la focal del ftoheliógrafo de 40 a 65 pies (Figura E-21). Además, se consideró conveniente juntar las observaciones de cromosfera y corona en un mismo foco. Para ello se diseñó una lente de 7.5 pulgadas por Dr. Charles S. Hastings del Sheffield Scientific Department de la Universidad de Yale. La lente se recibió en el Observatorio Naval en la primavera de 1905. Se montó temporalmente para probarla, con Sol, antes de mandarla a Porta Coeli. Su funcionamiento durante el eclipse fue excelente.



Figura E-21: Ftoheliógrafo horizontal con 65 pies (20 metros) de focal, y el espectrógrafo en su preparación en PortaCoeli

Su principal aplicación fue la observación de las protuberancias en el borde solar, que se compararon con las obtenidas en otros lugares del camino de totalidad del eclipse.

El espectrógrafo de Porta Coeli consistía en una red cóncava de 6 pulgadas con un radio de curvatura de 21.5 pies y una resolución de 15,000 líneas por pulgada y fue prestado por la

Universidad John Hopkins. J.A. Anderson de dicha institución lo manejó durante el eclipse.

Se preparó para su uso con luz paralela reflejada desde uno de los espejos de un celostato de la manera habitual, empleándose el espectro de primer orden. Se utilizaron dos portaplacas, cada uno con tres películas ortocromáticas de Seed de 2 x 24 pulgadas. La región del espectro cubierta fue de λ 3000 a λ 5900 aproximadamente.

Cientos de líneas fueron identificadas pertenecientes a las distintas capas de la atmósfera solar observadas en un eclipse: Fotosfera, Cromosfera y Corona. Están listadas desde la página B-160 a la B-171 del informe global PUNO22. Es de destacar el límite tan bajo al que se llegó en ultravioleta (3200 Å), lo mínimo que se puede observar desde la superficie terrestre.

Asturias

Región por la que entró la línea del eclipse en la Península Ibérica. Antes del eclipse se distribuyó gratuitamente un folleto redactado por el catedrático de la Universidad de Oviedo, E. Fernández Echavarría, con información básica sobre el evento.

Recordamos aquí lo básico sobre los contactos de los discos del Sol y la Luna. Como la Luna no se ve antes del eclipse, el primer contacto es muy difícil de observar pues a pesar de conocer la hora, no se nota hasta que el disco de la Luna ha mordido más o menos al del Sol. Si asimilarnos el disco solar a una esfera de reloj correspondiendo las 12 al punto más alto de ella, podemos decir que el punto del primer contacto será aproximadamente para toda España, en el punto en dicha esfera que corresponda a las dos menos cuarto.

Las localidades que la línea central atraviesa o bordea, a su paso por Asturias, son sucesivamente Cartabio, Navia, Anteo, Naranal, Villatresmil, Castañedo, Belmonte, Villabre, Proaza, Borzana, Lena, Felguera, Campomanes y Puente los Fierros; y por la provincia de León: Piedrafita, Redipuerta, Vegamián, Valdoré, Salero y Mogrovejo.

La principal estación de observación estuvo en el Colegio de la Inmaculada Concepción (PP. Jesuitas) en Gijón (Figura E-22). Si de algo se disponía era de material para las observaciones meteorológicas. Pluviómetros en el suelo y torreón del colegio. En este lugar anemómetro y veleta. Ya cerca del lugar de observación, termómetros de máxima y mínima, psicrómetro de August e higrómetros de diferentes clases.

Una de las principales tareas a acometer fue la construcción de una montura ecuatorial. Todos quedaron sorprendidos del ingenio y la intrepidez de Francisco Fernández Rúa utilizando los talleres del colegio. A esa montura iba a disponerse las cámaras fotográficas, alguna con una distancia focal grande

Del dibujo a simple vista de la corona (Figura E-23) se encargó el pintor Ventura Alvarez Sala, del espectroscopio el farmacéutico Nicolás E. Ozalla y de las cámaras fotográficas y su montura Francisco Menéndez Rúa (Figura).

De los cinco anteojos que el colegio poseía, solo dos ofrecían alguna garantía. La lente de uno de ellos fue adaptada a una caja de madera, formando una cámara fotográfica de metro y medio de focal.



Figura E-22: Grupo de observadores de los PP Jesuitas de Gijón.

El día del eclipse por la mañana las perspectivas eran muy malas: lluvia y cielo cubierto. Sin embargo, a las 11h45m cesó la lluvia y se dio orden de comenzar con las observaciones meteorológicas. Diez minutos más tarde las nubes se rompieron en otras más pequeñas y se decidió iniciar el programa. Diez segundos antes de la totalidad el silencio era imponente y solo se oía la voz del padre contando los segundos.

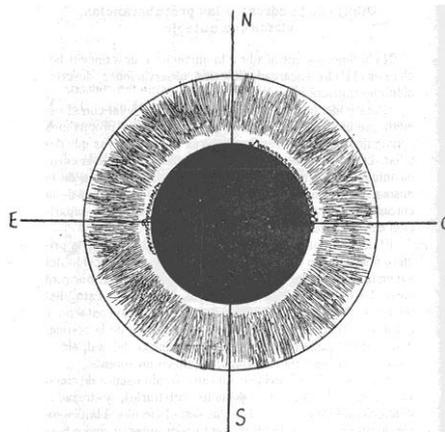


Figura E-23: Dibujo de la corona y las protuberancias (bordes O y E).

Se empezaron a obtener fotografías con distintas exposiciones (Figura E-24). No había tiempo para el descanso. Unos dibujando la corona solar, aquél con su espectroscopio, otros atisbando la aparición del primer rayo del Sol, varios en las máquinas fotográficas etc. hasta que un anuncio señaló el tercer contacto y la desaparición de la corona.



Figura E-24: Observaciones de la corona solar desde Gijón, con tiempos de exposición de 5, 8 y 10 segundos.

Carrión de Los Condes (Palencia)

Vista la zona de totalidad el P. Ricardo Cirera Salse (1864-1927), director del Observatorio del Ebro de la Compañía de Jesús, propuso realizar observaciones desde sus instalaciones de dicha zona siguiendo la conexión de la Orden de San Ignacio con la Ciencia, y en concreto con la Astronomía. Así se dio orden al Director de la Sección Astronómica de Granada P. José Mier y Terán, S. J., de preparar los trabajos y determinar las observaciones que podían llevarse a cabo.

En el Seminario Menor de los Jesuitas, en Carrión de los Condes, situó su estación de observación la Sección Astronómica del Observatorio de la Cartuja, en Granada.

Se invitó al Director del Observatorio de Kalocsa en Hungría, célebre observador de protuberancias y manchas solares, P. Gyula Fényi, S. J. (1845-1927), para que viniese a observar el eclipse a España, ya que él no pensaba en organizar una expedición por parte de su Observatorio. Con gusto aceptó la oportunidad, a la que se unió el suizo T. Angehrn, S.J. de la Universidad de Viena. Ver Mier y Terán (1905)¹¹⁵ para un resumen.

¹¹⁵ Mier y Terán, J., S.J., *Eclipse Total de Sol del 30 de agosto de 1905: Observaciones hechas en Carrión de los Condes (Palencia)*, Tipografía de López Guevara, Granada

Diversas cámaras fotográficas fueron construidas en los talleres del Colegio granadino de Cartuja aprovechando los espectroscopios del Observatorio, distintas piezas ópticas y accesorios del Gabinete de Física.

En lo que respecta a las compras, se encargó al constructor J. H. Steward, de Londres, una montura ecuatorial (1) capaz de llevar cuatro cámaras, y un celostato con espejo de 203mm (2). A la casa de Leybold's Nachfolger de Colonia (Alemania) se hizo el pedido de un prisma y objetivo de cuarzo y una colección de chasis necesarios para los aparatos fotográficos, cuatro de los cuales, los espectrográficos, habían de llevar corredera (Figura E-25 y E-26).

El P. Julián Zabala, con algunos Hermanos de la comunidad, se hizo cargo desde el principio de la sección meteorológica, y ya desde el día 16 de agosto hasta el 30 inclusive llevó con regularidad su diario de cuatro observaciones, tomada una de ellas a la hora en que aproximadamente se debía verificar la totalidad del eclipse.

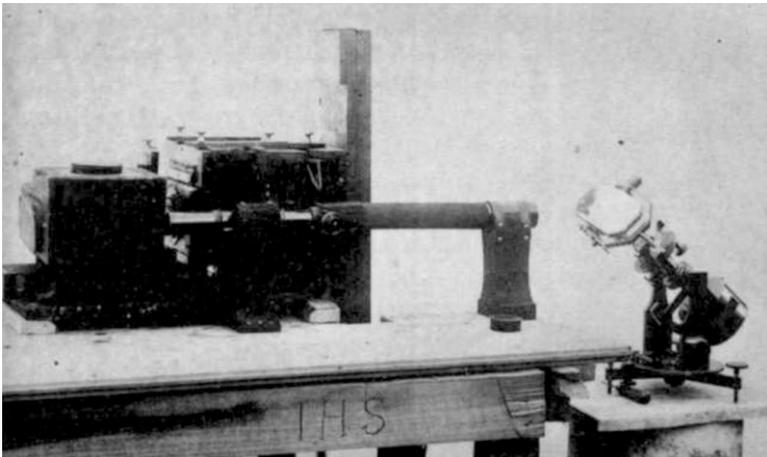


Figura E-25: Espectrógrafo alimentado con un helioestato.



Figura E-26: Disposición azimutal de las cámaras prismáticas y el coronógrafo de 2.20 metros con el celostato. Página 37 del informe del director de La Cartuja.

Como entre las cámaras prismáticas servidas por el espejo mayor del celostato hubo suficiente espacio para un prisma de reflexión total. Este tipo de prisma se utiliza para cambiar la dirección del rayo incidente 90° . Dos de los ángulos tendrán 45° y el otro 90° , con lo que podremos aplicar la ley de los catetos y la hipotenusa. Apuntando a una de sus caras catetos y en ángulo recto con el haz de rayos reflejados por el celostato, se pudo colocar, momentos antes de principiar el eclipse, un magnífico espectroscopio de visión directa sin rendija ni lente colimadora, convertido en cámara prismática visual. De esta forma el Director de la Comisión granadina había de observar las fases del espectro y hacer las señales convenientes.

Seguimos de esta forma la secuencia de las observaciones del eclipse. Apacible en verdad y espléndida fue la noche del 29 al 30 de agosto. Ni la más ligera nubecilla empañaba el oscuro fondo

del cielo donde centelleaban con notable brillo Saturno, Vega de la Lira, Altair y la Cabra. A las cinco de la mañana unos cirros muy tenues empañaban el fondo azul del cielo por la región del Norte. A las siete y media dos columnas de estrato-cúmulos se dirigían lentamente desde el Oeste en dirección del sol. A poco el cielo comenzó a aborregarse de Oeste a Este y a inspirar serios temores. Nuestra primera diligencia entonces fue dirigir los aparatos movidos por relojerías hacia el Sol y que con frecuencia nos era arrebatado por las nubes.

Pasadas las once se rompieron afortunadamente las nubes por la región del cielo donde se encontraba el Sol, lo suficiente para poder observar con toda comodidad el inicio del eclipse

Primer contacto. Se observó por proyección previamente orientada según el ángulo de posición teórica del primer contacto. Trascurrido el principio del eclipse parcial, se retiró el aparato de proyección.

A las 12h 1m 45seg paso por el meridiano del borde no eclipsado del sol. Se da en este momento la señal para la hora. Se corrigen cronómetros y relojes.

A las 12h 15m señal para chasis y linternas.

A las 12h 20m entran las distintas secciones y se colocan en sus puestos.

Al decir «u...no» el P. Sola, nos vimos envueltos en la sombra que no era tanta como se pensaba, se oyó la campanada que marcaba el comienzo de la totalidad. Vióse completo ya el negro disco de la luna rodeado de la bellísima corona solar, y pudimos admirar a través de nuestro espectroscopio el incomparable fenómeno del espectro «relámpago», gritando al propio tiempo «¡flash!»

Nuevas exposiciones en el espectrógrafo pasada la fase total, y un cuarto de hora para escribir brevemente algunas notas sobre los fenómenos observados.

A las 13h 40m se prepara de nuevo la proyección para observar el 4° contacto.

Cuarto contacto y fin del eclipse.

Corona: En la Figura E-27 vemos una secuencia de imágenes de las diferentes fases del eclipse. Con el cronógrafo de 0.09 metros de abertura y 2.20 de focal se obtuvieron catorce placas.

La número 1 se obtuvo a 1 segundo de la totalidad. Las 2 y 3 no se pudieron utilizar.

En la No. 4, lám. X, con gran claridad¹¹⁶ aparece el hermoso grupo de protuberancias orientales, y dos hacia el Sur. De la corona solo se ve la interior.

El cuadrante SE es por extremo interesante: se observan hasta ocho arranques de la corona que se extienden un tercio de radio lunar, y que lejos de ser rectilíneos, se encorvan a uno y otro lado, como si partiesen del mismo punto. Uno de estos penachos tiene por base dos protuberancias muy pequeñas y de escasa elevación, hacia el S.

El negativo Número 5 muestra los mismos grupos de protuberancias un poco menos elevadas sobre el borde lunar, la corona interior más extensa en los cuadrantes SE y SW.

El No. 6 es el más hermoso negativo que obtuvimos de la corona, y de él sobre todo hemos tomado los datos principales del estudio fotográfico a realizar¹¹⁷. Se muestra en él la corona más extensa que en ningún otro, y sin perderse en gran parte los detalles de la interior, se prolongan las radiaciones de la exterior particularmente por el N. El mayor de los rayos se encuentra en el cuadrante NW y alcanza a un diámetro lunar, los que más se extienden después de éste no bajan de radio y medio.

En el cuadrante SE se observan los mismos penachos encorvados que han impresionado fuertemente la placa: bordean el

¹¹⁶ Los pormenores que aquí damos se refieren a los negativos originales; pues como es bien sabido, es imposible que queden fielmente reproducidos en el grabado.

¹¹⁷ Esta es la única imagen que en la lámina X se encuentra orientada. Las demás conservan la inclinación que el celostato da a la imagen en un antejo horizontal, o sea que en ellas la línea E- W forma un ángulo con el borde inferior de la placa, suponiéndolo horizontal, igual al complemento de la latitud del lugar.

mismo limbo lunar las mismas protuberancias ya próximas a quedar ocultas.

El Número 9 por su poca exposición nos dio tan solo la corona interior con sus más interesantes pormenores. Se ven en efecto en el cuadrante SE los mismos arranques de la corona que en la placa No. 4, delicadamente dibujados y torcidos a una y otra parte. Las dos principales expansiones australes de ancha base, así como los dardos occidentales y el brillante rayo NW se observan iniciados.

Muy poco se obtuvo en el negativo Número 010 por falta de exposición. Solo se ve definida en lo posible y bien impresionada la protuberancia occidental de mayor altura.

Abunda en pormenores de la corona interior el negativo No. 011, sobre todo en la región occidental que, como es claro, impresionó más la placa por estar ya avanzada la totalidad y próximo a aparecer el arco cromosférico de este lado.

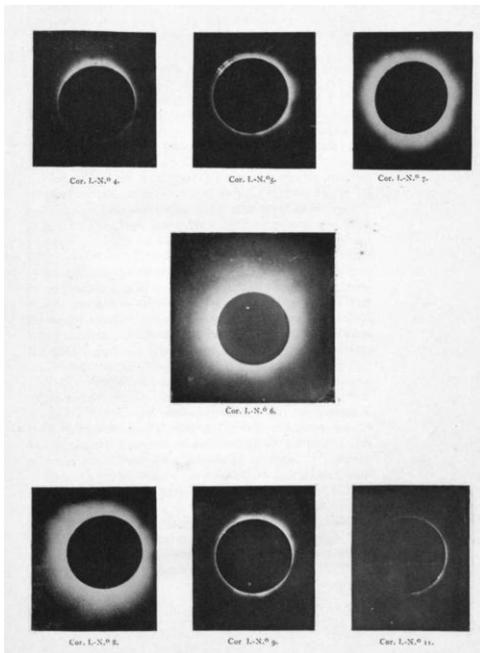


Figura E-27: Secuencia de imágenes del eclipse.

Rodeada como estaba la corona solar por los alto-cúmulos, no fue posible ni observar en toda su extensión las radiaciones y penachos mayores, ni mucho menos precisar su posición visualmente. Apareció en efecto para todos los que se habían dispuesto a observarla, bien con anteojos, bien a simple vista, como un anillo luminoso muy brillante en su interior y del cual partían en dirección radial, siguiendo todo su contorno, brillantes saetas de elegante forma que se perdían entre las nubes. A decir verdad, solo pudo observarse visualmente la corona interior.

Espectroscopia solar: A las 12h 40m se obtuvieron primeras exposiciones en el espectrógrafo para obtener el espectro normal de comparación casi en igualdad de temperatura.

Eclipse total: Con nuestro espectroscopio y transcurridos algunos instantes, vimos netamente la primera inversión de los cuernos de las guadañas (falces/hoces) con las líneas de Fraunhofer, señal de que se hacían sensibles ya los gases de la cromosfera y con ellos la inminente totalidad.

«¡Veinte!» exclamamos entonces, y siguió el P. Sola, (diecinueve..., etc.). Contando los veinte segundos estábamos, cuando todos oímos el silbato que desde la torre nos anunciaba la llegada del cono de sombra al valle de Carrión. Nosotros pudimos admirar a través de nuestro espectroscopio el incomparable fenómeno del espectro «relámpago», gritando al propio tiempo «¡flash!»

Cinco hermosas protuberancias apiñadas en el cuadrante NE, cual otros tantos rubíes, llamaron desde luego nuestra atención (Figura E-28): a pesar de lo avanzado de la totalidad, aún rebasaban el contorno lunar de azabache y ya estaba apareciendo otra diametralmente opuesta a las primeras y encorvada hacia el N, según nos pareció

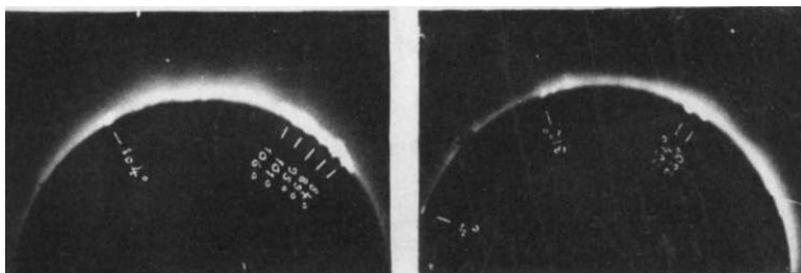


Figura E-28: (Izqda.): Protuberancias orientales y (derecha) protuberancias occidentales

El segundo espectro “relámpago” más bien lo adivinamos que lo vimos. Una nube más densa se había interpuesto al terminar la totalidad, cuyo fin lo anunció con algún retraso la campana, al verse el primer rayo de luz fotosférica que trifurcado y con bellos cambiantes brotó de entre las nubes, tiñéndolas con los arrebolados colores del espectro.

¡La totalidad había pasado!

Cistierna (León)

Un grupo de astrónomos franceses escogió la localidad leonesa de Cistierna como su estación de observación del eclipse. En León la previsión era que el eclipse durara desde las 11h 28' 24" a las 13h 9' 30" y la ocultación total desde las 12h 48' 48" a las 12h 52' 18", es decir 3 minutos y 30 segundos.

A Cistierna llegaron representantes de los observatorios astronómicos de París y de Toulouse, con cinco vagones repletos de material. Para informar al mundo con detalle de los pormenores de esta expedición estaba Don Mariano Domínguez Berrueta (1871-1956), que escribió una estupenda crónica para la revista *La Ilustración Española y Americana* que apareció publicada en su número del 8 de septiembre de 1905 y que hemos leído reproducida en la publicación de 2008 *El León curioso*.

Al frente de la misión astronómica de Cistierna, vino a España el Profesor Pierre Puiseux (1855-1928), astrónomo titular del Observatorio de París, y profesor de Astronomía Física en la Universidad de la Sorbona. El director del Observatorio de Madrid, Francisco Iñiguez (1853-1922), le recomendó Cistierna como un lugar adecuado.

El grupo más importante era el de espectroscopia formado en torno a Pierre Hany. Entre ellos citaremos a monsieur Bouty, profesor también de la Universidad de París; Mr. Gautier, constructor de aparatos de Astronomía; Mr. Baillaud, director del Observatorio de Toulouse, y el joven Baillaud, del Observatorio de París, ayudante de Hamy.

En la instalación próxima estaba A. Lebeuf (1859-1929), director de Besancon y profesor de la Universidad. Adscrito a la instalación de Besancon estaba el activo Mr. Chofardet, joven astrónomo, que tan pronto aparecía estableciendo una estación meteorológica como anotaba en su carnet los datos de la meridiana, o salía apresuradamente de la que llamábamos “maison magnetique”, de observar el declinómetro; y entre estos trabajos y los muy serios del telégrafo para corregir la hora en comunicación con Madrid, aún le quedaba un rato para revelar fotografías en una cocina que, en el alojamiento de Lebeuf, había transformado en laboratorio de fotografía.

En la figura mosaico E-29 podemos ver algunas muestras relevantes de lo que hemos mencionado con anterioridad. Desgraciadamente todo se frustró con las gotas de agua de una lluvia fina que de la montaña de Cistierna bajó en los momentos preciosos del eclipse: todo quedó en sombras tras aquella inolvidable nube, que delante del sol fue para nosotros el fracaso.

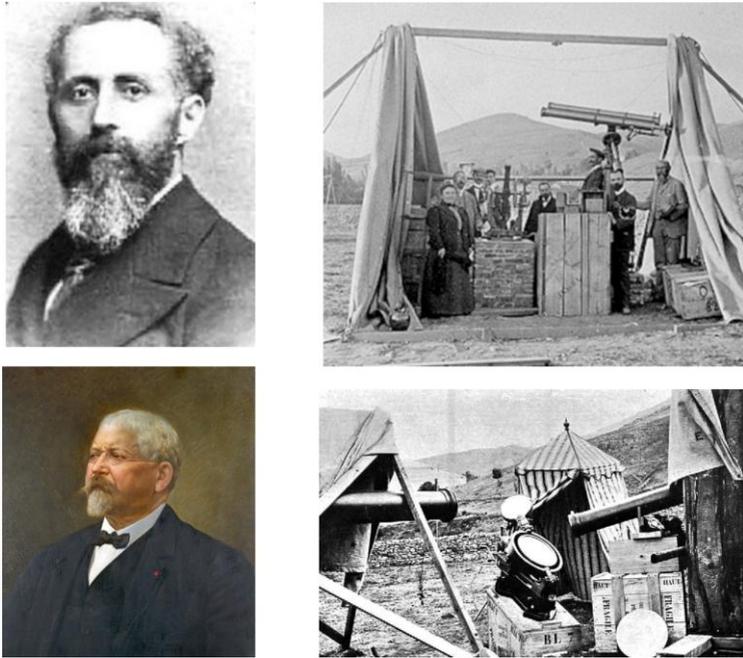


Figura E-29: Mosaico de observaciones del grupo francés. (Izquierda Arriba) P. Puiseux y (Izquierda abajo) A. Lebeuf; (Derecha) grupo de observadores y sistema de observación para espectroscopia: Pierre Hamy, con los celostatos y los espectrógrafos.

Torreblanca (Valencia)

En Torreblanca, localidad de la Comunidad Valenciana, construyó su observatorio una comisión italiana, en una noria de un huerto de naranjos, situado a las afueras de la población. La expedición la constituían el Dr. Guglielmo Mengarini (1856-1927), catedrático de la Universidad de Roma y director de la expedición, comisionado por el Gobierno Italiano, para entregar al profesor Janssen la Cruz y el Collar de la Orden de Víctor Manuel, Sra. de

Mengarini, doctora en Ciencias Naturales y Costa, profesor de Roma, ayudante del Dr. Mengarini.

