DETERMINAR EL DIÁMETRO DEL SOL MEDIANTE ECLIPSES

Carles Schnabel

La determinación precisa del diámetro del Sol es un problema astronómico que se ha abordado durante siglos. Ya en la Antigüedad, Ptolomeo propuso valores para el tamaño aparente solar, y posteriormente otros astrónomos advirtieron que su diámetro angular cambia a lo largo del año debido a la variación de la distancia entre la Tierra y el Sol. Durante los siglos siguientes se desarrollaron instrumentos y procedimientos específicos para medirlo. Las campañas de observación de los tránsitos de Venus del siglo XIX también contribuyeron al perfeccionamiento de las medidas astronómicas.

Como referencia se ha utilizado un radio solar angular de aproximadamente 959,63 segundos de arco a la distancia de una unidad astronómica. Sin embargo, obtener un valor observacional cada vez más preciso sigue siendo interesante, tanto para comparar diferentes métodos como para investigar si existen pequeñas variaciones a largo plazo.

El diámetro solar puede estudiarse mediante observaciones directas, tránsitos planetarios, instrumentos especializados y experimentos realizados desde satélites. En esta conferencia nos centraremos en una técnica particularmente atractiva para los observadores de eclipses: utilizar el relieve lunar como una máscara que permite medir con precisión el borde de la fotosfera solar.

La Luna como instrumento de medida

Durante un eclipse de Sol, la Luna oculta progresivamente el disco solar. Su borde no es una circunferencia perfectamente lisa: presenta montañas, valles y depresiones que determinan por dónde puede pasar la luz del Sol en los instantes próximos al comienzo y al final de la totalidad o de la anularidad.

Durante mucho tiempo, la principal limitación del método fue el conocimiento insuficiente del perfil lunar. Las observaciones de ocultaciones de estrellas, especialmente las rasantes, permitían mejorar ese perfil. En las últimas décadas, la cartografía de la Luna obtenida mediante altimetría láser desde sondas espaciales ha proporcionado una descripción del relieve con precisiones de pocos metros en numerosas regiones.

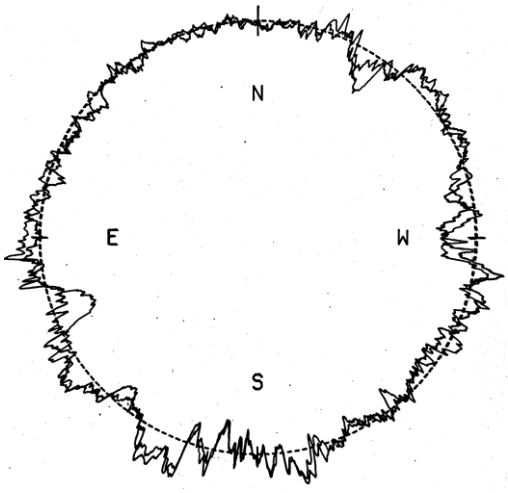

Figura 1. Perfil de la Luna

Gracias a esta mejora, conocemos con gran exactitud la forma de la máscara lunar en cada eclipse, teniendo en cuenta la geometría y la libración. Si identificamos los lugares y los instantes en que la luz solar atraviesa sus valles, podemos ajustar la posición del borde del Sol y obtener una corrección de su radio aparente.

Las perlas de Baily

Las llamadas perlas de Baily son pequeños puntos luminosos que aparecen cuando la luz de la fotosfera solar se filtra a través de los valles del relieve lunar. Se observan especialmente cerca de los contactos de un eclipse total y durante los instantes de tangencia de los discos en determinados eclipses anulares.

La conferencia mostró un vídeo del eclipse anular del 14 de octubre de 2023, registrado por Jörg Schottmayer desde las proximidades del límite norte de la franja de anularidad. En las imágenes se apreciaba cómo las perlas aparecían, cambiaban de forma y desaparecían a medida que la Luna avanzaba. También podían distinguirse detalles de la cromosfera y una protuberancia solar.