Vinieron a fotografiar los colores simples del Sol, para ello llevaban un telescopio ecuatorial en el que habían sustituido el objetivo por cuatro objetivos de cámara fotográfica, para obtener simultáneamente cuatro imágenes del Sol, a través de los cristales de los respectivos colores, blanco, rojo, amarillo y verde. Los obturadores se reunían en un teclado donde cada tecla correspondía a un color; como decía el periodista, un piano de colores solares.

El barco *Ortona* se dedicaba a transporte de pasajeros entre diferentes puertos europeos. Consciente del eclipse, llegó a Gibraltar desde Inglaterra a primeras horas del 29 de agosto. Poco después partió hacia Torreblanca en Valencia para llegar a tiempo para que los pasajeros contemplasen el eclipse y seguir su singladura en el Mediterráneo. Entre el pasaje iban varios científicos británicos como Arthur Rucker (1845-1915) de la Universidad de Londres.

La Figura E-30 muestra el dibujo de la corona durante el eclipse, mezzotinta en papel, de Frederick G. Dawtrey Drewitt (1848-1942) desde la cubierta del Ortona.

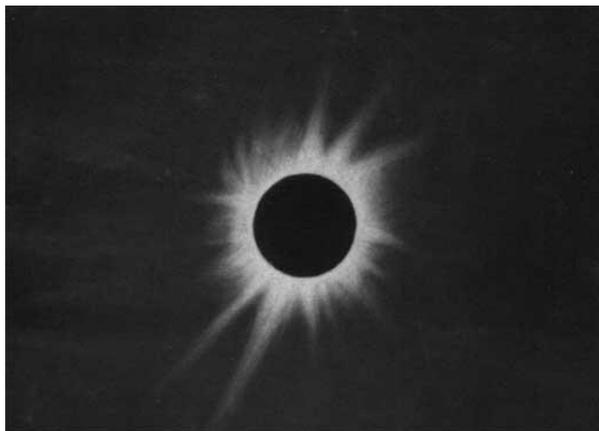


Figura E-30: La corona solar desde la cubierta del Ortona.
Crédito: Royal Astronomical Society

Alcalá de Chisvert- Alcossebre (Castellón)

Localidad situada en la provincia valenciana de Castellón. Se podía alcanzar por tren desde Francia con varias paradas intermedias y las lógicas dificultades. Como primera expedición quisiéramos citar primero al francés Conde Aymar de la Baume (1860-1938), un astrónomo independiente, pero ya con experiencia en otros eclipses también autofinanciados. Estaba asistido por Fernando Baldet (de 20 años de edad) y de Albert Senouque (de unos 23).

El español José Landerer (1841-1922) le recomendó el lugar, donde el monasterio franciscano le proporcionó un lugar para su equipo (en las celdas), sus instrumentos (en el jardín) y además unas paredes que aislaban a su equipo de la curiosidad local.

De la Baume trajo consigo toda una colección de instrumentos para observar el eclipse (Figura E-31): dos celostatos para espectroscopia, un teodolito para medir con precisión las coordenadas de Alcalá y fijar la orientación de los pilares, un ecuatorial con una distancia focal de 12 metros para fotografiar la corona solar y una cámara para placas fotográficas de 40x40 cm. También llevaba material para tiendas de campaña, herramientas, placas y portaplásticos, material para tratar y revelar las placas, un fonógrafo para utilizar como reloj parlante durante el eclipse, libros, ropa... todo ello en unas veinte cajas.



Figura E-31: Instrumentos del Conde de la Baume en el jardín del Monasterio



Figura E-32: Astrónomos franceses en Alcalá rodeados por la curiosidad local

El conde y los jefes de otras dos expediciones a Alcalá, M. Simonin (1863-1938), P. Colomes y S. Javelle (Observ. Niza)¹¹⁸ y N. Donich (Observ. Pulkovo) se alojaron en casa de un habitante español acomodado de la villa, aunque utilizaron los jardines del Monasterio como estación de observación. El Conde resumía de esta forma el eclipse: *“Un cuarto de hora antes del eclipse las nubes aparecieron en el Oeste, mientras observaba con el espectrógrafo visual ...Javelle gritó: -Menos diez segundos, unos 30-40 segundos antes de la totalidad. Yo (el Conde) le dije a Colomas -No tan rápido, para que no gastase todas las placas antes de la totalidad, lo cual hizo. Observé varias perlas de Bailey y grité: -Vamos, cuando la última desapareció. Muy ocupado con el telescopio, no miré al espectroscopio.*

Inmediatamente liberé la manecilla de mi reloj, obligándome a mirarlo (gran pérdida de tiempo). Presioné el botón del Flint, abro el Cooke, abro el 6pr, vuelvo a cerrar y cambio el Cooke, cierro y cargo el Flint (Todos estos: Flint, Cooke y 6pr son espectrógrafos). Luego salgo a mirar y me desilusiono al ver una nube sobre el Sol. Continúo con las operaciones. A las 3:20, voy a cerrar el Flint y como veo que la luz vuelve rápido, corro a cerrar el 6pr y el Cooke”.

A las 3:30, el Sol había reaparecido completamente

No muy lejos de Alcalá, Alcossebre, se alojó otra expedición francesa presidida por el entonces más ilustre físico solar, P. J. Janssen¹¹⁹ (1824-1907) del que ya hemos tenido ocasión de hablar. El Conde lo fue a esperar a la estación de ferrocarril el 18 de agosto, adonde llegó acompañado de su mujer e hija (Figura E-33). Sus

¹¹⁸ Simonin, M., 1911, *Éclipse totale de Soleil du 30 août 1905. Mission de l'Observatoire de Nice*,

Annales du Bureau des Longitudes, Gauthier-Villars, Paris, 8, 1-26.

¹¹⁹ Otra expedición francesa estuvo en Burgos al mando de H. Deslandres. En diciembre de 1906 se nombró nuevo director de Meudon a Deslandres. Su toma de posesión en diciembre de 1906 fue un duro enfrentamiento con Janssen, que continuó después de su muerte, un año después, ya que la familia de Janssen se negaba a desalojar su alojamiento en el observatorio. Sus ayudantes abandonaron el observatorio después de su retiro.

condiciones de salud no eran las mejores e incluso le costó asistir al eclipse (Para una biografía ver Launay, 2012)¹²⁰.



Figura E-33: Llegada de Pierre Janssen a la estación de ferrocarril de Alcalá

Le acompañaban como ayudantes G. Millochou (1866-1922) y L. Pasteur¹²¹ (1850-1925) del Obs. de Meudon y M. Stefanik (1880-1919) del Observatorio de Praga. Se encontraban alojados en una casa junto al poblado, detrás de las casas que formaban la única calle de nombre "El Renc". La instalación fue bastante costosa, pues los instrumentos eran muy pesados y de precisión, como ejemplo, solo el soporte del anteojo ecuatorial pesaba 800 kilos.

El transporte de Alcalá de Chisvert (Xivert) a Alcossebre, diez kilómetros, lo hicieron en carros, cuyos muelles tuvieron que soportar los enormes baches del camino. A pesar de todo los aparatos llegaron en perfectas condiciones.

¹²⁰ Launay, F., 2012, *The Astronomer Jules Janssen*, Springer, Astrophysics and Space Science Series 380.

¹²¹ De origen suizo se incorporó a Meudon en 1880 donde trabajó hasta el fallecimiento de Janssen. Se ha pensado que pudo haber utilizado un pseudónimo, ya que no tenía ninguna relación con el famoso biólogo.

Sus objetivos eran estudiar el conjunto de la marcha del fenómeno por medio de la fotografía, la forma y los detalles de la corona y de las protuberancias, los espectros de las diferentes capas del Sol y las variaciones meteorológicas producidas por el eclipse. Para su uso personal, Janssen hizo construir un ecuatorial de seis pulgadas, sobre el que podía adaptar a voluntad un portaocular y diferentes espectroscopios.

Louis Pasteur, jefe del servicio fotográfico del Observatorio de Meudon, disponía de un instrumento compuesto por una montura ecuatorial, que sostenía un telescopio de doce pulgadas, sobre la que se habían fijado tres aparatos fotográficos, una cámara con un objetivo de 9 pulgadas (22.9 cms) y de 4 metros de distancia focal, otra cámara que llevaba un objetivo de 4 pulgadas (10.16 cms) con 80 cms de distancia focal. Obtuvo fotografías de protuberancias que las mostraban en un alto nivel de la cromosfera y corona interior.

El Prof. Janssen parecía restablecido de sus achaques y mientras esperaba el momento de la totalidad, se permitió la penitencia de que le sacasen fotografías. Pasadas las 11 de la mañana, lo condujeron en un sillón al observatorio y desde allí esperó el momento de la totalidad, sentado en una pequeña y rústica silla, delante de su ecuatorial de seis pulgadas y al llegar ésta no se distrajo un momento en sus observaciones.

Amaneció claro pero no despejado, grupos de cirros cúmulos surcaban la atmósfera a gran altura y en las estaciones de observación todo era actividad y expectación. En cuanto se produjo el primer contacto, se hizo el silencio entre los espectadores, que no se apartaban ni un momento de sus aparatos de observación, mientras los astrónomos, cubiertos con largas blusas y mostrando en las extremidades abundantes picaduras de mosquitos, realizaban varias experiencias y hacían funcionar los aparatos.

A las 13h, 17m y 27seg. empezó la totalidad del eclipse y se hizo tan de noche que no podían distinguirse los buques anclados frente a la playa, ni la más leve nube privó por un momento el poder contemplar la grandiosidad del espectáculo, se vieron varias estrellas y los planetas Mercurio y Venus. La oscuridad era tan densa

que se pudo observar una débil luz artificial situada en lo alto del monte de San Miguel, popularmente denominado "El Bartolo".

G. Millouchon observó que en el espectro de las protuberancias había solo líneas espectrales de Hidrógeno, pero no las coronales que hubiesen indicado mayores temperaturas. Posteriormente se comprobó que las protuberancias se componen de un plasma más frío y denso (unas cien veces) que el de la corona, similar en composición al de la cromosfera. Son unos bucles de materia donde esta se sostiene por las líneas de fuerza bipolares del campo magnético¹²².

A las 13h, 21m y 9 seg. cuando volvieron a aparecer los primeros rayos solares, hubo una explosión de entusiasmo, los astrónomos contestaban con hurras (Canseco Caballé, 1905)¹²³.

Vinaroz (Castellón)

J. Comas Solà se instaló en Vinaroz, en casa del abogado Joaquín Sanjúan, acompañado por Salvador Raurich Ferriols (1869-1945), el fotógrafo Riba, Lauro Clariana y Ricart y el electricista A. García (Figura E-34).

¹²² En la fotosfera la densidad de energía cinética ($\frac{1}{2} \rho V^2$) es mayor que la del campo magnético ($B^2/8 \pi$) y el plasma gobierna el movimiento de las estructuras magnéticas. En la cromosfera y corona sucede justo lo contrario

¹²³ Canseco Caballé, M., *Eclipses totales de sol en Castellón de la Plana, 1860 y 1905: centenario del eclipse de 30 de agosto de 1905*, Archivo Municipal de Castellón



Figura E-34: El grupo de J. Comas Sola en Vinaroz

Su trabajo se centró en el estudio de la forma, extensión y estructura de la corona solar. Para ello contaban con un telescopio Grubb de 156 mm, un telescopio de 108 mm equipado con una cámara espectroscópica de 1 m y 60 cm de distancia focal con prisma. La totalidad del eclipse en Vinaroz fue de 3 minutos y 56 segundos, pero una nube lo mantuvo oculto durante un minuto.

La observación del primer contacto interno se efectuó por dos métodos, al objeto de apreciar las diferencias que pudieran existir entre uno y otro, y que debían tener por origen una causa de orden físico. A este fin, el Sr. Sanjúan observó directamente por medio de unos gemelos la desaparición del último rayo de luz solar, y el Sr. García, valiéndose de otros gemelos, en los que había colocado delante de uno de sus objetivos un prisma de 60° , debía determinar también este primer contacto interno apreciando el momento de la inversión de las rayas de absorción del espectro solar.

La observación de la corona fue doble: visual y fotográfica. El Sr Raurich se encargó de la observación visual de la corona y de dibujarla. Quedó para mí, Comas, el manejo del ecuatorial fotográfico y espectroscópico, sirviéndome de placas *special rapid Ilford*, anti-halos, de 18cm x 24cm.

El primer contacto ocurrió con el Sol ligeramente velado. Una nube lo ocultó durante 50 segundos, que se perdieron de nuestros registros. Sin embargo, se aclaró y pudimos seguir con el programa.

Al iniciarse la totalidad se vieron varias protuberancias enormes, de un intenso color rosado que, si bien a simple vista parecían una sola, la imagen espectroscópica reveló que eran por lo menos nueve. La corona, de color blanco plata con una zona brillantísima en su parte interior. Los filamentos coronales que se apreciaban en toda su extensión resultaron ser, en contra de lo que se creía, secantes al disco del Sol.

Tres fotografías obtuvo Comas con el ecuatorial fotográfico de 6 pulgadas inglesas. En la primera, de 8 seg de exposición y hecha a través de diáfanos nubes, aparecen, aparte de muchos detalles de la corona, las hermosas protuberancias rosadas que se hicieron visibles en el mismo instante de empezar la totalidad en el borde NE. del Sol. La segunda fotografía, con 10s de exposición, está tomada a través también de una ligera capa de nubes algo más espesa que la anterior. Por esta razón, la extensión de la corona resulta en este clisé relativamente pequeña.

La tercera fotografía está obtenida con 12s de exposición y con cielo claro. Inútil, es decir, por lo tanto, que es la fotografía en la que la corona aparece más extensa (Figura E-35). Medida en el cliché original, resulta por lo menos igual a tres veces el diámetro solar. Algunos filamentos coronales se extienden hasta 4 millones de kms. de la superficie solar.

Téngase en cuenta que estas colosales proyecciones de materia impalpable que brotaban de la mayoría de las regiones del Sol, eran sensiblemente rectilíneas, lo que demuestra, teniendo en cuenta el movimiento de rotación del Sol, que la velocidad de propagación de las partículas constituyentes de los haces coronales, era por lo menos de más de 100 km. por segundo. De lo contrario, estos haces, no estando situados sobre ningún plano de perfil, presentarían cierta tendencia a enrollarse en espiral y por consiguiente a desaparecer la forma rectilínea de los mismos.

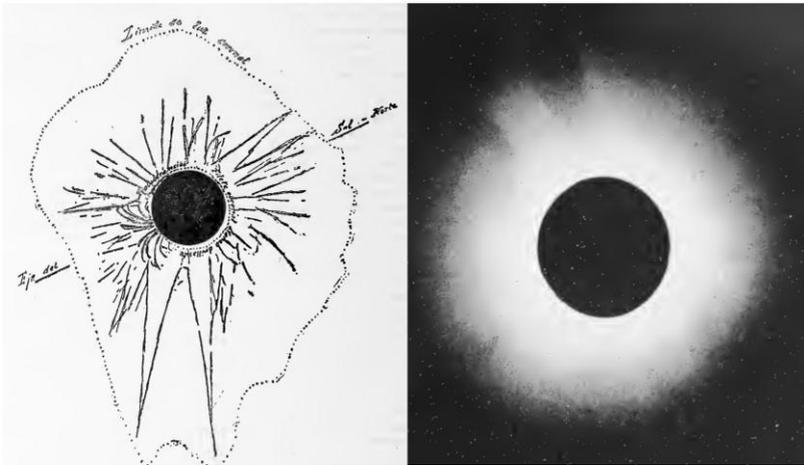


Figura E-35: (Izqda.) Esquema de la corona solar según las fotografías. (Derecha) Imagen de la corona solar con la mayor exposición al final de la totalidad.

Espectroscopia solar: Montado el prisma-objetivo en una caja de cedro cuadrangular, proyectaba diagonalmente el espectro cromosférico muy dispersado y luminoso sobre una placa de 13 x 18cm, abarcando desde la región verde hasta el extremo violeta. Comas colocó esta cámara prismática sobre el mismo pie ecuatorial de la cámara fotográfica, de manera que estando centrada la imagen espectroscópica estuviera también centrada la corona solar y la imagen dada por el buscador de la cámara fotográfica de 6 pulgadas.

De este modo, observando únicamente la imagen proyectada por el buscador sobre una pantalla podía tener la seguridad de colocar en su debida posición ambas imágenes fotográficas a la vez.

Con la cámara prismática Comas obtuvo varias fotografías del espectro normal del Sol pocos momentos antes de empezar la totalidad, al objeto de registrar la inversión sucesiva de las rayas.

En esta serie preliminar de fotografías, la inversión de rayas es relativamente pobre, tanto es así que hasta pocos segundos antes

de empezar la totalidad no se invirtieron las H y K del Ca II, que con tanta facilidad y premura lo hicieron en otros eclipses. Estos resultados son síntomas del poco espesor o actinismo de la cromosfera. Al empezar la totalidad solo se destacan en ésta las principales rayas hidrogenadas.

En otras fotografías espectrales obtenidas en plena totalidad, a pesar de la larga exposición que se dio a varias de ellas, solo resaltan las principales líneas de la serie hidrogenada. Estando en el máximo de actividad, se sugiere que la cromosfera no sigue el ciclo de actividad, al contrario que la corona.

En los momentos de la totalidad fue perfectamente visible el planeta Venus, Régulo y la Espiga. Las nubes impidieron sin duda ver ninguna otra estrella de primera magnitud.

El Sr. Raurich pudo efectuar diferentes observaciones sobre varios animales en los que se manifestó la sensación, sobre todo entre las aves, de la venida de la noche, y entre los mamíferos domésticos, de temor o asombro a la llegada de aquella noche brusca e insólita. La masa del pueblo que nos ensordecía con su griterío mientras el eclipse fue parcial, guardó el más absoluto silencio en los momentos de la totalidad.

Mallorca

La expedición del Solar Physics Committe, fundado en 1898, dirigida por el Nobel, Norman Lockyer (1836-1920), con un crucero de la armada británica a su disposición, el HMS *Venus* al mando de F.G. Eyre. El campamento se instaló en el velódromo de Son Espanyolet, con permiso del Marqués de la Torre.

Además de su mujer e hijo, el grupo estaba constituido por C.P. Battler y los voluntarios H. Payn y F.K. Mc Clen (Lockyer, 1907)¹²⁴. Otros muchos se fueron uniendo.

¹²⁴ Lockyer, N., 1907, *Report of the Solar Physics Committee to Palma, Majorca, August 30, 1905*, Solar Physics Committee 1-66, HMS Stationery Office by Wymand & Sons

El eclipse se inició a las 12.00 horas y duró exactamente 183 segundos (3 minutos y 3 segundos). Después de los primeros quince segundos llegaron algunas nubes. A Lockyer le había dado tiempo a hacer diez fotografías.

Un grupo al mando de J.P. Morris y con 20 personas más, se dedicaron a realizar dibujos preparatorios y de la corona durante la totalidad del eclipse. El promedio se ve en la Figura E-36



Figura E-36: Esquema de los dibujos de la corona. Fotografiado y reducido en tamaño.

Las figuras siguientes, nos muestran las placas contenidas en el informe de Lockyer (1907) que ilustran todos los detalles de la expedición. El mosaico de la Figura E-37 muestra las vistas del campo de observación.



FIG. 1.



FIG. 2.



FIG. 3.



FIG. 4.

Figura E-37: Placa 1 de Lockyer (1907). Original de la Librería Pública de Nueva York.

Fig. 1: Vista general del campo de observación

Fig. 2: Vista del campo desde la esquina SW

Fig. 3: Cámara prismática de 3 prismas (6 pulgadas) y el equipo a su cargo

Fig. 4: Coronógrafo de Warren De La Rue y las cámaras de red Voigtländer con el equipo a su cargo.

Los dos coronógrafos fueron atendidos por oficiales del HMS Venus.

1) Coronógrafo De la Rue: $D= 11.2$ cms y una focal de 1.52 metros. A cargo del Teniente Trench, aunque H. Payn supervisó la instalación en el campo y redactó el programa de observaciones. El instrumento se colocó sobre dos cajas de embalaje que se llenaron de ladrillos. Se tomaron siete fotografías de las cuales se muestran las dos últimas, tomadas antes de la totalidad, en las figuras superiores de la Figura E-38, en las que la parte Norte se encuentra arriba. Se puede todavía ver la parte superior de una protuberancia en el cuadrante NE.

2) Coronógrafo Cooke de 4 pulgadas (10.12 cms): La lente era un objetivo foto-visual Cooke (patente de Taylor) de 10.12 cms de apertura y 4.9 metros de longitud focal, y la imagen del sol medía 4.45 cms.

El tubo, que conectaba los accesorios de caoba del cristal del objetivo con la cámara, estaba compuesto por dos juegos de cuatro listones de madera, cada uno de 8 pies de largo. En esta ocasión se utilizó un material más fuerte para hacer que el tubo fuera hermético a la luz, se empleó una lona Willesden, cuyo interior estaba oscurecido por la luz de la lámpara. Cuando se colocó de pie (placa I, fig. 4), el instrumento era bastante rígido, pero el tubo no estaba fijado a las partes superiores de los pilares de hormigón para permitir que se lo moviera ligeramente el día del eclipse si era necesario. Al final, solo se consideró necesario un pequeño movimiento para llevar la imagen del sol exactamente al centro de la placa. Los miembros del equipo fueron F.K. McLean, F. Barter, W. Belter, F. Cole, S. Hayden y W. Carroll.

La Figura E-38 muestra la disposición de los instrumentos citados

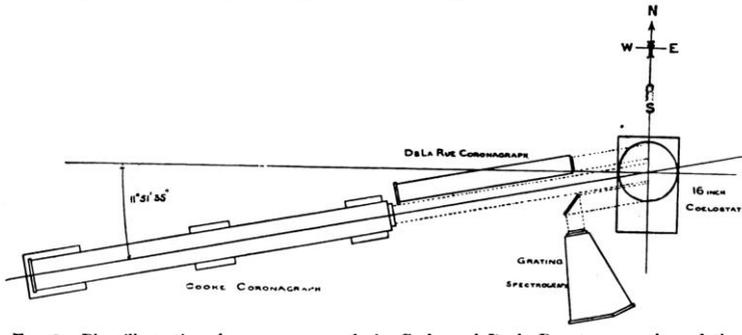


Figura E-38: Plano que muestra las conexiones de los coronógrafos De la Rue y Cooke y el espectrógrafo Voigtländer de red con el celostato de 16 pulgadas.

Figura E-39 muestra fotografías de la corona obtenidas con los dos coronógrafos citados. Con el de La Rue se obtuvieron 7 exposiciones de las que se seleccionaron dos. La fig. 1 muestra en el cuadrante NE una parte de una gran protuberancia. La fig. 2, Placa 2, ofrece una vista admirable del detalle de la corona inferior, y las grietas del polo norte están claramente definidas. Se puede ver toda la extensión de la prominencia NE.

Es interesante comparar estas fotografías con la que se muestra en la fig. 3 de la misma Placa 2, que representa la corona tal como fue fotografiada con el coronógrafo de 4 pulgadas de apertura y 16 pies de distancia focal.

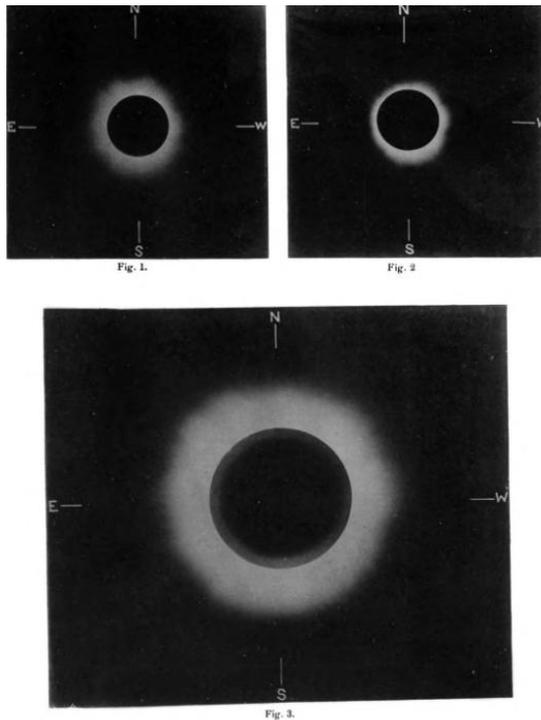


Figura E-39: Placa 2 de Lockyer (2007). Original de la Librería Pública de Nueva York.

Figuras 1 y 2: Fotografías de la corona con el coronógrafo de De la Rue.

Figura 3: La corona fotografiada por el coronógrafo Cooke de 4 pulgadas.

El segundo tema a estudiar era la observación de la corona a pequeña escala espacial y con un amplio campo de visión del cielo circundante.

Para ello F.K. McClean les prestó un objetivo Browning ($D = 8.9$ cms; focal de 2.26 metros) montado ecuatorialmente sobre un trípode de madera. McClean lo montó y ajustó, aunque de las observaciones se encargó Hugh Cliff, cirujano jefe del barco.

Otro método de observación fue insertar discos en el camino óptico, una idea que iba a tener sus frutos en el futuro. Los discos estaban hechos de madera barnizada con humo y se fijaban a los polos por medio de una varilla de latón; se utilizaba una brújula azimutal, una cinta métrica y un triángulo de madera con un nivel fijado a él para colocar los discos en su orientación correcta. El teniente H. Hallwright se encargó de su operación, aunque las condiciones meteorológicas no fueron de mucha ayuda.

Pasamos a la parte de espectroscopia, empezando por la cámara de 3 prismas (Figura E-40). Del total de 14 placas expuestas, las primeras siete no mostraron rastros de ningún registro, mientras que las últimas cinco simplemente indicaban los anillos H y K (Ca II) y las imágenes más fuertes de las prominencias más grandes. Las nubes fueron la causa de la imposibilidad de obtener una impresión en la primera serie, y las exposiciones instantáneas durante la totalidad fueron responsables de las imágenes débiles de la segunda; las últimas cinco placas, estaban destinadas a la cromosfera en el tercer contacto. Las únicas dos placas que contienen algún registro útil son las n° 8 y n° 9. Aunque se expusieron durante 67 y 10 segundos respectivamente, el cielo estuvo considerablemente nublado durante la mayor parte del tiempo, y habla bien del brillo de la corona que estas placas no estuvieran más subexpuestas.

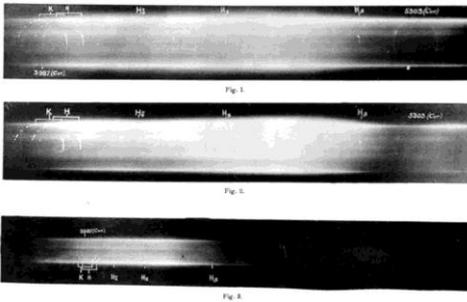


Figura E-40: Placa 3 de Lockyer (2007). Original de la Librería Pública de Nueva York.

Figs. 1 y 2: Fotografías con la cámara prismática de 3 prismas (6 pulgadas)

Fig. 3: Espectro tomado con la cámara de red Voigtländer (4 pulgadas)

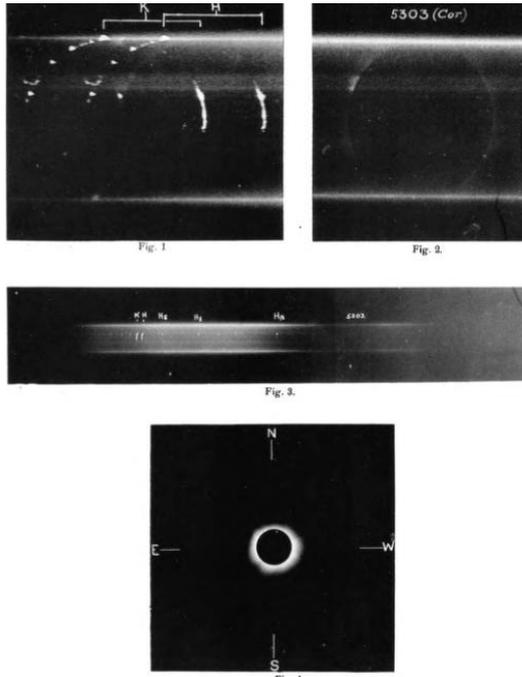


Figura E-41: Placa 4 de Lockyer (2007).

Figs. 1 y 2. Comparación de la línea coronal verde (5303.7) con el doblete Ca II (H y K). Fig. 3. Espectro tomado con la pequeña lente de Dallmeyer y una red Thorp (ampliada 3 veces). Fig. 4. La corona fotografiada con el objetivo Browning de 3 pulgadas (tamaño original). Original de la Librería Pública de Nueva York.

Como la imagen de tamaño completo de la corona proporcionada por el espejo de enfoque del reflector de 12.9 metros no se podía reproducir en una placa sin doblarla, se decidió dar una impresión reducida (Figura E-42), desde los 20.8 mms originales a los 13.3 mms. Tomada unos 20 segundos antes del final de la totalidad la corona dista mucho de haber sido simétricamente expuesta en ambos bordes.



Figura E-42: Placa 5 de Lockyer (1907). Original de la Librería Pública de Nueva York.

Corona fotografiada con el reflector prismático de 12 pulgadas de abertura y 72 pies de focal

La expedición de la British Astronomical Association (BAA), se alojó en el Gran Hotel. Andrew Claude de la Cherois Crommelin (1865-1939) fue el director de las observaciones. Otros miembros fueron; Henry Park Hollis (1858-1939), asistente el Observatorio de Greenwich y editor de la revista *The Observatory*. Robert Baden-Powell (1857-1941), comandante del ejército se encargaría de la actividad general durante el eclipse.

Catherine Octavia Stevens (1864-1959), era directora de la sección de meteoros de la BAA. Se iba a encargar de las sombras volantes y de la corona solar con un anteojos de 5.4 cms. Sus resultados se encuentran en Stevens (1906)¹²⁵.

Gavin James Bums (1853-1933) y Arthur Leahy (1857-1928), ayudantes de Crommelin.

Alexander Burton-Brown (1840-1932), coronel del Ejército.

Alice Everett, secretaria del consejo de la BAA. Se encargaría de un telescopio de de 5.4 cms.

¹²⁵ Stevens, C.O., 1906, *The problem of the Shadow bands*, Journal of the BAA, Vol. XVI, 60-62

Mis K.L. Hart-Davis, colaborará con C.O. Stevens en las observaciones en Cas Català, el segundo observatorio de la expedición.

Otras expediciones siguieron el camino de los de la BAA (March, 2005)¹²⁶.

Suiza: El que una expedición suiza decidiera asentarse en Mallorca proviene de una vieja amistad entre Eduard Fontserè (1870-1970), profesor de Mecánica Racional de la Universidad de Barcelona, astrónomo y meteorólogo, con Raoul Gautier (1854-1928), director del Observatorio Astronómico de Ginebra. Como Fontserè se encontraba en Barcelona, se buscó la colaboración del mallorquín Jordi Ackerman, astrónomo aficionado. Ya en Mallorca se sumaron a la expedición los profesores del Instituto Balear: Joaquim Botia y Sebastià Font (1835-1915).

Además, formarían parte del grupo: François Alphonse Forel (1841-1912), licenciado en medicina y profesor de la Universidad de Lausana.

Los expedicionarios se fueron a alojar en la posesión de Santa Ponça, en el municipio de Calviá, propiedad de Ferran Trullol Despuig (1850-1923), Marqués de la Torre.

Italia: Más de trescientos italianos, científicos y aficionados, salieron de Génova en el buque *Hispania*, llegando a Palma el 28 de agosto, después de hacer escala en Barcelona, donde visitaron el Observatorio Fabra. El promotor del grupo fue *Francesco Porro*, profesor de la Universidad de Turín, aunque cada miembro tenía sus propias ideas y lugares de observación. Entre ellos destacaban:

Giorgio Abetti (1882-1982) uno de los más importantes astrónomos italianos. En el momento del viaje se acababa de licenciar en Física por la Universidad de Padua. Se iba a encargar de observaciones en un promontorio al lado de Castillo de San Carlos,

¹²⁶ March, J. 2005. *Els observadors estrangers a la Mallorca de 1905: Publicacions derivades de les seves observacions*. En: A. Amengual, G. X. Pons, J. March, Eds., Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 13: 119-171

con otros compatriotas como el astrónomo Almerigo da Schio (Abetti, 1905)¹²⁷.

Antonio Maria Antoniazzi (1872-1925), Licenciado en Matemáticas, también de la Universidad de Padua. Iba a observar el eclipse desde el puente del buque Hispania.

Francesco Faccin (1871-1923). Capellán aficionado a la astronomía y periodista científico.

Giuseppe Lais, subdirector de la Specola Vaticana, hará sus observaciones desde el campanario de la iglesia de San Felipe Neri de Palma (Lais, 1907)¹²⁸.

Alemania: Los miembros de la expedición alemana ocuparon la sede de su Consulado. Los físicos Julius Elster (1854-1920), Hans Geitel (1855-1923) y Friedrich Harms (1876-1946), respondieron afirmativamente a la llamada del Departamento de Magnetismo Terrestre de la institución de Carnegie, que subvencionó su viaje a Mallorca (Fricke, 1992)¹²⁹.

A este grupo se sumaron los también físicos Hermann Ebert (1861-1913) y Otto Freiherr (1874-194X), profesores de la Escuela Superior Técnica de Munich (Ebert, 1905; Elster et al. 1906)¹³⁰.

España: Sobre la presencia de astrónomos españoles Batlló Ortiz (1905)¹³¹ considera que se redujo a una expedición que se

¹²⁷ Abetti, G., 1905, *L'Eclisse di sol del 30 agosto 1905*, Geografici Società di Studi Geografici e Coloniali Año XII, Fasciculo VII.

¹²⁸ Lais, G., 1907, *Eclisse totale di Sole del 30 agosto 1905 a Palma di Majorca*, Atti della Pontificia Accademia Romana dei Nuovi Lincei, Apèndix II, pàg.17-26.

¹²⁹ Fricke, R. G. A. 1992. *Julius Elster und Hans Geitel zum einhundertfünffzigsten Geburtstag*.

Ed. Doring Druck, Druckerei und Verlag GmbH.

¹³⁰ Ebert, H., 1905, *Luftelektrische Beobachtungen während der totalen Sonnenfinsternis*, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity Vol. X

Elster, J., Geitel, H., Harms, F., 1906, *Luftelektrische und photometrische Beobachtungen Während del totalen sonnenfinsternis vom 30. August 1905 in Palma (Majorca)*, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity Vol. XI

¹³¹Batlló, J. 2005. *Els observadors espanyols de l'eclipsi de Sol de 1905 a Mallorca*. En: A. Amengual, G. X. Pons, J. March, Eds., Conferències de les Jornades de Comemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 13: 99-117

instaló en Palma de Mallorca: la comisión de los jesuitas, presidida por el catalán Josep Algué (1856-1930) que, en ese momento, era el jefe del Servicio Meteorológico filipino. Habían respondido a una solicitud del obispo de Mallorca, Pere Campins i Barceló (1859-1915). Se instalaron en el seminario de San Pedro. El grupo elegido por Algué para ayudarle en la observación estuvo formado por Josep Lleonart (1851-1920), Vicenç Munner (1866-1937), Estanislau Domènech (1868-1954), Ferran Fuster (1878-1946) y Juan Sallaberry (1871-1945), todos jesuitas.

Los objetivos que se fijó dicho grupo no contemplaban observaciones astronómicas muy importantes. De hecho, el principal telescopio de que se disponía era propiedad del Seminario y todavía se conserva. Se trataba de un instrumento con montaje ecuatorial, no muy adecuado para hacer observaciones de la corona. De hecho, debía utilizarse principalmente para observar los tiempos de los cuatro contactos.

Así se centraron especialmente en objetivos meteorológicos y magnéticos. Así y todo, pudieron conseguir alguna fotografía coronal (Figura E-43)

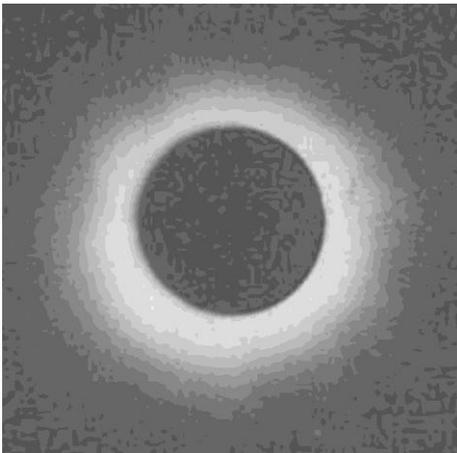


Figura E-43: Fotografía de la corona solar obtenida por V. Munner, desde la terraza del seminario de San Pedro (fotografía conservada en el Archivo del Observatorio del Ebro).

El Obispo presenció el eclipse de mañana desde el Observatorio montado en el Seminario. Le acompañaron varios Ilustres Canónigos, entre ellos el secretario de Cámara Sr. Pascual.

Ante aquella efervescencia científica, los políticos y la sociedad no pudieron más que contagiarse. El Estado eximió de las tasas de aduana a todos los observadores. El alcalde de Palma llegó a pedir a los talleres y fábricas que no hicieran humo el día del eclipse para no entorpecer las observaciones. Y llegó el 30 de agosto.

En la calle los vendedores ambulantes agotaban las existencias de vidrios ahumados para ver el eclipse. Los dueños de casas particulares echaban cuentas de la recaudación obtenida al alquilar habitaciones a los observadores.

La prensa fue también reflejo del interés por el eclipse. *Última Hora* publicó reportajes desde varios días antes del evento. Sobre el eclipse se centró en el trabajo de los ingleses. *“Cuando faltaban unos quince minutos para producirse la totalidad del eclipse, de la parte Norte se levantaron unas grandes nubes negras, temiendo que ellas fueran causa de que no se pudieran ejecutar todos los trabajos. En aquel momento sonó una corneta.*

Los marineros fueron a una tienda de campaña, saliendo al poco rato con unos faroles encendidos. El aspecto comenzaba a ser sorprendente. Todos callaban. La corneta volvió a sonar y los marineros cada cual se colocó en su sitio y se efectuó un movimiento. Todos miraban a sus respectivos aparatos, no al Sol.

Suena de nuevo un tercer toque de la corneta. Faltaban cinco minutos.... Las personas que se hallan en el velódromo y sus alrededores están sumidas en el más profundo silencio. Poco a poco avanza la mordedura ... solamente queda un débil hilo de oro, en la parte izquierda de sol. De pronto se oye una voz general. El contacto se ha hecho, estamos en totalidad.

De pronto se escucha una potente voz. Es un inglés alto, vestido con traje oscuro (N.Lockyer). Está colocado en el centro de todos aquellos aparatos. Alza los brazos y comienza a contar en inglés. Su primer grito sorprende y hace reír. Pero después, a

medida que continúa la voz lanzando al aire la numeración, aquella voz llega al alma y hace callar la risa. Resulta una cosa tétrica.

La voz termina, y casi instantáneamente, el sol que estaba oculto detrás de un disco de sombra, de la parte superior de la derecha de dicho disco, lanza un chorro de luz, como si fuera de una lámpara incandescente. La luz hiere nuestra vista y de todas las bocas se escapa una exclamación. El momento solemne había terminado”.

Curiosamente el periodista no menciona la aparición de la corona.

Y así siguen las descripciones de otros lugares de observación que no reproducimos por falta de espacio. Para los interesados ver: *Alguns articles dels diaris de 1905 sobre l'eclipsi total d'aquell any*. En: A. Amengual, G. X. Pons, J. March, Eds., Conferències de las Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905, Mon. Soc. Hisy. Nat. Balears, 13: 13-33.

Observatorio del Ebro

El año anterior al eclipse había sido inaugurado el Observatorio del Ebro, en Roquetas (Tarragona), que llegaría a ser el principal centro de Astronomía en España hasta la llegada de los actuales centros de Astrofísica. Uno de sus principales trabajos fue la observación del eclipse que en su localidad cubrió el disco solar en un 96 % (Cirera, 1906)¹³².

Amaneció el día del eclipse bastante bueno y continuó así durante una buena parte del eclipse parcial, pero pronto el Sol empezó a estar cubierto por celajes hasta que llegó la totalidad que pudo observarse, pero no sin molestias. Terminada la totalidad se fueron las nubes y pudo observarse con facilidad el cuarto contacto.

Los trabajos de espectroscopia y polarización no pudieron afrontarse debido a la nubosidad presente.

¹³² Cirera, R., S.J., 1906, *Noticia del Observatorio y de algunas observaciones del eclipse de 30 de agosto de 1905*, Gustavo Gili Editor, Barcelona

compensar el movimiento de rotación de la Tierra mediante un mecanismo de relojería. La versión desarrollada por Jean-Baptiste Soleil fue muy apreciada y utilizada hasta principios del siglo XX.

La ilustración y su explicación están incluidas en la obra de A. Guillemín *El Mundo Físico* (5 volúmenes) que fue traducida por Manuel Aranda y Sanjuan y publicada por Montaner y Simón de Barcelona.

1912 EL ECLIPSE GALLEGO HÍBRIDO

En la Introducción hemos hablado de la posibilidad de un eclipse híbrido, mezcla de uno total y otro anular. En 1912 la zona de Galicia y León ofreció la posibilidad de estudiar uno de ellos con instrumentación moderna. Estudios previos fueron resumidos por Landerer (1911)¹³³.

En 1912, la franja de visibilidad entró por Portugal, al Sur de Oporto, y salió por Gijón (Asturias). En cientos de kilómetros a cada lado de esa franja, el eclipse se vio como parcial, en menor grado cuanto más lejos de ella. El fenómeno tuvo una fase total de pocos segundos, debido a que, en el centro del eclipse, la Tierra se hallaba justo en el vértice del cono de sombra de la Luna (Figura E-46). Así, todas las localidades situadas en la primera mitad de la franja de visibilidad tuvieron un eclipse total (España y Portugal), pero para las que quedaron en la segunda mitad, el eclipse fue anular (Francia). El centro del eclipse estuvo entre las costas de España y Francia, con lo cual nuestro país y Portugal fueron los únicos lugares desde donde se vio la totalidad (Castro, 2012)¹³⁴.

¹³³ Landerer, J.J., 1911, *El eclipse anular y total de Sol del 16-17 Abril de 1912*, Revista Sociedad Astronómica de España, Año I, No.3, Junio

¹³⁴ Castro, E., 2012, *Centenario del eclipse de Sol de 1912*, Hablando de Ciencia (17 de abril)

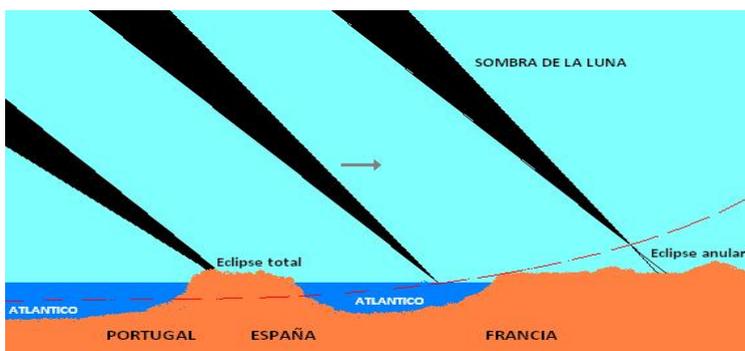


Figura E-46: Camino de totalidad (línea discontinua en rojo), su relación con los perfiles costeros de Portugal, España y Francia y los conos de sombra. Suponiendo que las observaciones se hacen desde tierra, un eclipse total pudo haberse visto tan solo en los países ibéricos. Crédito: E. Castro (2012).

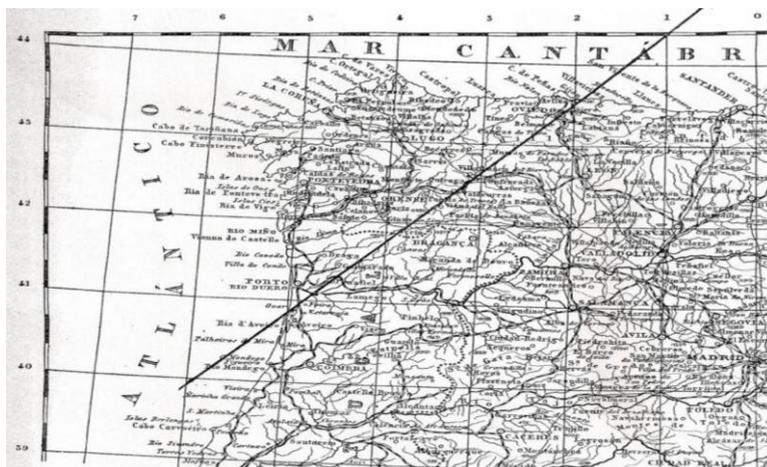


Figura E-47
Franja de totalidad del eclipse de 1912. Como vemos, es mejor denominarla línea de totalidad.

El Número 1 del año 1 de la Revista de la Sociedad de Astronomía de España (SAE) comienza con un extracto de la Circular de la Comisión Organizadora de la SAE. El primer artículo científico se titula “*El Eclipse de Sol del 17 de abril de 1912, por D. F. Iñiguez*”. El artículo en cuestión comienza recordando los anteriores eclipses, los distintos tipos, discutiendo la dificultad del cálculo de las posiciones del Sol y de la Luna.

Barco de Valdeorras (Orense)

J. Comas Solà et al (1912)¹³⁵ resumió lo más importante del eclipse: *Ya ha tenido lugar el ansiado fenómeno astronómico. Para el público, en general, ha sido una decepción. Para los astrónomos ha sido uno de los eclipses más importantes que se han estudiado y cuyos resultados prometen ser, después de discutidos, del mayor interés.* Dos puntos culminantes se trataban de resolver con este eclipse:

- 1) Comprobar si la línea central real, coincidía con alguna de las líneas teóricas.
- 2) Comprobar si el eclipse sería total o anular en tales o cuales puntos y en el primer caso si la duración de la totalidad iba a ser muy corta o bien alcanzar algunos segundos.

Con respecto a sus propias observaciones Comas Solá optó por la localidad del Barco de Valdeorras. El instrumental utilizado fue muy sencillo y se limitó a una cámara de cine provista de dos prismas de 60 grados para obtener el espectro de la cromosfera (flash spectrum).

El campamento se instaló en la orilla derecha del río Sil. Durante todo el día 16 el tiempo fue espléndido, pero el barómetro descendía lentamente. El 17 amaneció casi completamente cubierto, las nubes procedían del Oeste. Pero el calor solar las disolvió luego, y si bien durante el eclipse volvieron a producirse condensaciones

¹³⁵ Comas Solà, J., D.F. Iñiguez, T. Azcarate, L. Ocharán, E. Novoa González, H. Bentabol, H., D.F., García Muñoz, 1912, *El eclipse de Sol del 17 de abril de 1912*, Revista de la SAEA, Año 11, No. 14, mayo

nubosas, lo cierto es que durante la fase de totalidad el Sol se ostentó en una región purísima del cielo pudiéndose llevar a cabo todo el trabajo proyectado.

En palabras de Comas Solá (1912b)¹³⁶ : *Desde nuestra estación el eclipse fue, visual y sensiblemente, total, pero esta totalidad fue instantánea. Cuando desaparecía la falce (hoz) de la izquierda, aparecía la de la derecha, ambos diametralmente opuestas. De las fotografías espectroscópicas resulta que estuvimos ligeramente desplazados hacia el Norte de la franja central, que estaba a unos dos kilómetros al Sur de nuestra posición”*.

Para la observación de la corona el procedimiento más rápido era el visual. Al terminar el eclipse había que tratar de trasladar al papel la forma y aspectos observados. Así se hizo (ver croquis de la Figura E-48), que se corresponde al tipo de un acentuado mínimo solar.