Estas secuencias no son solamente espectaculares: contienen información geométrica muy precisa. En condiciones favorables, la sucesión de apariciones y desapariciones puede compararse con el relieve lunar conocido y con las predicciones calculadas para el eclipse. Incluso cuando una grabación carece de referencias temporales suficientemente exactas, la geometría y la evolución de las perlas pueden permitir un análisis posterior, aunque disponer de una escala temporal precisa sigue siendo muy conveniente.

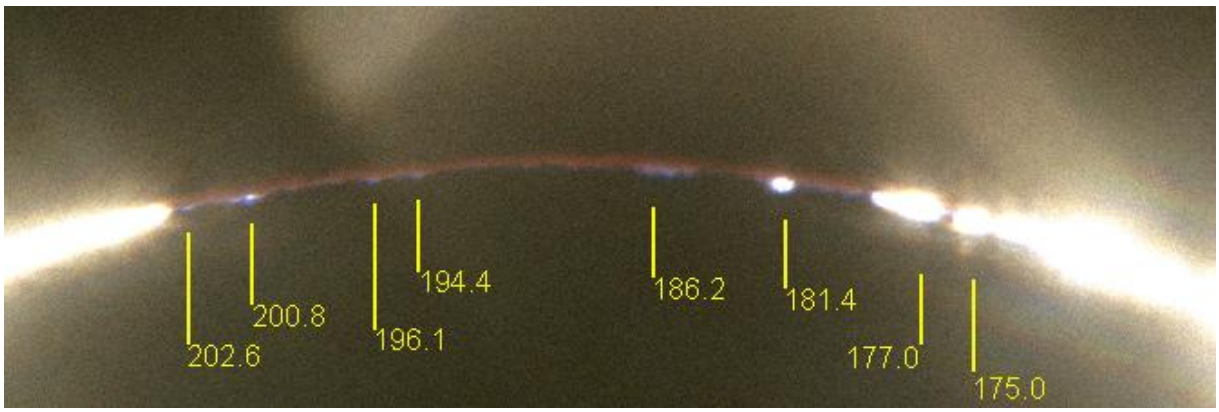

Figura 2. Perlas de Baily

Instrumentación y registro de las observaciones

Desde hace años, distintos equipos vinculados a la International Occultation Timing Association (IOTA) trabajan para unificar las condiciones de observación y facilitar la comparación de resultados. Una de las configuraciones empleadas utiliza telescopios Maksutov de 100 milímetros de abertura y relación focal f/10, combinados con cámaras digitales capaces de registrar al menos diez imágenes por segundo.

La observación exige una atenuación solar apropiada y una selección controlada de la longitud de onda. En el equipo descrito se emplea un sistema de filtrado solar junto con un filtro interferencial centrado en torno a 535 nanómetros, en la región verde del espectro. La uniformidad espectral es importante porque el aspecto del borde solar puede variar según la longitud de onda observada.

Otro elemento fundamental es la referencia temporal. Para trabajar con secuencias de diez fotogramas por segundo resulta deseable una sincronización GPS del orden de la centésima de segundo. Una marca temporal incorrecta puede traducirse en un error al comparar el instante observado de una perla con el instante previsto. Los dispositivos actuales facilitan notablemente esta sincronización.

En algunas demostraciones se mostraron imágenes obtenidas mediante un prisma de Herschel. Conviene subrayar que la observación solar requiere sistemas de protección diseñados específicamente para ese fin: nunca debe interpretarse la ausencia de un filtro frontal visible en una imagen como una indicación de que puede observarse el Sol sin protección adecuada.

El eclipse del 12 de agosto de 2026

Como ejemplo reciente, presenté las observaciones realizadas durante el eclipse del 12 de agosto de 2026 con un Maksutov de diez centímetros, f/10, y una cámara DVTI de sensor pequeño, que proporcionaba una imagen ampliada de la zona del limbo.

La baja altura del Sol sobre el horizonte provocó una turbulencia atmosférica considerable. Por ello, el vídeo resultante presenta oscilaciones de luminosidad y necesita un tratamiento cuidadoso. Aun así, es posible identificar la evolución de las perlas de Baily y estudiar los instantes en que desaparecen.

El primer análisis se realizó visualmente, fotograma a fotograma. El siguiente paso consiste en efectuar medidas fotométricas con programas como Tangra o LiMovie para determinar los tiempos de desaparición de las perlas de forma más objetiva. Después, esos tiempos se comparan con una simulación calculada mediante el programa Occult.