El oscurecimiento general del cielo en los alrededores de la totalidad fue muy acentuado, tanto como en el eclipse de 1900 y más que en el de 1905. Se vio perfectamente Venus. La temperatura bajó considerablemente.

Con respecto al espectro obtenido con la cámara comentaba: *“... espectro que corresponde a los espacios dejados libres por las depresiones orográficas que aparecen en el contorno de la luna. No de otra manera pudiera explicarse que visualmente el eclipse fuera total y que aparecieran constantemente en el espectro las perlas de Baily”*.

¹³⁶ Comas Sola, J., 1912b, Sonnenfinsternis 1912 April 17, Astronomische Nachrichten 192

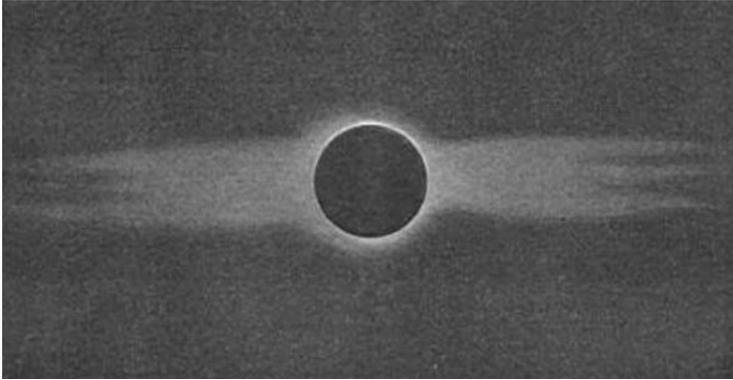


Figura E-48: Dibujo de J. Comas Sola de la corona solar durante el eclipse de 1912.

Recientemente, Núñez de Murga y Codina (2012)¹³⁷ han resumido la participación del astrónomo catalán en este eclipse. En este trabajo se señala que mapas calculados con los medios modernos muestran que la localidad de Barco de Valdeorras quedó ligeramente por encima de la línea de centralidad, donde el eclipse, en el casco urbano, fue en realidad parcial con una magnitud de 0.998.

La Coruña

El fotógrafo afincado en La Coruña, José Sellier¹³⁸ (1850-1922) captó una secuencia del eclipse (Figura E-49).

¹³⁷ Núñez de Murga, J., J.M., Codina Vidal, 2012, *La participación de Josep Comas Solà, director del Observatorio Fabra, en el eclipse de 1912*, Revista Real Academia Galega de Ciencias 31, págs. 69-90

¹³⁸ Nacido en Lyon, Sellier también se dedicó al cine. No solo exhibía películas que traía de Francia, sino que le cabe el honor de haber rodado la que se considera la filmación más antigua de España, El entierro del general Sánchez Bregua (1897), y no, como se creía hasta hace poco, la Salida de misa de doce de la iglesia del Pilar de Zaragoza, que es posterior.

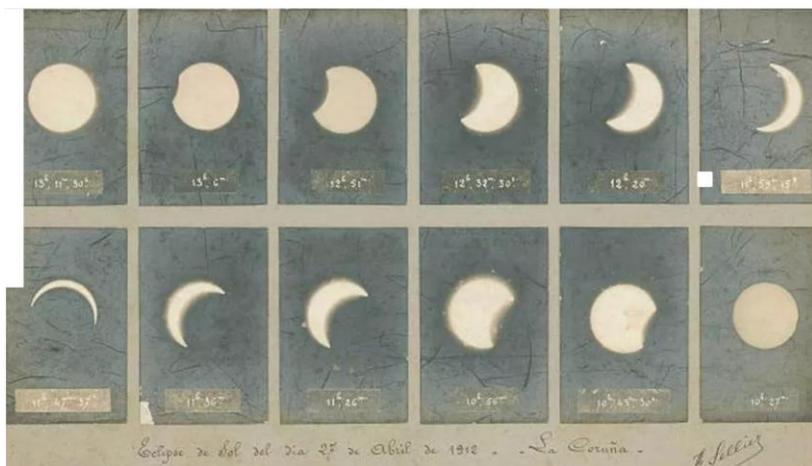
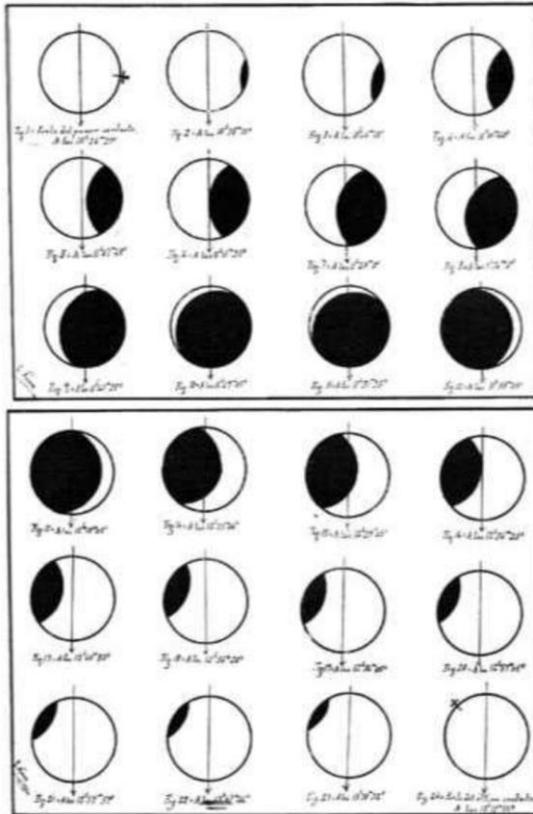


Figura E-49: José Sellier dejó constancia en una docena de imágenes del fenómeno astronómico, que en la postal de la época aparece datado, por error, el 27 de abril de 1912.

Otra serie de observaciones fue realizada por algunos de los primeros astrónomos aficionados de La Coruña pertenecientes a SADEYA (Sociedad Astronómica de España y América). Nos referimos a Emilio Novoa González, Félix Martínez Segarés y Juan Rodríguez Sardiña. Con su propio equipo hicieron alguna fotografía de la corona y una serie de ilustraciones (Figura E-50) que vemos a continuación (Fernández Pérez, 2013)¹³⁹.

¹³⁹ Fernández Pérez, I., 2013, *Nota sobre os inicios da astronomía en Galicia: De Domingo Fontán a Ramón María Aller*, Anuario Descubrílo No. 12, pp. 89-105



Figs. 48 y 49. Diferente fase del eclipse total de Sol del 12 de abril de 1912, observado en Coruña.

Figura E-50: Serie de 24 Ilustraciones con el seguimiento desde La Coruña del eclipse.

Crédito: SADEYA

Marcial Miguel de la Iglesia, Maestro de Cormen, partido de Corcubión (La Coruña) transmitió al OAM (director Iñiguez) una observación que se consideró de importancia. "A las 11h 40 minutos: Ráfagas negruzcas, recorren de E a O con velocidades 8 a 10 metros

por segundo". Según el OAM parece que se trata de las sombras volantes.

Don Marcial contestó el 29 de abril: *Eran en efecto unas sombras volantes que se proyectaban sobre los edificios contiguos a la casa-escuela, como efectos de nubecillas no muy densas que pasasen en aquellos momentos por delante del Sol, pero que sin duda obedecen a otra causa ya que el cielo estaba completamente despejado.*

Asturias

El catedrático de Física del Instituto Jovellanos junto a un teniente coronel y varios más observaron el eclipse en la línea de centralidad entre los pueblos de Somió y Quintueles (Figura E-51) y afirmaron que fue anular.

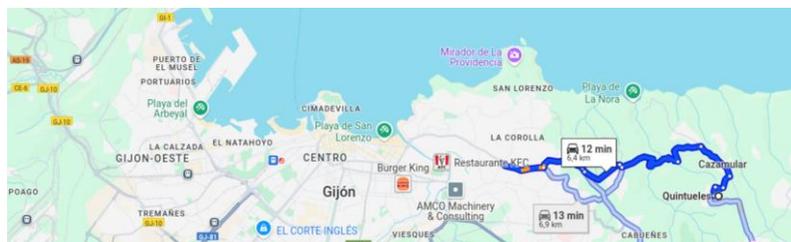


Figura E-51.- Línea azul de conexión entre Somió y Quintueles. Google Maps

Alumnos del Colegio de la Inmaculada se situaron en diferentes lugares en torno a Somió (Figura E-52) como la Quinta del Obispo, Picu del Sol, Santa Catalina, Somió y el Coto de San Nicolás.



Figura E-52: Alumnos del Colegio de la Inmaculada esperando al eclipse

De cronometrar el evento, se encargaría el capitán de la marina de guerra don Luís Rodríguez Zarracina, tomando nota de los datos don Calixto de Rato y Rocés, en la zona de la Quinta del Obispo, se colocaría un moderno espectroscopio, manejado por los hermanos don Nicolás y don Luís Ozalla, pero desgraciadamente para ellos no lograron atrapar las llamadas perlas o granos de Bailey, un curioso fenómeno de breve exposición al ojo humano y sus nuevos adelantos para retratar el universo.

Allá por los lados de Somió, tomaron fotografías Francisco M. Rua, Marquerie y La Fuente, mientras en el Colegio de la Inmaculada cuyo torreón se convirtió en observatorio, haría placas fotográficas Julio Peinado, lamentablemente desaparecidas en sucesos posteriores.

Enrique de Benito coordinó un grupo de la Universidad de Oviedo, con Maximiliano Arboleya, Domingo Bueno, Pedro Sánchez del Río y José López Mesas como adjuntos. No deseando alejarse mucho de la ciudad optó por el barrio de Esteban de las Cruces, en concreto por el lugar denominado Raza de Cruces o de Juan Isidro enfrente de la venta llamada del Filiusu, como a unos 1600 a 1700 metros de la Universidad de Oviedo.

“Para la inspección del disco solar hube le servirme de vidrios ahumados y gemelos de campo con los oculares previamente ahumados. También empleé una cámara fotográfica corriente de marca "Ica" de Dresde y material meteorológico. Dispuse de siete hojas de papel en los colores del espectro para las observaciones espectrales y, en fin, material de dibujo para obtener diseños de las peripecias del fenómeno” (Figura E-53).

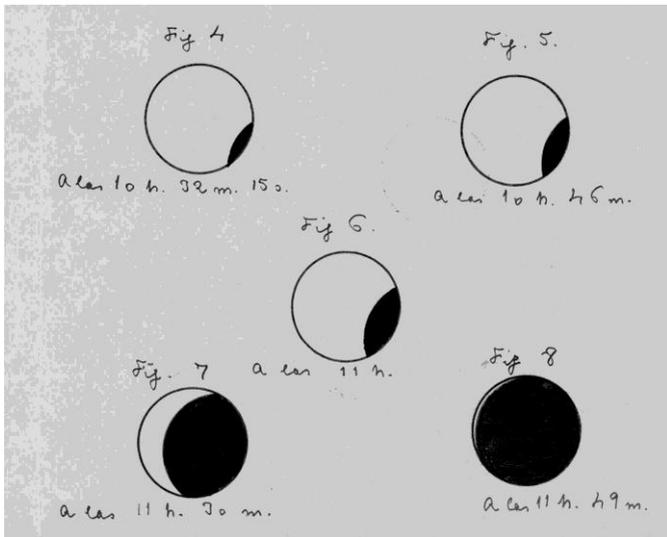


Figura E-53: Variaciones del menguante solar según dibujos de Enrique de Benito en Oviedo

En cuanto a la fase de totalidad podemos decir que en San Esteban de las Cruces el eclipse fue prácticamente total. Sin embargo, hemos de señalar que lo que ha sucedido es que la totalidad ha sido tan fugaz que ha impedido darse cuenta bien del fenómeno, apenas iniciado cuando ya había concluido. Desde luego no creo que se pueda calificar de anular, porque yo no he visto un anillo solar bien recortado y uniforme.

En las personas el fenómeno ha producido una general curiosidad y afición. Al ocurrir la fase máxima, la emoción fue unánime y algunos de los que nos rodeaban mirando al Sol aplaudieron.

En los animales hemos visto que durante la mayor obscuridad las aves se cobijaron en el ramaje de los árboles. Conforme iba renaciendo la luz se pusieron a pjar. Unas vacas que pastaban próximas a nosotros durante la totalidad huyeron asustadas”.

Cacabelos

Dos días antes del eclipse, mientras el barco más grande del mundo, el Titanic, naufragaba en Terranova, *Diario de León* ya daba cuenta de la llegada de la comisión científica internacional a Cacabelos. Allí estaban los señores Cos y José Tinoco Acero (1882-1953), del Observatorio de Madrid, encargados del «examen telescópico y espectroscópico».

Allí se dejaron ver también los astrónomos madrileños P. Carrasco y A. Aguilar Vela. Su tarea era la impresión fotográfica espectroscópica y de la corona solar. Desde París habían llegado los doctores Fred Vies y Jacques Carballo. «*Tratan de cinematografiar las fases del eclipse y será muy curioso para la ciencia y para todos si estos señores obtienen el resultado que esperan y podemos ver reproducida sobre un lienzo toda la grandeza del espectáculo que se avecina*», se leía en *Diario de León*.

La localidad de Cacabelos fue la elegida para ubicar una de las estaciones del Observatorio de Madrid (Carrasco, 1915)¹⁴⁰ para seguimiento de este extraño fenómeno. Las predicciones de que disponían en aquel momento, tanto en lo referente al momento exacto de la ocultación como de la localización geográfica de los puntos desde los cuales sería visible, eran enormemente imprecisas.

Uno de los mayores problemas que se encontraron es que realmente desconocían la ubicación exacta de los pueblos que visitaban. ¿Sería un eclipse total o sería anular?

Solo la paciente observación sacaría de dudas a los investigadores, de modo que se ubicaron como mejor pudieron a lo largo de esta estrecha franja con sus pesados equipos -fue uno de los primeros estudiados mediante cámaras cinematográficas- y esperaron a comprobar si habían tenido la enorme fortuna de acertar con la localización correcta.

No anduvo lejos del anular Iñiguez, director del Observatorio de Madrid, que observó el fenómeno desde Cacabelos (Figura E-54), cuando escribía: «... *de los trabajos hechos en Cacabelos, parece deducirse que el eclipse allí no anduvo lejos de ser central*».

A nuestro cargo estuvo un espectrógrafo para fotografiar la región del Ultravioleta, aunque su sensibilidad se adentraba en el visible. Era del tipo de cámara prismática y estaba formado por dos prismas de cuarzo de 60° y estaba instalado horizontalmente. Recibía los rayos solares de un celostato de Grubb, montado en la forma clásica.

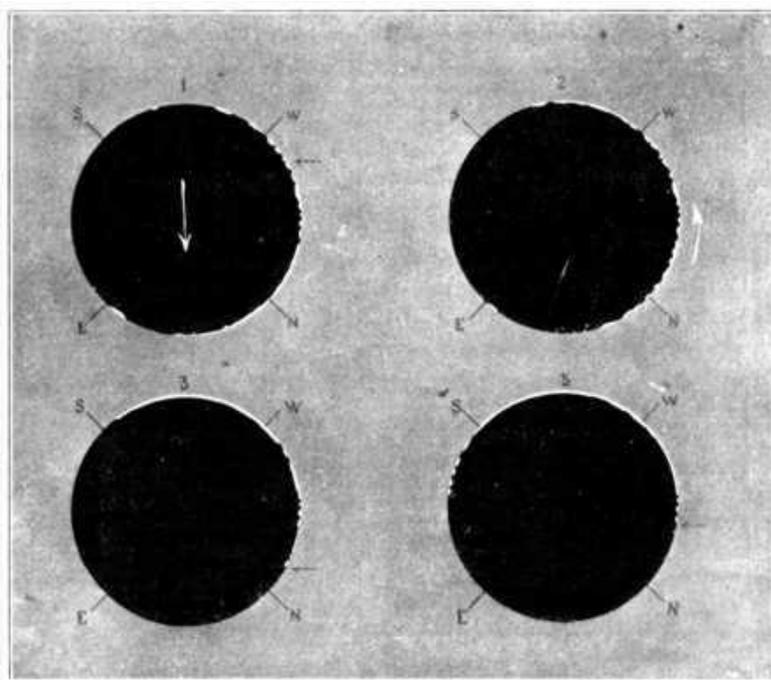
Según que la contribución luminosa de los espectros fuera de la cromosfera o de la fotosfera, los astrónomos del OAM pudieron deducir los dibujos de la Figura E-54, que permiten seguir la marcha del fenómeno en su fase crítica siguiendo un método geométrico explicado en el artículo de Carrasco (1915).

¹⁴⁰ Carrasco, D.P., 1915, *El eclipse de Sol de 1912*, Revista de la SAEA Año V, No.40

Una flecha que cruza el primer dibujo indica el sentido de la marcha aparente de la Luna sobre el disco solar. Además, la escala del dibujo es suficiente para determinar los ángulos de posición de los distintos detalles y referirlos al contorno lunar.

En la Figura E-55 mostramos un dibujo a escala exagerada. Si comparamos este dibujo con los que corresponden a las fases del eclipse el acuerdo es muy satisfactorio y pone de manifiesto la capital importancia de estos accidentes del borde lunar sobre las circunstancias del eclipse.

Figura E-54



Aspectos del eclipse de 1912. Las perlas se han exagerado en anchura.
Comisión del Observatorio Astronómico de Madrid

Se vislumbran por los accidentes del borde lunar, destellos cromosféricos o chispazos luminosos que parecen por una u otra región del limbo del astro eclipsado en forma de luminosas perlas. El eclipse estudiado planteado un nuevo tipo de eclipses, intermedio entre los totales y los anulares, eclipse perlado (Figura E-55). Los límites pues de la zona de totalidad no serán líneas, sino zonas de *eclipse perlado o fragmentado*.

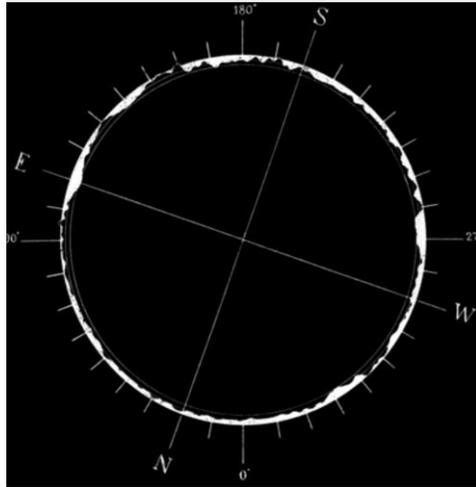


Figura E-55: Una nueva denominación: Eclipse perlado

Los accidentes lunares, valles y picos, pueden representar una diferencia de $4''$ de arco, lo que representa unos 15 segundos de duración para su paso sobre el borde del disco solar. Esto se traduce en una franja máxima en la Tierra de unos 8.800 metros, en la que el borde solar se ve interrumpido por los relieves lunares.

El astrónomo madrileño concluye:

- 1) el eclipse fue perlado
- 2) la zona de presunta totalidad se redujo a una zona de eclipse perlado, con perlas sueltas por ambos costados
- 3) las zonas laterales de perlado en un solo sentido tenían desigual anchura, siendo más extensa la correspondiente al límite Sur
- 4) Solo en la dirección estricta del movimiento puede considerarse como total y sensiblemente instantáneo
- 5) La línea de totalidad estaba situada a unos 2700 metros de nuestra estación

Incluimos un par de imágenes sobre otro tipo de observaciones en Cacabelos durante el eclipse (Figura E-56)

EL ECLIPSE DE SOL

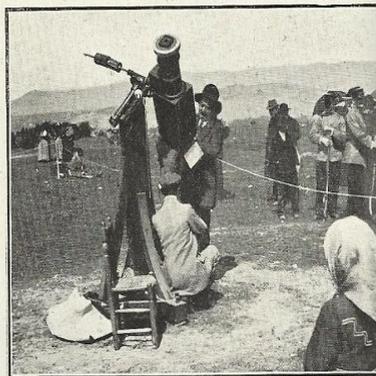
Haos tenido la fortuna de recoger la más interesante información del eclipse del 17, obtenida por nuestro compañero Adolfo Durá en Cacabelos (León), donde se reunieron las comisiones de los Observatorios de San Fernando y Madrid, del Ministerio de Instrucción Pública y Universidad de París. En la prensa diaria se ha negado que dichas comisiones hubieran podido observar la totalidad; pero reveladas las placas impresionadas durante el fenómeno, se ha comprobado que el eclipse fué total en Cacabelos, cuyo nombre, por tal suerte, tiene desde aquel día singular mención en la historia de la ciencia astronómica. El principal trabajo realizado por los astrónomos franceses ha consistido en cinematografiar las fases máximas del eclipse con un magnífico aparato que obtiene 30 fotografías por segundo.



M. Vlès y M. Carvalho, astrónomos enviados por la Universidad de París á Cacabelos (León) para cinematografiar el último eclipse



PARÍS.—Grupo de gente viendo reflejarse el fenómeno celeste en un charco de agua
 FOT. BRANGER



Instalación de la Universidad de París en Cacabelos (León) para estudiar el eclipse total de sol ocurrido el 17

Figura E-56: Detalle de una página de la revista gráfica 'Nuevo Mundo' con imágenes del desembarco de astrónomos en Cacabelos, el 17 de abril de 1912

Observatorio de San Fernando (Tomás Azcárate):

Otro ilustre visitante fue el director del Observatorio de San Fernando, el general Tomás de Azcárate (1849-1921), que resumió sus observaciones en la revista de la SAEA no.33 febrero de 1914.

Como hemos comentado los marinos colocaron su operativo en Cacabelos, junto al del Observatorio de Madrid. La ventaja del Observatorio de San Fernando es que disponía de numeroso personal que funcionaba según una estructura jerárquica. La principal idea era determinar la línea de centralidad y la constante k , relación entre los radios lunar y terrestre.

Se dispusieron de numerosos marineros en tres líneas¹⁴¹ de 10 km de extensión perpendicular a la zona de centralidad en la carretera ente Villafranca y Ponferrada. *“En cada kilómetro se estacionaron 10 observadores espaciados de 100 en 100 metros y otro jefe de grupo, encargado de darles las últimas instrucciones antes de ir a ocupar sus puestos, después de pasar el eclipse recoger las observaciones de grupo, antes de que pudiera haber comunicación entre sí, y encargárselo al jefe de línea. Todos iban provistos de vidrios oscuros”*.

La observación principal se limitaba a distinguir qué clase de eclipse, de los tres posibles, tenía lugar, previa una conferencia sobre el fenómeno que se iba a observar, ilustrada con un dibujo en que estaban pintados en color los tres eclipses, y cuyo dibujo se repartió a cada jefe de grupo para las últimas instrucciones, y para que sobre él dijera cada observador lo que había visto, y poder deducir de estas explicaciones qué clase de eclipse era el observado, en el caso de ofrecer dudas por no estar exactamente representado el fenómeno en el dibujo.

La tropa salió a las 7h30m y cuando se colocó el ultimo hombre del cordón eran las 10h29m. El que suscribe se estableció con dos oficiales y otro capitán que se agregó, a 600 metros del

¹⁴¹ La primera comprendía entre Pieros y Camponaraya; la segunda entre Villajer y Villarquemado y la tercera entre Oviedo y Olloniego.

kilómetro¹⁴² 437, que pensamos estaría en la línea de totalidad, lo cual resultó un error.

Llevábamos gemelos prismáticos con los cuales pudimos ver, ya avanzado el eclipse, unas estrías muy delgadas de color violado que partían de los cuernos del creciente.

Quando el eclipse llegó a su máximo solo quedó al descubierto un anillo sumamente estrecho que aparecía roto en varios puntos y que sin duda era debido a las irregularidades de la superficie lunar, que aún siendo pequeñas fueron suficientemente elevadas para romper la continuidad de aquel anillo tan delgado. Este duró escasamente 0.4 segundos

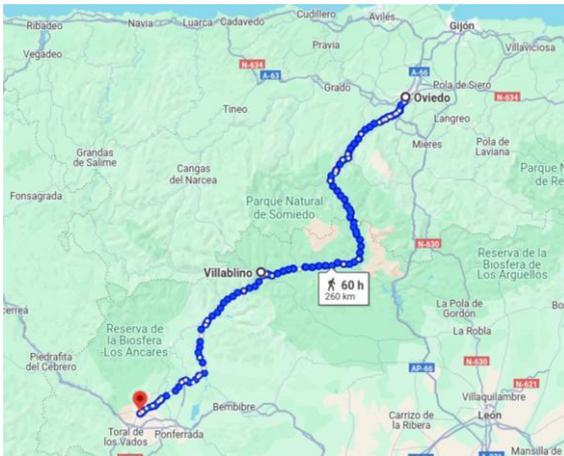


Figura E-57: Posiciones de los tres centros de las franjas. Oviedo: 43° 18' 20" - 5° 43' 57". Villablino: 42°55'11" - 6° 16' 40". Cacabelos: 41°35'00" - 6°39'54"

¹⁴² Entendemos que se refiere a la carretera N-6 (sin autovías), en la cual la distancia de Madrid a Cacabelos es de 401 kms. Dentro de un cierto margen de error se colocaron al norte de Cacabelos.

Según información del capitán Rafael Martín de la Escalera: *“los soldados de la sección que consignó la totalidad, observaron la corona perfectamente definida y según indicaciones del sargento encargado de aquel trozo (situado en el su centro), se vieron las perlas tan características del fenómeno de totalidad”*.

Las determinaciones de las franjas necesitaban un sistema de referencia. Para ello se tomaron posiciones determinadas por otras instituciones (OAM e Instituto Geológico y Minero) en Oviedo (Castillo de Tudela), Villablino y Cababelos.

A partir de los registros citados se pudo estimar el valor de k , radio lunar en unidades de radio terrestre, con el error más probable, teniendo en cuenta que los observadores estaban espaciados cien metros

$$k = 0,272289 \pm 0,000002$$

Como comparación tengamos en cuenta que en 1982 la Unión Astronómica Internacional adoptó el valor de $k = 0.2725076$

En la actualidad existen numerosos programas que simulan los parámetros de eclipses pasados y futuros. Si utilizamos, por ejemplo, el *SunEarth* del Goddard Space Flight Center de la Nasa, tenemos para 1912: *Hora del máximo: 11h34m; Coordenadas del máximo: 38.4 N, 11.2 W; Anchura de la franja de totalidad: 1 km.; Duración totalidad: 2 segundos.*

A continuación, se incluyen comentarios de varios observadores de las localidades próximas a la totalidad:

Juan Alvarado, Director de Escuela: *“En el pueblo de Villablino (línea de centralidad) todos lo juzgamos parcial, pero un observador dijo que era total. Otros dijeron que era anular, en concreto dos grupos situados al este y al Oeste de otros dos grupos que afirman fue parcial...”*

Manuel Núñez, Registrador de la propiedad de Verín: *“... el disco solar nunca estuvo cubierto... Hubo un momento, una fracción de segundo, en que era completa la ilusión de totalidad; pero los prismáticos no dejaban lugar a dudas, porque al aumentar el disco del Sol, ..., dejaban ver un fino filete anular”*.

Ricardo Rivados, Profesor de enseñanza de Verín: “... fue total a las 11h 44m 41s, e instantánea y con bordes superior e inferior adentellados: fue como un relámpago, así que la oscuridad completa no llegó a la zona.”

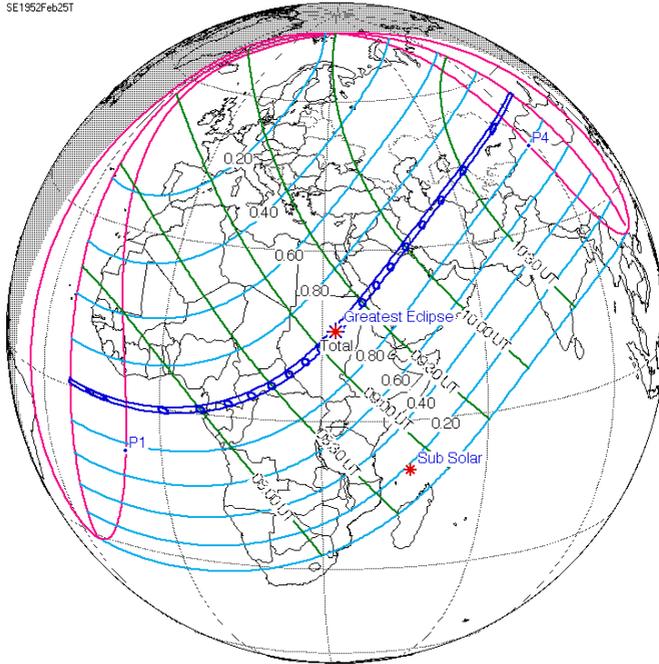
Tomas Martínez. Profesor de primera enseñanza de Barco de Valdeorras: “... la totalidad o el máximo contacto se produjo a las 11h 49 m...”. El eclipse no acabo de ser total, pues la sombra lunar nos dejó una pequeñísima parte de la fotosfera solar”. “El paisaje (en el momento de totalidad) se presentó triste y macilento, y el frío era bastante intenso. Las gallinas buscaban su albergue, y una que vi y tenía sus polluelos, los cobijó debajo de sus alas”.

Amadeo Pérez desde Fresnado (Leon). “La totalidad tuvo lugar a las 11h 55 m.”. “En la totalidad apareció como un alambre de fuego rodeando el disco negro de la Luna”. “este alambre, en el momento culminante, y con una rapidez asombrosa, se rompió, despidiendo multitud de rayos, volviendo instantáneamente a aparecer la luz del Sol...” “Las palomas fueron poco a poco recogándose, y las gallinas, corrieron en dirección del gallinero”.

1952 ECLIPSE EN GUINEA ECUATORIAL

Nos encontramos ahora con un eclipse total que, aunque ocurrió en África Central, fue visible en un país que entonces pertenecía políticamente a España: La Guinea Española (Figura E-58).

SE1952Feb25T



La Comisión Nacional de Astronomía aprobó la conveniencia de mandar una expedición con todas las instituciones que estuvieran interesadas. Desde que en 1914 el Observatorio de Madrid participase en la observación del eclipse total del 21 de agosto de aquel año llevada a cabo en la península de Crimea (Feodosiya, Ucrania), no se había vuelto a organizar en España ninguna expedición de este tipo. A pesar de las dificultades

financieras el orgullo patrio pudo más: España no podía estar ausente de un evento que tenía lugar en su territorio.

El Seminario de Astronomía y Geodesia de la Complutense fue una de las instituciones interesadas en participar y su trabajo se ha resumido en Torroja¹⁴³ y Bongera (1954)¹⁴⁴. Como era de esperar El Observatorio de San Fernando se unió a la empresa (González, 2003)¹⁴⁵. Finalmente, El Observatorio del Ebro contó con la participación de los jesuitas P. Romaña y P. Cardús.

Un trabajo preliminar fue realizado por Cardús S.J. con la selección del lugar. Resultó un éxito ya que en Cogo, situado en una loma a dos kilómetros del puerto, hubo buen tiempo el día del eclipse. Después del evento los nativos le dieron el nombre de *Montaña de los Sabios*.

La expedición salió en dos barcos. El *Isla de Tenerife*, partió de Cádiz a mediados de enero. Sin embargo, el grueso de la expedición embarcó en el *Domine*. En conjunto se llevaron 120 cajas de aparatos, algunos de unos 500 kilos de peso. El desembarco no se podía hacer en un muelle regular sino a hombros de nativos o en una especie de silla gestatoria papal. Ya en la montaña hubo que alisar el terreno (100 x 80 metros) y construir un pequeño acceso para los jeeps.

Unos días antes, todos los integrantes de la expedición recibieron claras instrucciones médicas sobre la profilaxis del paludismo. para la cual recibieron los correspondientes comprimidos de quinina y A.T.P, contra la malaria y el paludismo, respectivamente.

¹⁴³ J.M. Torroja (1916-1994) era catedrático de Astronomía de la Universidad Complutense. Con el tiempo llegaría a ser el Primer Director del Observatorio del Teide (1969-1972), antecesor del actual Instituto de Astrofísica de Canarias.

¹⁴⁴ Torroja, J.M., Bongera, V., 1954, *Determinación de los instantes de los contactos en el eclipse total de Sol de 25 de febrero de 1952 en Cogo (Guinea Española)*, Urania No. 236

¹⁴⁵ González González, F.J., 2003, El Observatorio de San Fernando y la expedición española a Guinea para la observación del eclipse total de Sol de 1952, *Revista de Historia Naval* 83, 55-78

Determinación de contactos (Universidad de Madrid)

Su campo de trabajo se centraba más en la geodesia. Uno de los métodos clásicos de determinación de longitudes geográficas se basaba en la observación de eclipses de Sol u ocultaciones de estrellas por la Luna. Conocidas las coordenadas del lugar de observación, las coordenadas del Sol y la Luna y la paralaje de ésta, podía determinarse la hora local del eclipse.

Recíprocamente, determinado por observación el instante del eclipse podía calcularse la longitud, supuesta desconocida, en función de los otros elementos conocidos.

Hoy día el problema de determinación de longitudes puede ya resolverse, gracias a la utilización de la radio. Pero el método anterior

puede seguirse aplicando para fijar la posición del lugar de observación sobre la superficie terrestre.

Señales de tiempo en la cámara: Se instaló un péndulo Strasser, amablemente cedido por el Servicio de Geodesia del Instituto Geográfico y Catastral, cuyos segundos habían de registrarse en la película. En previsión de posibles averías se disponía también de un cronómetro Ditisheim. Para la alimentación general se llevaron dos grupos de 2,7 Kw. accionados por motores de gasolina.

Uno de los canales de inscripción de la cámara llegó averiado, por lo que hubo que limitarse al otro para efectuar las inscripciones. A éste se conectó el diapasón, intercalado en serie con el circuito del péndulo. Con esta disposición se obtenía la impresión del diapasón durante el medio segundo en que el contacto del péndulo permanecía cerrado y aparecía en blanco durante el medio segundo en que el contacto estaba abierto.

La idea de resucitar este método de observación de eclipses de Sol con fines geodésicos es debida a Banachiewicz, quien señaló que conocida la velocidad con que la sombra recorre la superficie terrestre y la diferencia entre los instantes en que la sombra alcanza dos lugares sobre dicha superficie, es posible calcular la distancia entre ellos.

Para resolver este problema geodésico era necesario conocer con suficiente precisión el movimiento del cono de sombra con relación a la Tierra y una determinación, también suficientemente aproximada, de los instantes de los contactos en las estaciones consideradas.

A esta tarea se dedicó el equipo de la Universidad Complutense con la ayuda de una cámara de cine que permitiese fijar los contactos. La película obtenida se conservó para su revelado en Madrid. A continuación, se pasaba las placas por un densitómetro, del Laboratorio de Termodinámica de la universidad y se trataba de convertir las densidades en intensidades fotométricas mediante registros independientes con una cuña fotométrica (Figura E-59), ya que, como ya vimos, la respuesta de la película fotográfica a la luz no es lineal.

La mañana del eclipse el cielo se presentó bastante despejado, empezando a nublarse al llegar la totalidad. Las condiciones de observación fueron bastante buenas durante el segundo contacto. Durante la totalidad aparecieron más nubes que dificultaron grandemente la observación del tercero, pero sin llegar a impedirlo por completo. Tratándose de experimentar un método, entre cuyas ventajas está precisamente la posibilidad de su utilización con cielo cubierto, no parece que las condiciones en que se produjo este eclipse puedan tacharse de desfavorables. Sin embargo, el hecho de que la cobertura no fuera uniforme, sino debida a nubes aisladas, introdujo perturbaciones muy apreciables en el tercer contacto, que limitaron grandemente la utilización de los resultados correspondientes.

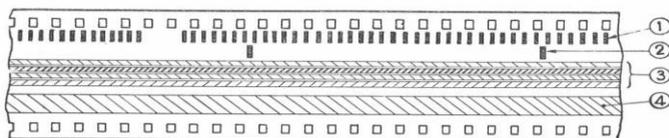


Figura E-60: Segmento de la película: (1) Señales del diapasón, (2) Las del péndulo, (3) Bandas de impresión solar y (4) Banda sensitométrica de referencia.

A la vista de la película se vio inmediatamente que con una sola impresión de referencia resultaría difícil reconstruir con la precisión necesaria las intensidades registradas por medio de la curva de reproducción de transparencias-intensidades (curva característica) del film. En vista de lo cual tuvimos de recurrir a determinar los instantes de los contactos por el cambio que en los mismos había de aparecer en la pendiente de la curva de transparencias.

Observatorio de San Fernando

Llegados a Guinea se procedió a la instalación de los equipos en la colina de cogo. La caseta de mayores dimensiones estaba ocupada por los dos coronógrafos Steinheil del Observatorio de San Fernando, uno grande y otro pequeño, aptos para obtener placas de 30 x 40 cm y de 15 x 16 cm, servidos por un celostato Mailhat con dos espejos colocados en una caseta inmediata.

En sus inmediaciones se hallaba el anteojo ecuatorial Cooke. con un astrógrafo Zeiss adosado, cuya misión era seguir visualmente el eclipse y fotografiar la corona, además de intentar observar algún astro en las cercanías del disco solar.

Además, se habían instalado los tres cineteodolitos¹⁴⁶ Askania, uno de ellos dotado de prisma objetivo, destinados a obtener el mayor número posible de fotografías del eclipse, para la determinación precisa del tiempo de los contactos. Completaban la instalación de San Fernando un registrador de tiempo Askania, un oscilógrafo, dos cronómetros de tiempo medio con contactos, un receptor de radio Hallikrafter, varias baterías para alimentación de los diferentes circuitos, un climamotor (una especie de aire acondicionado) para el funcionamiento de la radio y del oscilógrafo con baterías y, finalmente, un termógrafo y un barógrafo de sensibilidad reforzada.

¹⁴⁶ Teodolito de topografía en el cual una cámara de cine con lentes de 60 a 240 pulgadas de longitud focal sustituye el ojo de topógrafo

Según un escrito de Francisco Fernández de la Puente a su director, fechado en Cogo un día después del fenómeno: «*Se verificó la observación en condiciones “aceptables”, con una ligera capa de cirros y algunos cúmulos. Los instrumentos, que desde el 23 quedaron dispuestos y probados, sufrieron algunos fallos importantísimos que se achacan principalmente a efectos climatológicos*¹⁴⁷. Así y todo, parecen haberse obtenido fotografías de los cuatro contactos y de la corona en número suficiente para su estudio; esto no se sabrá definitivamente hasta que, regresada la expedición, se revelen las placas obtenidas; allí, por la influencia del clima, el revelado es casi imposible”.

Con el antejo ecuatorial Cooke se cantó y se registró en el contador de tiempo cada uno de los cuatro contactos. Con este mismo instrumento se obtuvo durante la totalidad una fotografía de dos minutos de exposición con placa Ilford. con la que se consiguió la imagen completa de la corona. Con el coronógrafo grande se impresionaron, entre el primero y el segundo contacto, 13 placas, y entre el tercero y el cuarto, obteniéndose, además, cuatro de la totalidad, de 23, 8, 14 y 5 segundos de exposición, respectivamente. Con el coronógrafo pequeño se obtuvieron además 10 placas entre el primero y el segundo contacto, y otras tantas entre el tercero y el cuarto, más tres durante la totalidad, con exposiciones de 5, 10 y 15 segundos.

Con los cineteodolitos se obtuvieron durante el primer contacto 10 series de 10 fotografías cada una, a ritmo de un segundo, con un minuto de espacio entre una y otra serie.

Observatorio del Ebro

El Observatorio del Ebro había instalado en el extremo sur de la explanada un antejo altazimutal con el filtro monocromador de Lyot (filtro interferencial polarizador), para la observación del eclipse cromosférico. Por último, en una loma situada al sureste y más resguardada del viento, el mismo Observatorio colocó un

¹⁴⁷ De nuevo el problema de confundir climatológicos con meteorológicos.

equipo registrador magnético La Cour, para observar la influencia del eclipse en los elementos magnéticos terrestres.

1959 EL ECLIPSE TOTAL CANARIO

Después de cincuenta años de ausencia, se esperaba con ansia este eclipse, aunque tuviera lugar en territorio insular (Figura E-61). En las islas el interés era todavía mayor ya que el anterior en su Historia, el de 1706, no tuvo la menor repercusión.

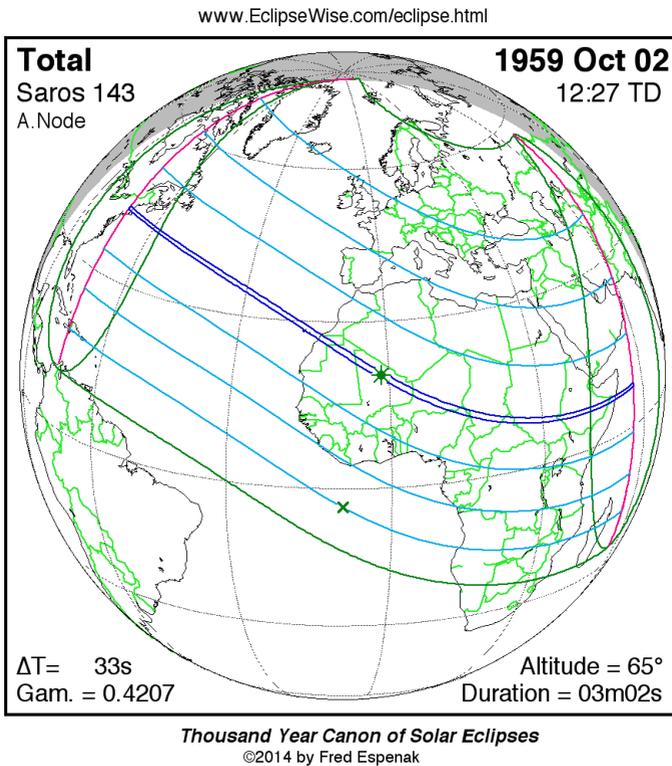
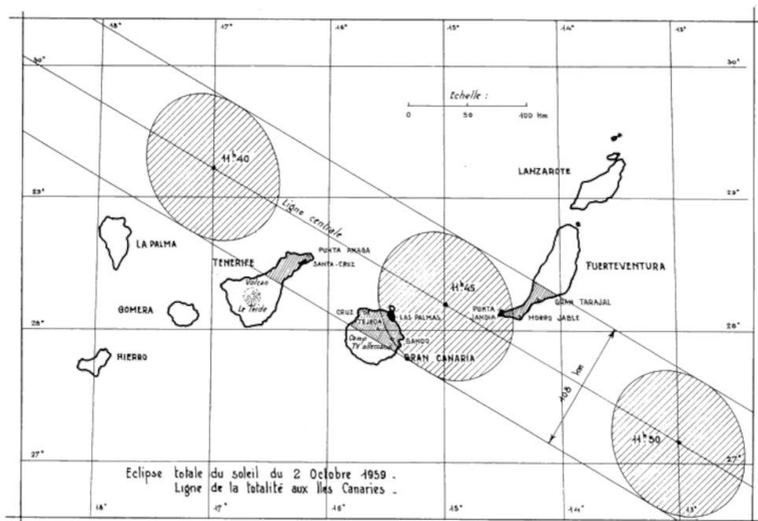


Figura E-61: Camino de totalidad del eclipse canario

La totalidad fue visible desde el NE de Massachusetts y el borde sur de New Hampshire en USA, las Islas Canarias, Marruecos, Sahara español, Mauritania, Mali, Níger, Camerún, Chad, Sudán del Sur, Etiopía y Somalia.

Un día mágico. El 2 de octubre de 1959 parte de las Islas Canarias fueron testigo de un acontecimiento astronómico único; un eclipse total de Sol. El espectáculo produjo una franja de sombra de aproximadamente 175 kilómetros de ancho, que se proyectó de noroeste a sureste sobre Tenerife, Gran Canaria y Fuerteventura, y dejó literalmente a oscuras durante unos minutos a las dos capitales canarias (Figura E-62).



E-62: Zona de totalidad del eclipse en la zona de Canarias, de unos 175 kilómetros de anchura, basada en los cálculos de la Sociedad Astronómica de Francia (Geneslay, 1960).

El espectáculo tuvo una gran repercusión social, reflejada en los ya importantes medios de comunicación. Ahora sería un acto

irresponsable por el peligro de causar una ceguera, pero los medios de comunicación de la época animaban a los ciudadanos a ahumar cristales para ver el eclipse. Los que tenían algún dinero, compraron gafas especiales en las ópticas a un precio de cinco pesetas.

A las 10.17 minutos de aquella ventosa mañana de viernes empezó a disminuir la luz solar. La interposición de la Luna entre el Sol y la Tierra originó una oscuridad que alcanzó su plenitud a las 11.41 minutos. La noche irrumpió súbitamente en las Islas, y los pueblos y ciudades del Archipiélago encendieron su alumbrado público.

Habitantes de zonas rurales a las que la oscuridad les cogió por sorpresa –los canales informativos eran entonces muy limitados– llegaron a confesar que por sus cabezas pasó la idea del fin del mundo.

A continuación, incluimos diferentes comentarios de testigos y los principales hitos de las observaciones según el lugar de observación.

Fuerteventura

Una gran parte de la información fue proporcionada por el periódico *Falange* de Las Palmas.

El 16 de septiembre visitó Jandía el Gobernador Civil de la provincia, Honorato Martín-Cobos Lagüera (1903-1965). Desde el aeropuerto tuvo la oportunidad de ver el estado de la nueva carretera que conduce al lugar de observación. Allí visitó ocho nuevos pabellones edificadas para los expedicionarios y que constaban de tres dormitorios, cocina y servicio, luz y agua corriente.



Figura E-63: Mapa de la Península de Jandía. Crédito: Google Maps

Siguiendo la opinión de los expertos en climatología el sur de la isla de Fuerteventura, Jandía (Figura E-63), concentró la mayor parte de los astrónomos.

Entre ellos destacaba la expedición estadounidense con científicos como Richard Hansen (HAO Boulder), Richard B. Dunn (1927-2005), R.G. Athay (1923-2015) y otras veinte personas. La mayor parte del instrumental procedía de la base americana en Wiesbaden (Alemania Federal). Destacaba una cámara fotográfica capaz de obtener 600 fotos por segundo y cuya película se conservó en los frigoríficos del Puerto de la Luz hasta su traslado a Jandía.

La expedición inglesa constaba de dos equipos. Uno de ellos, instalado en el Hospital de Morro Jable, de la Obra Social de Falange, estaba formado por H. Von Klüber (1901-1978), E.W. Foster y C.R. Spratt. Habían invitado a Edith Müller¹⁴⁸ (1918-1995), nacida y fallecida en Madrid y de nacionalidad suiza, que entonces

¹⁴⁸ Asentada en Basilea, fue muy importante para el desarrollo de la astronomía en España.

trabajaba en la Universidad de Michigan. El segundo grupo se instaló en el Faro de Punta Jandía viviendo, junto con el torrero, los cuatro científicos de la Universidad de Cambridge, uno de ellos portugués.

El día 17 de Setiembre llegó un equipo español liderado por los astrónomos del Observatorio de Madrid, Rafael Carrasco (1901-1981) y Enrique Gullón (1903-1969). Escogieron como lugar de observación el Alto de las Salinas. Nueve enormes cajones de varias toneladas de peso les esperaban desde días antes del eclipse. Contenían los aparatos que habían de auxiliar al estudio de la corona solar.

Frente a Morro Jable habían fondeado, el 2 de octubre, multitud de barquillos llegados desde Gran Canaria y otros puntos de Fuerteventura. Sin embargo, la sensación del lugar fue el cañonero “Vasco Núñez de Balboa”, con sus 95,21 metros de eslora, 12,15 metros de manga y 3,78 de calado.

La prensa estuvo presente desde los inicios. Periódicos como el *Diario de Las Palmas* tuvo un enviado especial en la persona de Agustín de la Hoz.