Cómo se obtiene el radio solar con Occult

El procedimiento consiste en reproducir la geometría del eclipse con el perfil lunar conocido y el borde solar calculado. Para cada valle de la Luna, Occult predice en qué momento debe aparecer o desaparecer la luz de la fotosfera. La observación indica cuándo ocurrió realmente ese fenómeno.

Si una perla permanece visible durante más tiempo del previsto, o desaparece antes, la diferencia puede interpretarse como una pequeña discrepancia entre el borde solar adoptado en el modelo

y el que indican las imágenes. Ajustando ligeramente la posición de ese borde se obtiene una corrección del radio solar para cada perla.

El análisis se repite con numerosos puntos del limbo lunar. Cada uno proporciona una corrección individual y, combinando los resultados, se obtiene una estimación global. El valor preliminar presentado para el eclipse del 12 de agosto fue de aproximadamente +0,04 segundos de arco respecto al radio de referencia utilizado en el cálculo. Es importante insistir en que se trataba de un resultado provisional, obtenido mediante una inspección visual y pendiente de un análisis fotométrico completo.

El eclipse anular de 2005 sirvió también para ilustrar la técnica. Una fotografía sobre película mostraba el relieve lunar recortado sobre las regiones luminosas próximas al borde del Sol. La interpretación exige distinguir cuidadosamente la fotosfera, mucho más brillante, de la emisión de las capas solares situadas por encima de ella. Esa distinción es esencial para decidir qué puntos representan realmente el borde fotosférico.

Otras técnicas y resultados publicados

Además del análisis de perlas individuales con tiempos precisos, se han desarrollado otros métodos. Se mencionó el procedimiento del punto pivotante, trabajado por un grupo italiano relacionado con Besselian Elements y Luca Quaglia, que permite aprovechar la evolución de las perlas en grabaciones de vídeo. También se ha ensayado el registro de la iluminación ambiental mediante fotodiodos, aunque este procedimiento ofrece una precisión más limitada.

Otra posibilidad es el estudio del espectro flash. Al dispersar la luz registrada cerca de los contactos del eclipse, se pueden distinguir diferentes longitudes de onda y separar mejor las contribuciones de las capas solares. Los autores de estos trabajos han mostrado que pueden obtenerse registros útiles con una cámara, un teleobjetivo y un elemento dispersor, siempre que se emplee una configuración óptica segura y adecuada.

Las observaciones acumuladas durante las últimas décadas ofrecen estimaciones del radio solar angular que, en los ejemplos mostrados, se sitúan aproximadamente entre 959,9 y 960,02 segundos de arco. Se trata de diferencias extremadamente pequeñas, lo que pone de manifiesto la dificultad de la medida y la importancia de repetirla con métodos homogéneos en sucesivos eclipses.

El objetivo es seguir mejorando la precisión y disponer de una serie de observaciones suficientemente larga y consistente para evaluar posibles variaciones del diámetro solar.

Preguntas

En el eclipse híbrido de abril de 2005 se obtuvo un vídeo con numerosas perlas de Baily, pero sin marcas de tiempo. ¿Sería posible analizarlo ahora?

Sí, merece la pena intentarlo. Aunque el vídeo no tenga referencias temporales precisas, el conocimiento actual del relieve lunar y las posibilidades de modelización de Occult permiten reconsiderar observaciones antiguas. Se podría examinar la secuencia, comparar la geometría de las perlas con las predicciones y valorar si es posible extraer una medida útil.

¿Cómo se pasa exactamente de la observación de las perlas al valor del diámetro solar?

Para cada valle del relieve lunar se calcula el instante en que la fotosfera debería quedar visible u oculta. En el vídeo se mide el instante real de aparición o desaparición de la perla. Si ambos no coinciden, se desplaza ligeramente en el modelo el borde de la fotosfera hasta reproducir la observación. Esa diferencia proporciona una corrección del radio solar para ese punto. Al repetir la operación con varias perlas y combinar las correcciones se obtiene una estimación global del radio. Hoy el procedimiento es mucho más fiable porque el perfil de la Luna se conoce con una precisión muy superior a la disponible hace veinte años.