El 1 de Octubre amaneció radiante pero, por desgracia, el día siguiente aparecieron nubes, alguna de las cuales no permitieron la correcta observación del eclipse. La decepción fue tremenda entre los expedicionarios (Figura E-64). Tanto trabajo previo, una elección perfecta, mucho dinero gastado y al final nada. El primer grupo alemán, con la Dra Bronsart al frente, no podía tampoco ocultar su decepción.



Figura E-64: Decepción ante el cielo nublado de Jandía.

Otra suerte corrieron los holandeses que concentraron sus equipos en los cercanos Gran Tarajal y Taralejo. El equipo estaba liderado por J. Houtgast (Instituto Astronómico, Universidad de Amsterdam) y C. De Jager (1921-2021) (Universidad de Utrecht).

El principal instrumento se diseñó para tomar fotografías en luz roja y azul. Un celostato de pyrex de 26 cm alimentaba de luz a un sistema compuesto por un refractor Zeiss ($D=79$ mm, $f=137$ cm) y un refractor Rüdersdorf ($D=80$ mm, $f=120$ cm). Ambos telescopios disponían de cámaras Leica para el registro de las películas Agfa IFF 13.

Fotografías del eclipse fueron tomadas simultáneamente en la línea H_{β} y el continuo en 6235 \AA . Para un primer análisis ver Houtgast (1960). Otro grupo holandés estudio la relación entre dos zonas de espectro continuo I_{4861}/I_{6235} , como indicador de la densidad

electrónica en una gran protuberancia (Koelbloed y Kuperus, 1963)¹⁴⁹.

Tenerife

La sombra de la totalidad pasó por encima de los municipios de Orotava, Santa Úrsula, La Victoria, La Matanza, Tegueste, La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, El Rosario y Arafo. Sin embargo, no tenemos noticia de ninguna misión científica que se hubiera desplazado a la isla. El Servicio Meteorológico Nacional informó de una temperatura máxima de 24° C en la capital, aunque no hay información sobre la nubosidad.

El periódico santacrucero *El Día* publicó un número especial (18 setiembre) dedicado al 50 aniversario del eclipse. El químico de carrera, pero periodista de profesión Francisco Ayala (1924-2015) comentaba que sus colegas se reunieron en el Observatorio Meteorológico de Santa Cruz, situado en la calle San Sebastián. Su objetivo era recabar datos sobre el eclipse, pero todo terminó en una amena conversación.

El también periódico tinerfeño *Diario de Avisos* dedicó, en 2019, un número especial dedicado al 60 aniversario¹⁵⁰ del Eclipse. Allí se incluían varias experiencias personales. La entonces veinteañera Juanita, del Puerto de la Cruz recordaba que: “*Era como el fin del mundo, de repente se hizo de noche y la gente pasó miedo porque aquella oscuridad a mediodía no auguraba nada bueno*”. Puri, vecina de La Orotava a la que el fenómeno también sorprendió con poco más de 20 años, no ha olvidado que “*el burro que teníamos en la finca se puso a rebuznar, muy alterado, las gallinas se volvieron locas y empezaron a correr de un lado a otro, y los gallos se pusieron a cantar*”.

¹⁴⁹ Koelbloed, D., Kuperus, M., 1963, *On the electron concentration in a prominence, observed during the total Solar Eclipse of October 2nd, 1959*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam

¹⁵⁰ Diez años antes, 2009, se había celebrado en el Museo de la Ciencia y el Cosmos una serie de conferencias para celebrar el 50 aniversario del eclipse.

Mary, que estaba a punto de cumplir 12 años, asistía a clase para aprender a coser en Santa Cruz y recuerda que *“paramos para asomarnos a la calle, porque impresionaba ver cómo se había hecho de noche de repente. La imagen que se me quedó grabada fue la de los coches y las guaguas (autobuses) con las luces encendidas cuando minutos antes era un día de lo más normal”*. Dentro de este apartado quisiera incluir al de un colega y amigo, al que tal día le coincidió con su primer día de colegio. Espero que a estas alturas ya tenga disociados ambos eventos.

El divulgador Juanjo Martín, en una publicación de la Universidad de La Laguna de 2009, transmitió la impresión de otro testigo: Agustín Alonso Elvira que entonces tenía 15 años: *“Ese día iba a buscar los pasajes porque me iba a Venezuela donde, luego pasé 23 años. No sabía que ese día habría un eclipse. Tras conseguir los pasajes, fui al Mercado con mi sereta¹⁵¹ a comprar. Había que hacer cola para recoger las papas racionadas. Entonces me agarró el eclipse y vi cómo todo el mundo ahumaba los cristales. El cuerpo se me quedó raro, como si hubiera estado de amanecida”*.

Siguiendo con los medios de comunicación existentes en la isla el periódico *La Tarde* de Tenerife escribía el 1 de octubre de 1959: *Preocupación por todo lo que ocurrirá mañana, el eclipse de Sol. Hacia las diez ya están preparando en la ciudad los que carecen de gafas antisol, sus cristales ahumados. En las cocinas se ha visto a los muchachos encendiendo sus papeles y aplicar la llama bajo un pedazo de cristalería, acaso procedente de alguna ventana quebrada por los pelotazos imprevistos de las otras viejas horas callejeras.*

Después del eclipse comentaba *El Día* (8 de octubre): *“En torno a la Luna, el incendio de la corona solar, tratando de alumbrar un cielo herido y más misterioso que nunca”*.

¹⁵¹ Cesta. Tiene diferentes formas y tamaños, así como asas o no, según las islas y los usos que se le da.

Gran Canaria

La ciudad de Las Palmas y las villas de Santa Brígida, Ingenio, Telde y San Bartolomé de Tirajana fueron las afortunadas con la visión de la totalidad del eclipse.

La Isleta (Las Palmas) fue otro de los lugares afortunados con misiones extranjeras. El Jefe de la Policía Municipal de Las Palmas, F. Pérez Carrillo facilitó la instalación de los grupos en el norte mismo, de claro interés estratégico.

La misión fue organizada por la Sociedad Astronómica de Francia y el equipo in situ coordinado por Geneslay (1960)¹⁵² y compuesto además por Pierre Bourge, Ballereau, L. Kaplan, Duplay, Arcady Brachlianoff (1912-2001) y Antonio Harispe. Su principal misión fue conseguir diferentes filmaciones del eclipse en color.

Cinco miembros de la expedición se desplazaron unos días antes a Tenerife, para una ascensión al Teide incluyendo el pasar la noche en el refugio y vuelta a Las Palmas.

Geneslay tuvo un contacto especial con el Diario de Las Palmas, sirviendo como una especie de guía astronómico. El gráfico de la figura E.62 se reprodujo en dicho medio el 30 de Setiembre.

El segundo equipo alemán complementaba el enviado a Jandía. El tiempo acompañó a los astrónomos sitios en Las Palmas.

Otro tanto se puede decir de los fotógrafos insulares que consiguieron imágenes de la corona como las que se muestran a continuación (Figura E-65)

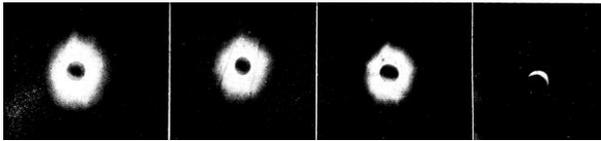


Figura E-65: Varias fases del eclipse total observadas, entre nubes, desde Las Palmas de Gran Canaria. Reproducidas por el periódico Falange del 3 de octubre (Foto Urquijo)

¹⁵² Geneslay, E.H., 1960, *L'eclipse totale de Soleil du 2 octobre de 1959*, L'Astronomie 74, 135-142

Pocos días después del eclipse, la empresa Timanfaya Films ofrecía un reportaje del eclipse total en formato de 16 mm. El espectáculo para todos.

Harispe y Arcady, en la Isleta consiguieron unas filmaciones¹⁵³ del eclipse y pensaron en comercializarlo. Arcady había creado la empresa Les films de Saturne, con Harispe como su ayudante. Como complemento decidieron incluir un reportaje sobre Lanzarote, en su opinión algo semejante a la superficie de La Luna.

Sobre las nubes

Volar por encima de las nubes aseguraba una visibilidad total. Un avión estadounidense (Figura E-66) con instrumental científico siguió el eclipse hasta la costa occidental de África (unos 8 minutos). Según informaba la prensa local, el avión estaba tripulado por John Hereford e Irwing Burrows. El periódico “La Vanguardia” informó que pasajeros del vuelo regular Tenerife-Madrid pudieron observar el eclipse hasta el 75% de su totalidad.



Figura E-66: Un avión F-101B de las Fuerzas Áreas Norteamericanas en el Aeropuerto de los Rodeos. Además de trasladar a un equipo de científicos, siguió el eclipse a unos 20.000 metros de altura y a 1800 km/hora. Para el resultado de sus observaciones ver Felling, W.E., Witunski. M.,

1960, Polarization measurements from the 2 October 1959, *Astronomical Journal* 65, 489. Cortesía: Francisco Andreu.

¹⁵³ Durante la totalidad utilizaron dos cámaras de 35 mms., con objetivos de 50 y 80 cms. Película Eastmancolor con tiempos de exposición de 1/5 y 1/2 de segundo.

En el entonces Sáhara español (El Aiaun), se concentró un equipo suizo y otro español. El español estaba liderado por J.M. Torroja (Catedrático Universidad Complutense) y compuesto por Lorenzo Plaza Montero (1923-2012), Pedro Jiménez Landi (1911-2009) y Miguel Solís: Subdirector, Jefe de Instrumentación y Jefe de Fotografía, respectivamente, del Instituto de Óptica Daza de Valdés, CSIC. Sin embargo, el día dos apareció casi completamente cubierto, con lo que el eclipse solo pudo observarse a través de unos cirros (Torroja, 1960)¹⁵⁴.

Los objetivos científicos eran ambiciosos, en especial los relativos al estudio de la polarización de la corona. Hablar de polarización es tratar con campos magnéticos en la corona solar, un tema que está de actualidad hasta nuestros días.

El interés de los eclipses totales era poder observar las capas externas del Sol. Dado que estas tienen temperaturas de más de un millón de grados, emiten radiación ultravioleta y rayos X. Hoy en día, naves espaciales nos permiten el seguimiento al segundo de estas capas exteriores. Salvo experimentos muy específicos, los eclipses mantienen su carácter de aventura y de uno de los acontecimientos más espectaculares que nos ofrece nuestro entorno.

Tendremos que esperar unos siglos para que los canarios sean capaces de observar algo semejante al eclipse de 1959 (Figura E-67). Todas las circunstancias sociales, científicas y tecnológicas habrán cambiado, pero nadie sabe en qué dirección.

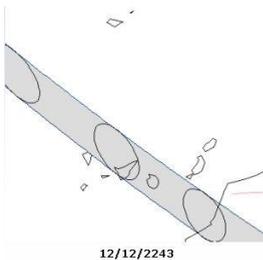


Figura E-67: El próximo eclipse total en Canarias será el 12 de diciembre de 2243. Para los muy impacientes hemos de señalar que tenemos un eclipse total en la superficie terrestre cada 1.6 años.

¹⁵⁴ Torroja, J.M., 1960, *La observación del eclipse de 2 de octubre de 1959 desde El Aiaun (Sahara)*, Urania No. 251

1973 ECLIPSE PARCIAL EN EL ROQUE E IZAÑA

El 30 de junio de 1973 fuimos testigos de un eclipse parcial de Sol que fue fotografiado desde el Roque de los Muchachos (La Palma), el Observatorio del Teide en Tenerife y la Estación solar de la Nasa en Maspalomas (Gran Canaria).

Es el primero de los observatorios el que nos interesa ya que se habían descubierto sus excelentes condiciones para la observación solar e iniciado las campañas de prospección. En la fecha del eclipse estaba en la cumbre palmera el alemán A. Wittmann con el telescopio de la figura E-68



Figura E-68: Telescopio de 17 cm instalado en el Roque de los Muchachos en 1973. Detrás apenas se ve a Axel Wittmann (Universidad de Göttingen), uno de los pioneros del Roque. Al fondo se ve la tienda de campaña.

Durante el eclipse se obtuvieron varias fotografías, dos de las cuales se muestra a continuación. El interés científico de los eclipses parciales de Sol es poder realizar una aproximación de la degradación producida por la atmósfera y el telescopio en las imágenes de la zona próxima al borde lunar (Figura E-69). Para ello se realizan en el laboratorio barridos perpendiculares al borde lunar

incluyendo la zona de la fotosfera a estudiar. En los artículos mencionados de los eclipses parciales puede encontrar el lector interesado información sobre la matemática del proceso de reducción.

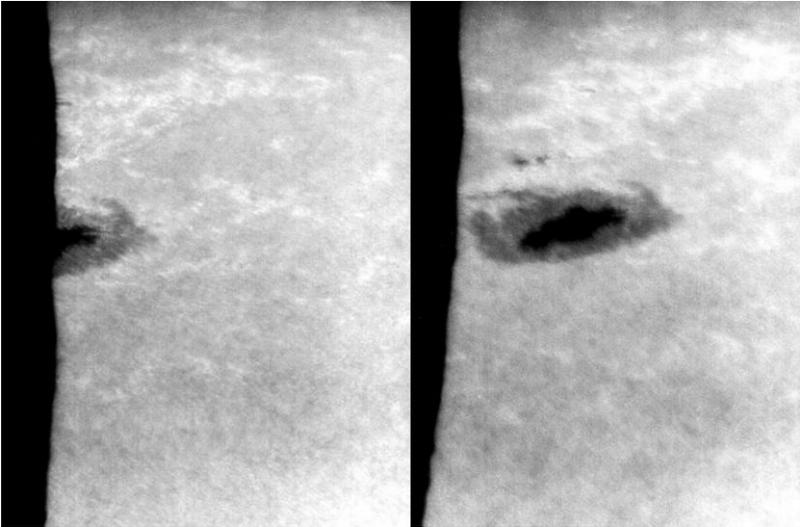


Figura E-69: Mancha solar emergiendo por el borde lunar durante el eclipse parcial de Sol del 30 de junio de 1973 (izquierda: 11h40m; derecha: 11h45m). Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma)

A fines del siglo XX se desarrollaron métodos más precisos como la diversidad de fase (Bonet et al. 2004)¹⁵⁵ o la óptica adaptativa (Rimmele, 2011)¹⁵⁶ no dependientes de un eclipse.

El eclipse parcial fue observado también desde el observatorio del Teide, por W. Mattig (1926-2015) y J.A. Bonet, utilizando el nuevo telescopio VNT instalado el año anterior. Se

¹⁵⁵ Bonet, J.A. Márquez, I., Muller, R., Sobotka, M., Titschler, A., 2004, *Phase diversity restoration of sunspot images*, *Astronomy and Astrophysics* 423, 737-744

¹⁵⁶ Rimmele, T.R., J. Marino, 2011, *Solar Adaptive Optics*, *Living Reviews in Solar Physics* 8 (2)

obtuvo una película de 16 minutos de duración con una cámara Bollex. La película utilizada fue una Agfa Copez-ortho, que recibía la luz a través de un filtro interferencial (λ 550 nm). La curva de calibración se obtuvo a través del método del filtro medio, citado al final del capítulo anterior (Bonet et al. 1982)¹⁵⁷.

Siguiendo el ejemplo del eclipse de 1959, un avión supersónico, en este caso el conocido Concorde, siguió el eclipse durante 80 minutos, despegando desde el aeropuerto de Gran Canaria (Figura E-70). El piloto principal fue Andre Turcat (1921-2016) y la dirección científica corrió a cargo de Pierre Lena. Una de las ventanas de observación le fue asignada a John Beckman, entonces en el Queen May College, de Londres, quién desde 1982 pertenece a la plantilla del Instituto de Astrofísica de Canarias.



Figura E-70: El equipo del Concorde 001 poco antes de iniciar su vuelo, en el aeropuerto de Gran Canaria, para seguir el eclipse de 1973. El sexto por la derecha es John Beckman. Crédito: D. Liebenberg

¹⁵⁷ Bonet, J.A., Ponz, J.D., Vázquez, M., 1982, *On the width dsitribution of penumbral filaments in sunspots*, Solar Physics, 77, 69-75

Se llevaron a cabo cinco experimentos durante el vuelo del Concorde 001 de 1973. Léna y su equipo (Université Paris) centraron sus esfuerzos en estudiar la corona F (la parte exterior de la corona del Sol, formada por partículas de polvo). Wraight (Universidad de Aberdeen) midió los efectos del eclipse sobre los átomos de oxígeno en la atmósfera terrestre a través de una ventanilla lateral. Liebenberg (Universidad de California, Los Alamos Scientific Laboratories) midió pulsaciones en la intensidad de la luz, mientras que J. Beckman (Queen Mary College) observó las emisiones de infrarrojo lejano de la cromosfera. Los pilotos fueron André Turcat y Jean Dabo. El mecánico Michel Retif y los radionavegadores H. Guyonnet y H. Perrin.

Unas décadas después varios de los participantes se reunieron para conmemorar el vuelo de caza supersónico de un eclipse solar (Figura E-71).



Figura E-71: Tripulantes del Concorde 001 del 30 de Junio de 1973 al cabo de los años: De izquierda a derecha: Michel Rétif (1923-2024) mecánico, John Beckman, Donald Liebenberg, André Turcat piloto (1921-2016), Alain Soufflot, Paul

Wraight, Pierre Léna¹⁵⁸ y Donald Hall (1944-2020). Crédito: IAC

¹⁵⁸ Léna, Pierre 2015. Racing the Moon's Shadow with Concorde 001 [Concorde 001 et l'ombre de la Lune]. Astronomers' Universe. Translated by Lyle, Stephen. Springer International Publishing.

La transición al soporte digital

La llegada de los ordenadores permitió la aplicación de métodos numéricos para la construcción de curvas características (Collados y Bonet, 1984)¹⁵⁹. En paralelo se inició la construcción de densitómetros para el análisis de las películas que permitían un rastreo bidimensional digital.

Pero el cambio más sustancial iba a llegar con el cambio de detector. Hacia 1970 W.S. Boyle (1924-2011) y G.E. Smith iniciaron, en los laboratorios Bell, un estudio sobre obleas de silicio como detectores de luz. La ventaja era el tamaño de estos detectores, pixeles, de los cuales miles podían agruparse en un CCD (Dispositivo de Carga Acoplada) que permitía, en principio, obtener una imagen digital directa de un determinado objeto astronómico o de la vida diaria.

En 1976 se produjo un acontecimiento importante: Jim Janesick, del JPL /NASA y Brad Smith de la Universidad de Arizona, utilizaron un detector CCD para captar imágenes de Júpiter, Saturno y Urano con el Telescopio de 61 pulgadas (1.55 metros) de Mount Bigelow, en Arizona. La clara superioridad del CCD sobre las placas fotográficas tuvo un reconocimiento inmediato, lo que llevó a su rápida adopción en el campo de la astronomía.

Por supuesto no todo eran ventajas: a) la sensibilidad disminuía con la temperatura con lo que había que refrigerarlos con nitrógeno líquido, b) Había que corregir la diferente sensibilidad de los pixeles. Esto se hacía con el método de flat-field (campo llano), generado mediante el promediado de numerosas imágenes homogéneas. c) Habíamos de sustraer la corriente de oscuridad (obturador cerrado), algo similar a sustraer el velo de una película.

¹⁵⁹ Collados, M., J. A. Bonet, *Two numerical processes for the calibration of photographic plates*, Applied Optics 23, 2827-2829

Bonet, Sobotka y Vázquez (1995)¹⁶⁰ analizaron imágenes de un eclipse parcial desde el Roque de los Muchachos (1994 mayo 10) utilizando una CCD KODAK Megaplug (1360x 1035 pixeles) con un filtro centrado a 670.8 ± 2 nm.

Sin embargo, en futuras aplicaciones de Física Solar fue muy importante el desarrollo de CCDs por la empresa Wright Instruments, que desde un modelo inicial de 256x256 fueron progresando a lo que ya considerábamos un sueño de 1024x1024.

La transición entre la fotografía y los nuevos detectores digitales la podemos situar entre 1987 y 1991, primero a nivel científico y unos años más tarde al comercial. Importantes infraestructuras quedaron obsoletas¹⁶¹ y una gran cantidad de información permanece en archivos almacenada en placas y películas, esperando ser digitalizada para referencia y futuro de nuevas generaciones. Una observación, bien hecha, siempre tendrá un valor. Tengo la impresión de que muchos armarios con estos materiales han sido incorporados a la basura industrial.

1999 agosto 11: El eclipse europeo y espacial

Pasaron las décadas y nos encontramos a finales de siglo. Nos encontramos con un eclipse cuya sombra se desplazó sobre una gran parte de Centro-Europa, aunque sin afectar a España (Figura E-72).

¹⁶⁰ Bonet, J.A., Sobotka, M., Vázquez, M., 1995, *Photometry of sunspot pores from partial eclipse observations*, Astronomy and Astrophysics 296, 241-245

¹⁶¹ En 1982 habíamos procedido a comprar un microdensitómetro Perkin-Elmer por 12 millones de pesetas. Después de unos años de explotación, hacia 1993 quedó totalmente fuera de operación. Algo similar fue una máquina de revelado automático de gran cantidad de películas que los alemanes habían comprado por dos millones en 1986. Además, podemos incluir cámaras fotográficas de gran valor e instrumentos auxiliares.

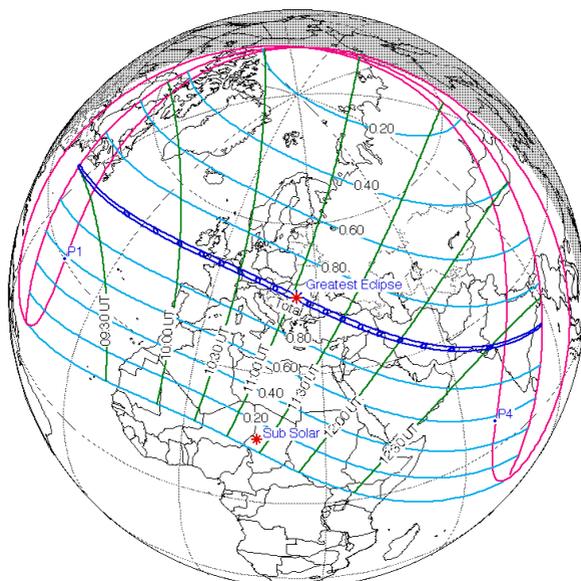


Figura E-72: Camino de totalidad del eclipse europeo

La visibilidad en Europa empezó por Cornualles, el Condado de Devon, el norte de Francia, sur de Bélgica, Luxemburgo, el sur de Alemania, Austria, Hungría, norte de Yugoslavia, Bulgaria, Mar Negro, Rumanía, Turquía, Irán, Sur de Pakistán e India.

El paso por zonas densamente pobladas lo convirtió en el eclipse visto por un mayor número de personas en la Historia de la Humanidad.

Con el apoyo del IAC y un banco privado, la expedición Shelios99 organizó un viaje a Turquía por carretera para observar, durante unos inolvidables dos minutos y 11 segundos, el eclipse en

una colina a 20 kilómetros de la ciudad de Kastamonu, situada en Anatolia Central, 200 km al norte de la capital turca, Ankara¹⁶².

El instrumental consistió en: a) Una cámara CCD Pulnix, que permitía exposiciones desde 1/60 a 1/1000. b) Un teleobjetivo fotográfico f/3.8 con un diámetro de 6.7 cms. c) Una montura para el Polarizador Lineal (Rodríguez Hidalgo et al. 1999)¹⁶³, con el que se obtuvieron las fotografías de la Figura E-73.

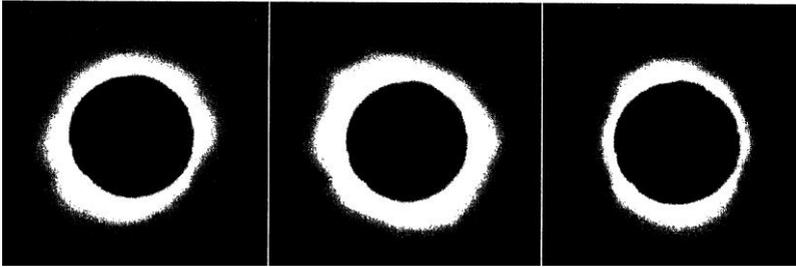


Figura E-73: La corona solar vista a través de un polarizador lineal con tres diferentes orientaciones: De izquierda a derecha; 0°, 60° y 120°. Crédito: M.Serra Ricart

El día del eclipse se soltaron dos globos, lo que nos recuerda al Burgos del eclipse de 1905.

Había cambiado el panorama social y tecnológico. Los móviles se estaban introduciendo como una nueva forma de registro digital de las imágenes, mientras que Internet era ya un poderoso medio de intercambio de noticias de mensajes. Sin embargo, el conocimiento social sobre los fundamentos científicos de estos

¹⁶² Formaron parte del grupo, por parte del IAC: Miquel Serra-Ricart, Jesús Burgos, Inés Rodríguez Hidalgo, Carme Gallart, C. Abajas, J. Cosme, Angel Gómez y Gotzon Cañada. A ellos se unieron: Ricardo Porras, Iván Aranda y M. Díaz Sosa.

¹⁶³ Rodríguez Hidalgo, I., Abajas, C., & Sheli99 Team, 1999, *The Last Total Eclipse of the Millennium as Seen by Sheli99*, en *Magnetic Fields and Solar Processes. The 9th European Meeting on Solar Physics, held 12-18 September, 1999, in Florence, Italy.* Edited by A. Wilson. European Space Agency, ESA SP-448, Vol. 448, p.1295

momentos parecía en algunos momentos similar al de la Edad Media.

Por otro lado, la estación soviética-rusa Mir¹⁶⁴, iba a observar el eclipse desde el espacio (Figura E-74). Todo lo que hemos hablado en el primer capítulo sobre los conos de sombra tendrá una aplicación aquí



Figura E-74: El cono de sombra del eclipse total de 1999. Tan solo la parte central más oscura corresponde a la fase de totalidad. Crédito: Tripulación de la MIR

¹⁶⁴ La Unión Soviética inició su instalación en 1986, terminándose en 1996. Para entonces se habían terminado los días soviéticos, dando el paso en el control de la estación espacial a Rusia. Significó el comienzo de la colaboración ruso-norteamericana en el espacio con el atraque de naves Shuttle a la Mir. Ante los problemas surgidos se decidió la entrada controlada sobre el Océano Pacífico el 23 de marzo de 2001.

El eclipse fue visible como parcial en todo el territorio español, siendo visible como anular en una franja de entre 180 y 190 km de anchura que cruzó la península desde Galicia hasta la costa levantina (Figura E-75). Entró por la costa entre el cabo Turiñán y el cabo de Fisterra, siendo este municipio el primero en que se pudo ver el eclipse anular, iniciándose a las 8h 51m.

El fenómeno pudo apreciarse en 14 capitales de provincia, siendo la duración del evento superior a 4 minutos en Pontevedra, Zamora y Madrid (Figura E-76), y superior a 3 minutos en Ourense, Salamanca, Ávila, Segovia, Guadalajara, Cuenca y Valencia.

Según el informe de la AEMET sobre el tiempo el 3 de octubre: *Ha estado nuboso a muy nuboso en las Comunidades Cantábricas, alto Valle del Ebro, Pirineos, Baleares, área del Estrecho y Sureste Peninsular*. En resumen, la zona del eclipse solo se vio afectada por nubes en la zona del Sureste.

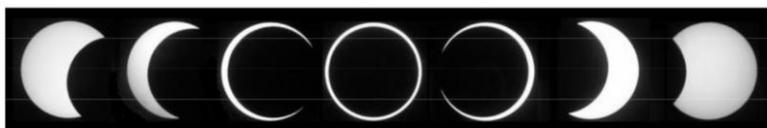


Figura E-76: Evolución del eclipse anular desde Madrid. Cortesía: J.M. Vaquero

A la hora de máxima visibilidad en Madrid miembros del Centro Astronómico de Ávila, así como alumnos de los Cursos Urania de Astronomía, emplazaron sus telescopios en la terraza del Museo CosmoCaixa de Alcobendas para la observación de este evento tan singular.

A las 8 de la mañana todo eran preparativos, subir todo el equipo instrumental a la terraza del Museo, comprobación del funcionamiento de telescopios y equipos, reparto de filtros totales para telescopios, prismáticos y cámaras.

El equipo instrumental estaba formado por orden decreciente de abertura de telescopios, por un Dobson de 30 cms, un

Celestron de 20 cms., dos Vixen de 15 cms, uno con montura ecuatorial motorizada y otro con montura en horquilla altazimutal, un telescopio Coronado PST 4 cms con filtro de la raya alfa del hidrógeno (6563 Å), y diversas cámaras tanto de video como fotográficas digitales.

Los tiempos sin duda habían cambiado. Miles de madrileños salieron a las calles de Madrid para disfrutar del excepcional eclipse anular. Calles, plazas, azoteas, parques y explanadas se inundaron de curiosos que no querían dejar pasar una oportunidad que se produce cada tantos años.

La expectación fue tal que muchos trabajadores interrumpieron su actividad durante algunos minutos para contemplar en directo este fenómeno solar (Figura E-77). Los actos que concentraron a más ciudadanos fueron los organizados por distintos centros científicos, en particular el Planetario, las universidades, el Jardín Botánico y el citado Museo Cosmo Caixa (Alcobendas). El eclipse también modificó los horarios de los colegios, ya que muchos de ellos impidieron que los alumnos salieran al recreo, para que no se lesionaran si lo observaban sin medios. Sin embargo, otros muchos centros habían dotado de las gafas necesarias a los estudiantes y llevaron a cabo observaciones programadas del espectáculo celeste.

El acto más populoso tuvo lugar en el Planetario de Madrid, donde se reunieron, según el subdirector, Telmo Fernández, entre 15.000 y 20.000 personas, y donde se repartieron gratuitamente 16.000 gafas. Poca gente se preocupó por la actividad de los científicos, aunque este día muchos de ellos impartían charlas de divulgación.



Figura E-77: Imagen del eclipse anular desde Madrid

En cualquier caso, siempre iba a quedar espacio para la curiosidad.

Steve G. Smith viajó hasta Cuenca para ver este eclipse. Una serie de imágenes obtenidas mirando hacia abajo nos permitieron visualizar un fenómeno óptico solo posible de observar durante eclipses anulares (Figura E-78). Pequeños “soles” anulares se proyectan a través de espacios entre las hojas de un árbol, que actuaron como cámaras de agujero (pinhole cameras). Esto sucedió antes y después de la fase de anularidad.



Figura E-78: Hojas de un árbol actuando como cámaras de agujero (pinhole). Credito: Steve Glennie Smith

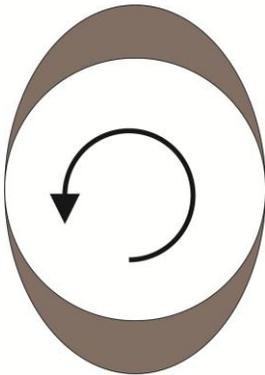
Ya estamos en la época actual, pero la historia sigue a la espera del trío 2026-2027-2028. Multitud de eclipses se verán en España en los próximos milenios, pero quisiéramos ir un poco más allá, hasta el final de estas historias.

CAPÍTULO VI: EL FINAL DE LOS ECLIPSES

Cualquier belleza es perecedera y este principio se aplica también a los eclipses solares. El fundamento de este final se explica por uno de los principios básicos de la Física: La Conservación del Momento angular.

El freno de la Tierra

La Tierra y la Luna forman un sistema ligado por sus mutuas atracciones gravitacionales. Sin duda para ver cuáles son dichos valores hemos de tener en cuenta: a) La diferencia de masas, b) la diferencia de períodos de rotación (24 horas para la Tierra y 27 días para la Luna).



En la Figura F-1 vemos en blanco la forma de la Tierra sin Luna y en Marrón, de forma exagerada, la que tiene por acción de la Marea gravitacional. Esta no está ligada a los océanos de agua líquida, ya que la sufren muchos cuerpos sin tales mares líquidos.

La mayor parte de las zonas costeras muestran dos mareas bajas y dos altas cada día solar, con el que estamos familiarizados. De forma similar, un día lunar (día de marea) es el tiempo que un específico lugar en la Tierra toma para rotar desde un punto exacto bajo la Luna al mismo punto bajo la luna una rotación después. Un día lunar son 24 horas y 50 minutos. Esta diferencia en períodos de rotación se debe a que la Luna gira alrededor de la Tierra en la misma dirección que la Tierra rota sobre su eje. De esta forma, la Tierra se toma unos 50 minutos extra en encontrarse de nuevo (“catch up”) a la Luna.

Ya que la Tierra rota con dos abultamientos (bulges) cada día solar, las áreas costeras experimentan dos mareas altas y dos bajas cada 24 horas y 50 minutos. Digamos que se necesitan 6 horas y 12.5 minutos para que el agua en la orilla vaya de marea alta a baja o viceversa.

El abultamiento no solo contiene una masa del océano, sino también un poco de tierra. A medida que la Tierra gira bajo el abultamiento de las mareas, se genera una cantidad significativa de fricción ya que el océano (abultamiento) y el cuerpo de la Tierra se impiden mutuamente. En consecuencia, la existencia de esta fuerza de fricción ralentiza la revolución individual de la Tierra.

Resumiendo, el efecto de las mareas es disminuir la rotación terrestre, relación primeramente propuesta por G. Darwin (1845-1912), quinto hijo del naturalista Charles Darwin, en 1879¹⁶⁵. Hagamos una explicación con un gráfico (Figura F-2)

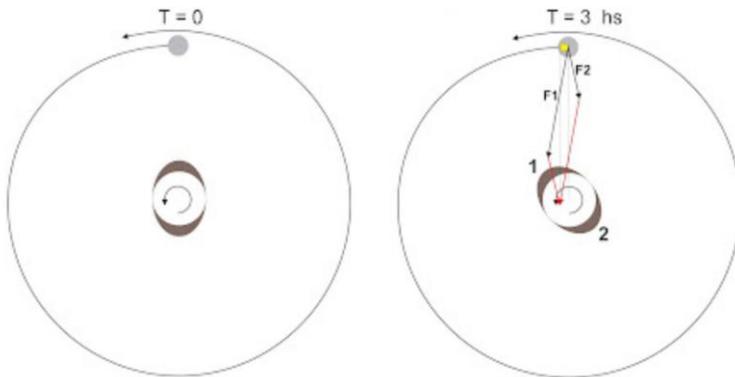


Figura F-2: Las mareas y el frenado de la rotación terrestre. Ver texto para una explicación más detallada.

La luna está en este diagrama arriba. La Tierra esta deformada "verticalmente". Como su órbita es de 27 días, casi no se

¹⁶⁵ Darwin, G. H. 1879, *On the precession of a viscous spheroid and on the remote history of the Earth*. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A170, 447–538.

mueve en tres horas ($T= 3$ horas). Sin embargo, la Tierra rota bastante en dicho intervalo.

Como la Tierra no es un sólido rígido, la deformación gravitacional rota con la Tierra... nuestro planeta tarda en reordenarse para señalar nuevamente hacia la Luna.

La zona 1 al estar abultada hacia la luna (y por delante de ella), genera una fuerza mayor que la zona 2, cuyo abultamiento es más lejano. Esto produce las fuerzas F_1 y F_2 .

Estas fuerzas generan una resultante neta hacia la izquierda en la luna, acelerándola. (flecha amarilla). Por eso la Luna se aleja y acelera. Al mismo tiempo, la luna atrae la deformación 1 con más fuerza que la 2, frenando la Tierra.

De la misma manera que la Luna crea mareas en la Tierra, tanto acuáticas como terrestres, la Tierra también produce mareas sobre la Luna. La fricción debida a esas mareas frenó la rotación de la Luna, provocando que ésta presente siempre la misma cara hacia la Tierra, es lo que conocemos como acoplamiento por mareas (rotación capturada).

Pasemos ahora a definir un parámetro que vamos a necesitar:

MOMENTO ANGULAR Y SU LEY DE CONSERVACIÓN.

Tenemos que este parámetro es un vector (una magnitud asociada a una dirección) que resulta del producto de la inercia rotacional (momento de inercia) de un cuerpo por su velocidad de giro alrededor de un eje; más intuitivamente, es la resistencia de un cuerpo a la variación de la velocidad angular (medida del ángulo de giro por unidad de tiempo).

$$\vec{L} = rxm\vec{V}$$

Como consecuencia de la conservación del momento angular

- 1) Las órbitas de los planetas son estables y planas.
- 2) La fuerza que gobierna el movimiento planetario es central.
- 3) Las órbitas de los satélites en torno a los planetas son estables y planas.

4) La fuerza que gobierna el movimiento de los satélites es central.

En un sistema con dos cuerpos (Tierra-Luna) el momento angular de uno de ellos puede afectar al otro, pero la suma de sus momentos angulares se mantendrá invariable.

Las leyes de conservación son una parte esencial en Física. No es fácil decir quién propuso primero la del momento angular. Sin embargo, si podemos decir que estaba implícita en la *segunda ley de Kepler* del movimiento planetario:

Dicha ley establece que un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales, es decir, el área dividida entre el tiempo, llamada velocidad areolar, es constante. Consideremos la Figura F-03. El tiempo que tarda un planeta en desplazarse de la posición A a la B, barriendo el área A_1 , es exactamente el tiempo que se tarda en pasar de la posición C a la D, barriendo el área A_2 , y pasar de E a F, barriendo el área A_3 . Estas áreas son las mismas: $A_1 = A_2 = A_3$.

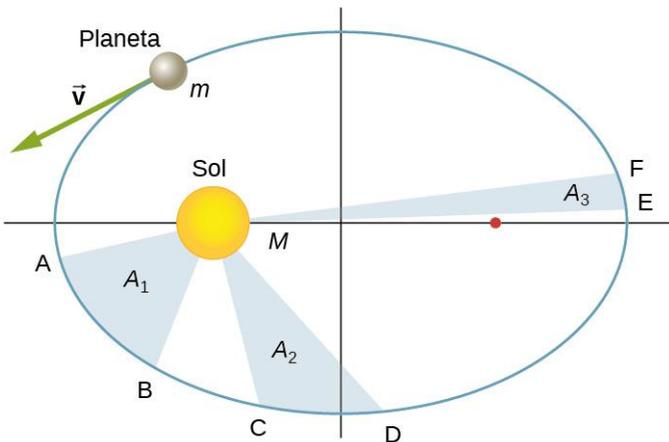


Figura F-03: Conservación de la velocidad areolar en el movimiento planetario (Segunda Ley de Kepler)

Al comparar las áreas en la figura y la distancia recorrida a lo largo de la elipse en cada caso, podemos ver que para que las áreas sean iguales, el planeta debe acelerar a medida que se acerca al Sol y frenar a medida que se aleja. Este comportamiento es completamente coherente con una ecuación de conservación de la velocidad areolar.

La *segunda ley de Newton* sobre el movimiento lineal establece que la aceleración de un objeto que se mueve linealmente es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo y tiene una magnitud inversamente proporcional a su masa. Aquí tenemos una ley de conservación de Mecánica Clásica que es anterior a Newton.

El momento lineal (cantidad de movimiento), p , se define como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado.

Históricamente, el concepto se remonta a Galileo Galilei, uno de los gigantes a cuyos hombros se subió Newton. En su obra *Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias*, usa el término italiano *impeto*, mientras que Isaac Newton en *Principia Mathematica* usa el término latino *motus* (movimiento).

De hecho, la segunda ley de Newton que se enseña habitualmente (fuerza igual a masa momento lineal en el caso particular que la masa sea constante, pues en realidad:

$$\vec{F} = dp/dt$$

En un sistema mecánico de partículas aislado (cerrado) en el cual las fuerzas externas son cero, se conserva el momento lineal total del sistema, o sea $dp/dt=0$.

Para el paso de un movimiento lineal a uno rotacional, que es el que nos interesa, debemos definir el *momento de inercia*.

Este parámetro desempeña el mismo papel en la cinética rotacional que la masa (inercia) desempeña en la cinética lineal; ambos caracterizan la resistencia de un cuerpo a los cambios en su movimiento. El momento de inercia depende de cómo se distribuya la masa alrededor de un eje de rotación y variará según el eje elegido. Para una masa puntual, el momento de inercia con respecto a algún

eje está dado por $I = m r^2$, donde r es la distancia del punto al eje y m es la masa.

En 1673 Christiaan Huygens (1629-1695) introdujo este parámetro en su estudio de la oscilación de un cuerpo que cuelga de un pivote, conocido como péndulo compuesto.

El término momento de inercia ("momentum inertiae" en latín) fue introducido por Leonhard Euler (1707-1783) en su libro *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum* en 1765 y se incorporó a la segunda ley de Euler.

El momento angular, \vec{L} , o momento cinético, es una magnitud física, equivalente rotacional del momento lineal. Es una cantidad vectorial que caracteriza las propiedades de inercia de un cuerpo, que gira en relación con cierto punto.

En mecánica newtoniana, el momento angular de una partícula o masa puntual con respecto a un punto O del espacio se define como el momento de su cantidad de movimiento con respecto a ese punto. Normalmente se designa mediante el símbolo L . Siendo el vector que une el punto O con la posición de la masa puntual (también conocido como el radio de la trayectoria), será:

$$\vec{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m \vec{V}$$

Si lo derivamos con respecto al tiempo tendremos

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d}{dt}(\mathbf{r} \times \mathbf{p}) = \left(\frac{d\mathbf{r}}{dt} \times \mathbf{p} \right) + \left(\mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{p}}{dt} \right)$$

El primero de los paréntesis es cero ya que la derivada de r con respecto al tiempo no es otra cosa que la velocidad y como el vector velocidad es paralelo al vector cantidad de movimiento p , el producto vectorial es cero.

En cuanto al segundo paréntesis, tenemos:

$$\left| \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{r} \times \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = \mathbf{r} \times (m\mathbf{a}) \right.$$

Recordamos ahora que $F = ma$, de lo que podemos deducir: El momento angular L de un sistema de partículas se conserva en ausencia de momentos externos $r \times F$. Esta afirmación es válida para cualquier conjunto de partículas: desde núcleos atómicos hasta grupos de galaxias.

Tenemos que en un sistema inercial la ecuación de movimiento es:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d}{dt} [\mathbf{I}(t)\omega(t)]$$

Recordemos que $L = \text{constante}$ y por lo tanto $dL/dt = 0$. Consideremos un objeto que puede cambiar de forma. En una de esas formas, su Momento de inercia es I_1 y su velocidad angular ω_1 . Si el objeto cambia de forma (sin intervención de un momento externo) y que la nueva distribución de masas hace que su nuevo Momento de inercia sea I_2 , su velocidad cambiará de manera tal que:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

Incluimos el ejemplo más conocido del deporte. Una patinadora sobre hielo gira sobre la punta de su patín con los brazos extendidos. Su momento angular se conserva porque el par neto sobre ella es muy pequeño. En la siguiente imagen, su ritmo de giro aumenta mucho cuando tira de sus brazos, disminuyendo su momento de inercia. El trabajo que realiza para tirar de sus brazos resulta en un aumento de la energía cinética rotacional.

Ambos F y r son pequeños, y así $\tau = r \times F$ es insignificanemente pequeño. En consecuencia, puede girar durante bastante tiempo. También puede aumentar su tasa de giro tirando de sus brazos y piernas. Cuando hace esto, la inercia rotacional disminuye y la velocidad de rotación aumenta para mantener $L = I\omega$ constante el momento angular. (I : inercia rotacional, ω : velocidad angular)

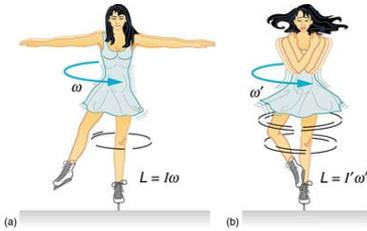


Figura F-04: Conservación del momento angular aplicado al típico ejemplo de la bailarina

Como resumen de este apartado recordemos que, debido a la rotación de la Tierra, las máximas elongaciones del agua de mar no están en la línea que une el centro de la Tierra y el centro de la Luna. Por consiguiente, tendremos una transferencia de momento angular desde el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje, hacia el movimiento de traslación de la Luna alrededor de la Tierra.

VARIACIONES DE LA ROTACIÓN A LA ESCALA DE MILES DE AÑOS

En 1695, Edmond Halley descubrió que los eclipses antiguos no concordaban con las fechas y lugares determinados según las leyes de la gravitación de I. Newton. Como él confiaba en tales leyes propuso que en el pasado la longitud del día debía de haber sido mayor.

Pensando en términos físicos ello hubiera sido causado por un mecanismo que disminuyese la rotación terrestre y con ello de su momento angular. Como consecuencia la Luna habría ganado momento angular para que se conservase el momento angular total del sistema Tierra- Luna. Esta ganancia se traduciría en un desplazamiento de la distancia Tierra-Luna r . Extrapolando esta variación unos 2000 años en el pasado el acuerdo entre los eclipses y Newton era de nuevo perfecto.

Nos quedaba por saber cómo se frenaba la Tierra. Para ello hubo que esperar a la demostración de las placas tectónicas. Hemos de pensar en las mareas. Cuando las mareas altas colisionan con las

placas continentales superficiales se encontró que la rotación terrestre se frenaba.

Stephenson (2003)¹⁶⁶ ha resumido las diferentes determinaciones del frenado rotacional ΔT utilizando distintas series de eclipses antiguos. Uno de ellos lo vemos en la Figura, comparando donde se hubiera visto con $\Delta T=0$ y la posición real en Babilonia (Figura F-05).

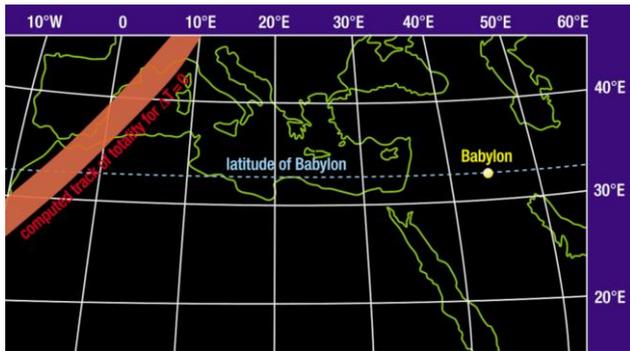


Figura F-05: El camino de totalidad para el eclipse del 15 de abril del 1136 BCE (banda roja) su poniendo que $\Delta T=0$. Se encuentra al oeste de la zona en que realmente se observó, en la ciudad de Babilonia.

De dicha publicación se obtiene un ajuste parabólico entre ΔT y el tiempo transcurrido Δt (en años).

Más tarde Stephenson et al.¹⁶⁷ (2016) han ampliado su catálogo con: a) Eclipses desde el -720 BCE hasta el 1600 y b) Ocultaciones de estrellas por la Luna desde el 1600 hasta el 2015 (Figura F-06).

Si ajustamos los resultados con una relación lineal nos encontramos con un frenado de 1.8 mseg/siglo, claramente inferior

¹⁶⁶ Stephenson, F.R., 2003, *Historical eclipses and Earth's rotation*, Astronomy and Geophysics 44(2), 2.22-2.27. Harold Jefferyes Lecture

¹⁶⁷ Stephenson, F.R., L.V. Morrison, C.Y., Hohenkerk, 2016, *Measurement of the Earth's rotation 700 BC to AD 2015*, Proceedings Royal Society A, 472

a lo que se esperaría de la Teoría de las mareas (2.3 msec/siglo). Un mejor ajuste se obtiene con una oscilación de periodo 1600 años, lo que indicaría cambios en el interior de la Tierra, superpuestos al efecto continuo de las mareas.

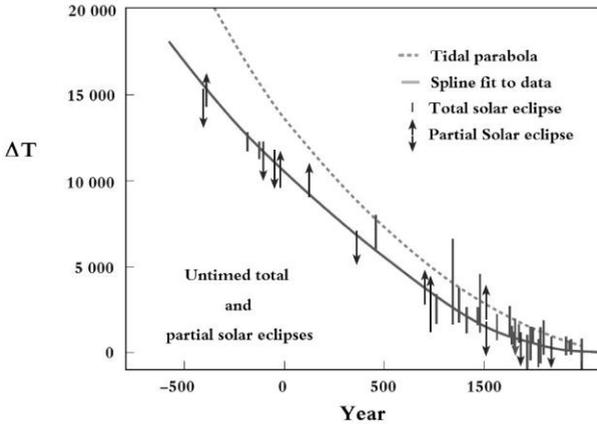


Figura F-06: Una barra vertical señala el intervalo ΔT definido por una observación de un eclipse total. La línea discontinua representa la parábola promedio de las mareas $\Delta T = 42 \tau$, donde τ es el tiempo medido en siglos julianos desde 1820. La tabla 4-7 de Vaquero y Vázquez (2009) da los diferentes ajustes derivados de registros históricos.

VARIACIONES DE LA ROTACIÓN A LA ESCALA DE MILLONES DE AÑOS

Para escalas temporales más largas se recurre al crecimiento de las colonias de corales. Cuando un coral está creciendo, todos los días deposita una fina capa de carbonato de calcio. Todos los días hay un depósito y se puede ver cómo se acumulan en depósitos mensuales vinculados al ciclo lunar. Se puede ver la estacionalidad, donde los corales crecen más en la estación seca que en la estación húmeda.

Si se cuentan todas las pequeñas líneas entre las estacionalidades, se obtiene el número de días del año. Si bien la

interpretación de las medidas en los corales no resulta trivial¹⁶⁸, los resultados indican un ritmo de frenado de 95 ± 9 días por cada mil millones de años (Wells, 1963; Pannella, 1975)¹⁶⁹.

Un método alternativo que utiliza el crecimiento de capas en las conchas de moluscos da un valor de 100 ± 12 días por mil millones de años. En general estos datos tienen una limitada fiabilidad para épocas de unos 400 millones de años (Figura F-07). Extrapolaciones hacia el pasado resultan bastante inseguras, aunque sí se puede aventurar que no nos encontramos ante una variación lineal de la rotación con el tiempo.

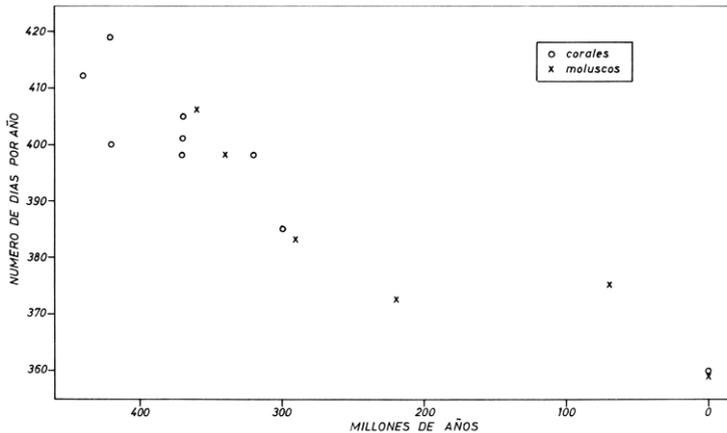


Figura F-07: Variación temporal del número de días en un año, utilizando indicadores biológicos. Ello es debido al citado frenado de la rotación terrestre. Adaptado de Vázquez Abeledo (1998) Figura 1-15.

¹⁶⁸ Se considera que el crecimiento de estas colonias refleja tres ciclos astronómicos: 1) El número de días solares por año; 2) El número de días solares por mes sinódico lunar y 3) el número de meses sinódicos lunares por año.

¹⁶⁹ Wells, J.W., 1963, Coral growth and geochronometry, *Nature* 197, 948-950
Pannella, G., 1975, Palaeontological clocks and the history of the Earth's rotation. Pp. 253-284, in: G. D. Rosenberg & S. K. Runcorn, eds., *Growth rhythms and the history of the Earth's rotation*. John Wiley & Sons, London. xvi + 558 pp.

Muchos de los modelos de frenado terrestre que se han desarrollado a lo largo de las últimas décadas han mostrado edades de la formación de la luna, claramente incompatibles con la edad aceptada para la formación de nuestro satélite de $(4.425 \pm 0.025) \times 10^9$ años (Maurice et al. 2020)¹⁷⁰. Recordemos que 1 GigaAño = 10^9 años; 1 MegaAño = 10^6 años.

A la escala de tiempos con una distancia Tierra-Luna cambiante es el momento de definir una nueva variable: el torque¹⁷¹ τ que, en principio¹⁷², no es otra cosa que el momento de una fuerza, en este caso la gravitacional. Para el caso de la que la Luna ejerce sobre la Tierra tendremos

$\tau_{Luna} = F_L \times r$, siendo r la distancia Tierra-Luna como la fuerza gravitacional actúa siempre en la dirección radial tendremos que $\tau_{Luna} = F_L \cdot r$

La Figura F-08 muestra una simulación de la longitud del día terrestre a lo largo de la historia de nuestro planeta. Los datos recopilados por Williams (2000)¹⁷³ podrían servir para extrapolar una tendencia hasta el mismo origen de la Luna, como el autor sugiere, pero no debemos ser tan optimistas ante la existencia de nuevos procesos.

¹⁷⁰ Maurice, M., Tosi, N., Schwinger, S., Breuer, D., T. Kleine, 2020, *A long-lived magma ocean on a young Moon*, Science Advances 6 (28)

¹⁷¹ Derivado del latín, torquere (retorcer)

¹⁷² Sin embargo, hay diferencias importantes. Un torque es una fuerza dinámica aplicada al movimiento rotacional capaz de producir aceleraciones angulares. En general el momento de una fuerza, aunque compartiendo formula, es una fuerza estática y no produce aceleración angular.

¹⁷³ Williams, G.E., 2000, *Geological constraints on the Precambrian history of Earth's history and the Moon's orbit*, Reviews of Geophysics 38 (1), 1-116

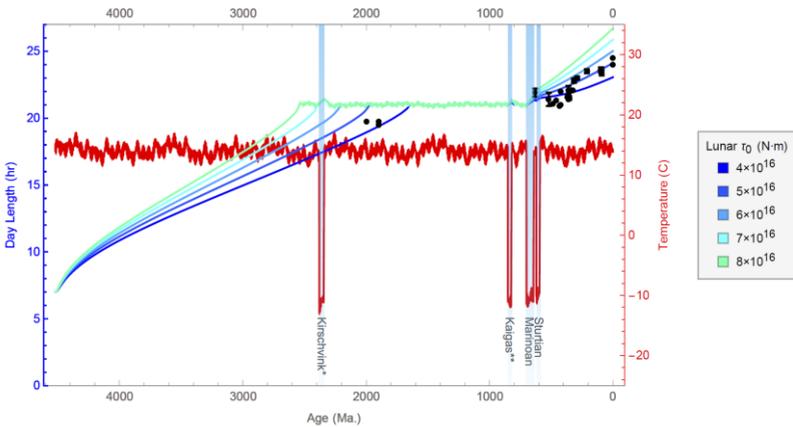


Figura F-08: Evolución simulada de la Longitud del Día, en horas, a lo largo de la historia de la Tierra, para distintos valores del torque lunar τ_0 (en azul y verde) y valores de temperatura (en rojo). Valores recopilados por Williams (2000) están superpuestos como cuadrados negros. Creative Commons License

En algún momento durante el Precámbrico la Tierra se desaceleró hasta las 21 horas de duración del día. Esto provocó una resonancia con la variación semidiurna de las mareas atmosféricas de 10.5 horas. Ello provocó un efecto estabilizador durante un cierto tiempo (Barlett y Svenson, 2016)¹⁷⁴.

En el gráfico la línea verde duró desde los 1800 – 2600 Gaños (Kirschvink et al. 2000)¹⁷⁵ hasta los 600 MegaAños, en que ocurrieron dos episodios de superglaciaciones (Snowball events),

¹⁷⁴ Barlett, B.C., Stevenson, D.J., 2016, *Analysis of a Precambrian Resonance-Stabilized Day lengths*, Geophysical Research Letters 43, 5716-5724

¹⁷⁵ Kirschvink, J.L., E. J. Gaidos, L. E. Bertani, N. J. Beukes, J. Gutzmer, L. N. Maepa, R.E. Steinberger, 2000, *Paleoproterozoic snowball Earth: Extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences*, Proc. National Academy of Sciences 97 (4), 1400-1405

conocidos como las glaciaciones Sturtiana y Marinoana (Hoffman et al. 1998)¹⁷⁶.

Estas variaciones de temperatura globales rompieron la resonancia aumentando rápidamente la duración del día hasta las 24 horas actuales.

En otras palabras, durante estos episodios los hielos suprimieron o amortiguaron las fuerzas de marea.

ÉPOCA ACTUAL

Durante los vuelos Apolo a la Luna (1969-1972) los astronautas dejaron en la superficie una serie de reflectores láser con los que se ha podido medir el aumento predicho de la distancia a nuestro satélite (Figura F-08).

Los resultados actuales dan un aumento de 3.830 ± 0.008 centímetros por año (Williams et al., 2016)¹⁷⁷. Ello ha permitido ajustar la rotación de la Tierra mediante el uso de relojes atómicos como referencia, introduciendo segundos adicionales.

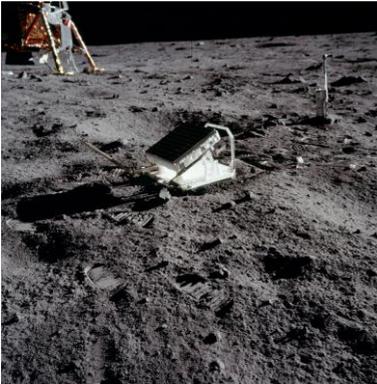


Figura F-09: Espejo láser dejado por el Apolo XI en la superficie de la Luna. Otros similares fueron instalado por los Apolo XIV y XV. La detección de señales en la Tierra fue realizada por equipos de la Universidad de California, Univ. Wesleyan y el Goddard Space Flight Center y University de Texas. El telescopio de 3 metros de Lick Observatory's 3-meter fue utilizado para detección de la señal inicial. El telescopio de 2.7 metros del

McDonal Observatorio ha realizado tales medidas durante muchos años.

¹⁷⁶ Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., Schrag, D.P., 1998, *A Neoproterozoic Snowball Earth*, Science 281, 1342-1346

¹⁷⁷ Williams, J.G., Boggs, D.H., 2016, *Secular tidal changes in lunar orbit and Earth rotation*, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy 126, 89-129.

Determinación del tiempo

Como complemento empírico de nuestro proceso sobre la evolución del Sistema Tierra- Luna nos lleva a la definición de nuestra unidad del tiempo, a una escala del orden de los microsegundos, en lugar de varios segundos que eran necesarios para los eclipses.

En 1832, C. Gauss (1777-1855) propuso utilizar el segundo como unidad básica de tiempo en su Sistema de Unidades Cegesimal de milímetros-miligramos-segundos. La Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS) en 1862 declaró que *«Todos los hombres de ciencia están de acuerdo en utilizar el segundo de tiempo solar medio como unidad de tiempo»*. El *Sistema Métrico decimal* Nació legalmente en Francia por decreto del 4 de noviembre de 1800 y, aunque varios países fueron adoptándolo progresivamente, fue implantado como sistema universal por el Tratado del Metro (París, 1875) y confirmado por la I Conferencia General de Pesas y Medidas (París, 1889). El Sistema Internacional (SI) se creó en 1960 por la 11.^a Conferencia General de Pesas y Medidas, con el segundo permaneciendo como unidad de tiempo. Por suerte con el segundo no ha habido las discrepancias franco-anglosajonas con las medidas de longitud y peso.

La rotación terrestre se consideraba como algo invariable, con lo que el segunda era $1/86400$ del día solar medio. El tiempo universal (UT) fue un estándar de tiempo. Esta unidad pudo medirse observando los cuerpos celestes que cruzaban el meridiano cada día. Los astrónomos descubrieron que era más preciso establecer la hora observando las estrellas cuando cruzaban un meridiano que observando la posición del Sol en el cielo. Poco a poco se fue notando que lo invariable cambiaba con lo que se pensó en recurrir al otro movimiento de la Tierra: la traslación alrededor del Sol.

En 1955, el año tropical, considerado más fundamental que el año sideral, fue elegido por la UAI como unidad de tiempo. El año tropical en la definición no se medía, sino que se calculaba a partir

de una fórmula que describía un año tropical medio que disminuía linealmente con el tiempo.

En 1956, el segundo se redefinió en términos de un año relativo a esa época y se vinculó al concepto de «año» (el período de la revolución de la Tierra alrededor del Sol), tomado para una época determinada. Así, el segundo se definió como la fracción $1/31.556.925.9747$ del año tropical¹⁷⁸ para el 0 de enero de 1900 a las 12 horas de las efemérides. Esta definición se adoptó como parte del Sistema Internacional de Unidades en 1960, aunque tuvo una breve vida.

Al igual que el metro abandonó medidas terrestres, para el segundo se empezó a considerar una referencia en las constantes de la Naturaleza.

Con la invención del reloj atómico en 1948, se hizo posible medir el tiempo de manera más precisa e independiente de los movimientos de la Tierra, a través del conteo de las transiciones del átomo de Cesio 133.

Los físicos asumieron el trabajo de los astrónomos en medir el tiempo, y definieron el segundo como el tiempo que necesita el átomo de cesio 133 para efectuar exactamente 9.192.631.770 transiciones. La elección de 9.192.631.770 se hizo para igualar el segundo atómico con el segundo medio solar en el año de su introducción. Tenemos así el *Tiempo Atómico Internacional*. Para un resumen de los antedicho ver Mc Carthy y Seidelmann, 2009 ¹⁷⁹

Estos datos se han podido utilizar para detectar variaciones a la escala de pocos años, difícilmente producidos por mareas. La comparación con datos atómicos de alta precisión ha hecho necesario la introducción de algo parecido a los años bisiestos, que en español se les ha dado por llamar segundos intercalares. Se trata de hacer compatibles la rotación terrestre con los calendarios civiles.

¹⁷⁸ Año tropical es el intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos del Sol por el punto Aries o equinoccio de primavera

¹⁷⁹ Mc Carthy, D.M., Seidelmann, K.P., 2009, *Time: From Earth Rotation to Atomic Physics*, Wilae, 290 páginas

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (International Earth Rotation and Reference Systems Service) o IERS, y el Observatorio de París, determinaron que el 30 de junio o el 31 de diciembre son las fechas adecuadas para añadir o quitar un segundo al año, si fuera preciso.

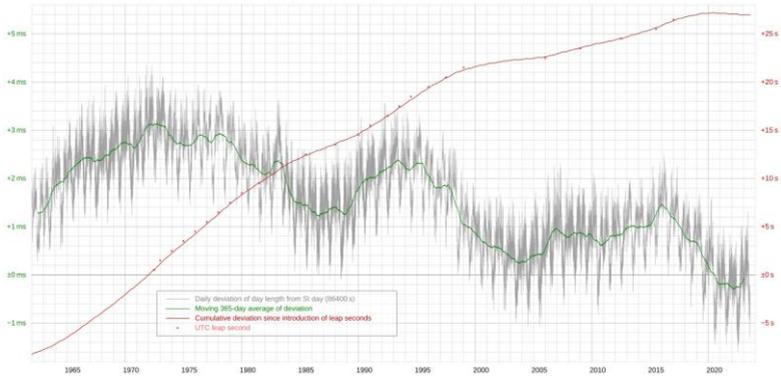


Figura F-10: Variaciones de la longitud del día a lo largo de los últimos años: (Gris) desviación diaria del día SI de 86400 segundos (Verde) Media móvil de 365 días (Rojo) Desviación acumulativa desde la introducción de los segundos intercalares (leap seconds). (Puntos rojos) Introducción de los segundos intercalares. Crédito: International Earth Rotation Service.

CONSECUENCIA SOBRE LOS ECLIPSES

Es obvio que al alejarse nuestro satélite el disco aparente de la Luna se va haciendo cada vez más pequeño. Llegará un momento en que ya no podrá ocultar el disco solar que habrá permanecido sin cambios apreciables. Se calcula que cuando se haya alejado unos 23410 kilómetros los eclipses habrán terminado sus días. No resulta fácil calcular el tiempo para que esto ocurra, ya que tenemos dudas sobre si el proceso es lineal.

Como señala Villaver (2024)¹⁸⁰: La clave está en que no es posible dar una solución determinista a la dinámica celeste de un sistema cuando hay más de dos cuerpos involucrados en una escala temporal, hablamos de millones de años, tan larga. El sistema es altamente no lineal.

La solución del problema está en la teoría del caos que nos dice, en pocas palabras, que hay demasiadas variables para predecir el comportamiento del sistema Tierra-Luna-Sol dentro del Sistema Solar a tan largo plazo y que tendríamos que hablar de probabilidades. En su artículo Villaver señala un valor de 200 millones de años.

Sin embargo, el hecho de que el Luna pueda eclipsar el Sol es más complicado que sus distancias promedio, ya que la Luna gira describiendo una elipse en torno a la Tierra. En su punto más próximo, perigeo, la Luna se encuentra a 365.351 km. En su punto más lejano, apogeo, se encontrará a 404.474 km, suficiente diferencia para que la veamos más pequeña en el cielo (Figura F-11).

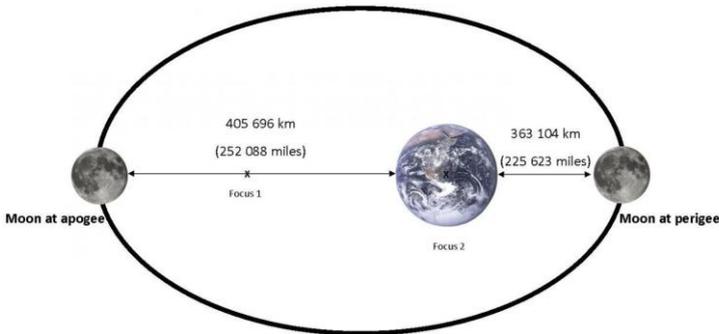


Figura F-11: Órbita Lunar

¹⁸⁰ Villaver, E., 2024, *El último eclipse solar total en la historia de la Tierra*, El País (24 octubre)

Incluso en nuestros días cuando la Luna se encuentra en el apogeo, muestra un disco demasiado pequeño para cubrir el disco solar y tenemos un eclipse anular. Todavía podemos calcular la distancia a la Luna y su tamaño aparente en el cielo y calcular cuando ocurrió el primer eclipse y cuando será el último.

El eclipse más antiguo registrado podría fecharse en el 30 de noviembre del 3340 BCE en Irlanda en base a símbolos espirales y petroglifos circulares. Sin embargo, obviamente este no sería el primer eclipse, sino que marcaría la fecha cuando los Seres Humanos se dieron cuenta de tal fenómeno y dejaron un registro del evento.

De hecho, eclipses siempre han sido posibles desde la formación de la Luna, pero no han tenido la espectacularidad actual hasta que nuestro satélite estuvo suficientemente lejos para que se viese la corona solar.

El último eclipse ocurrirá cuando estando la Luna en el perigeo sea suficientemente grande para ocultar el disco solar.

Diversas simulaciones numéricas dan valores alrededor de unos 600 millones de años para el último eclipse. Ahora bien, esto será así siempre y cuando la luna se aleje al ritmo actual, lo cual probablemente no ocurrirá.

Cuando el planeta evoluciona los continentes se desplazan y los océanos se reorganizan, congelan o evaporan. Por tanto, las interacciones de marea entre Tierra y Luna cambiarán y la recesión de la Luna probablemente será más lenta (Tyler, 2021)¹⁸¹. Si eso es así, la fecha final de los eclipses durará un poco más. Meeus (2002)¹⁸², miembro del equipo de F. Espenak, estima que el proceso comenzará en unos 650 millones hasta concluir con el último segundo de eclipse solar en unos 1.200 millones de años. Las

¹⁸¹ Tyler, R.H., 2021, *On the tidal history and the Future of the Earth-Moon orbital System*, The Planetary Science Journal 2 (2)

¹⁸² Meeus, J., 2002, *More mathematical Astronomy Morsels*, Willmann-Bell 429 páginas

estimaciones más optimistas nos hablan de 3.000 millones de años para esa fecha.

Es imposible saber que habrá sido de la Humanidad en esa época. Ni siquiera tenemos claro si el Ser Humano habrá sobrevivido al calentamiento global actual y si la Tierra albergará vida multicelular en 600 millones de años. Mi deseo es que entonces quede algún ejemplar del Homo Sapiens que en nuestro planeta, en una nave espacial o desde otro cuerpo celeste le pueda seguir diciendo a su pareja:

Fly me to the moon, Let me play among the stars.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M., Finn, E.J., 1967, *Física: Volumen I; Mecánica*, Fondo Educativo Interamericano
- Arcimis, A., 1901, *Astronomía Popular*. Ed. Montaner y Simón S.A.
- Ball, R.S., 1885, *La Historia de los Cielos*. Ed. Ramón Molinas. Barcelona.
- Brunier, S., Luminet, J.P., 1999, *Éclipses : Les Rendez-vous celestes*, Bordons Editions
- Casado, J.C., 2011, *Fotografía Astronómica y Atmosférica*, Editorial Omega
- Casado, J.C., Serra Ricart, M., 2003, *Eclipses*, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Unidad Didáctica).
- Ciganal y Angulo, J. ,1829, *Astronomía para todos en doce lecciones*. Gerona. Ed Oliva
- Comas Solá.J. 1930, *El cielo*, Ed. Seguí Barcelona
- Espenak, F., 1987, *Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035*. NASA Reference Publication 1178. Sky Publishing Corporation, Cambridge (USA).
- Flammarion, C., 1877, *Las Tierras del Cielo*. Astronomía Popular. Madrid. Imprenta y Librería de Gaspar editores.
- Gil Sumbiela, L., 1912, *El eclipse de Sol del 17 de abril de 1912*. Imprenta La Gutemberg. Valencia.
- Guillermier, P., Koutchmy, S., 1999, *Total Eclipses*. Springer.
- Harris, J., R. Talcott., 1994, *Chasing the shadow: an observer's guide to solar eclipses*, Kalmbach Books
- Harrington, P.S., 1997, *Eclipse!*, John Wiley and Sons
- Kitchin, C., 2002, *Solar Observing Techniques*, P. Moore's Practical Astronomy Series, Springer
- Littmann, M., K. Willcox. F. Espenak. 2009, *Totality - Eclipses of the Sun*. Oxford University Press, Tercera edición
- Maury, J.P., 2012, *Newton y la Mecánica Celeste*, Ed. Leopoldo Blume
- Meadows, A.J., 1970, *Early Solar Physics*, Pergamon Press

- Mitchell, S.A., 1923, *Eclipses of the Sun*, Columbia University Press
- Oliver, J.M. 1992, *Eclipses totales de Sol en España*. En *Astronomía*. Ed Orbis-Fabri.
- Ortega Ríos, R., Ureña, A.J., 2010, *Introducción a la Mecánica Celeste*, Editorial Universidad de Granada
- Pang, Alex Soojung-Kim, 2002, *Empire and the Sun: Victorian Solar Eclipse Expeditions*, Stanford University Press
- Pasachoff, J.M., 1993, *The Cambridge Eclipse Photographic Guide*, Cambridge University Press
- Pasachoff, J.M., Golub, L., 1997, *The Solar Corona*, Cambridge University Press
- Sougez, M.L., 2023, *Historia de la Fotografía*, Editorial Cátedra, 576 Páginas
- Stephenson, F.R., 1977, *Historical Eclipses and Earth's Rotation*, Cambridge University Press.
- Villaver, E., 2021, *Las mil caras de la Luna*, Harper Collins
- Zirker, J.B., 1995, *Total Eclipses of the Sun*, Princeton University Press