

LOS VIAJES DE LA FÍSICA

PERSIGUIENDO SOMBRAS, MIDIENDO MERIDIANOS

JOSEP BATLLÓ

A partir del siglo XVII el estudio riguroso y la resolución de varios problemas de la física, principalmente relacionados con la astronomía y la forma de la Tierra, pero también con otras materias, implicó realizar medidas en diferentes lugares y, por tanto, obligó a organizar viajes científicos con estos objetivos específicos. Presentaremos algunos de estos problemas y las soluciones adoptadas en la época.

Palabras clave: eclipse, meridiano, meteorología, relatividad, viaje.

No es difícil argumentar la necesidad del viaje para los naturalistas. Ya resulta más sorprendente que la solución o, cuando menos, el estudio más riguroso de según qué problemas relacionados con la física también requiera hacerlos. Se podría pensar que está claro que hay que establecer contacto personal con otros científicos o visitar laboratorios especialmente dotados que permitan hacer determinados experimentos. Es cierto que viajes así se ajustan al trabajo de un científico; pero no se trata de eso. Se trata de viajes dirigidos a adquirir datos imposibles de obtener de ninguna otra manera para estudiar determinados problemas. Ha habido muchos viajes así, principalmente relacionados, con cuestiones referentes a las dimensiones y forma de la Tierra u otros problemas astronómicos. Pero algunos, como veremos, incluso fueron útiles para solucionar dudas relacionadas con la teoría de la relatividad.

«LOS VIAJES DE LA FÍSICA
ESTABAN DIRIGIDOS
A ADQUIRIR DATOS
IMPOSIBLES DE OBTENER DE
NINGUNA OTRA FORMA PARA
ESTUDIAR DETERMINADOS
PROBLEMAS»

■ LA MEDIDA DEL SISTEMA

SOLAR: LOS TRÁNSITOS DE VENUS DE 1761 Y 1769

Un problema que ya se formuló en la Grecia clásica era el cálculo de la distancia de la Tierra al Sol o, dicho con una formulación más moderna, el del valor de la Unidad Astronómica y las dimensiones del Sistema Solar. La respuesta permaneció muy imprecisa por más de 2.000 años. Por una parte, los instrumentos de medición no permitían obtener datos precisos. Por otra, el sistema astronómico ptolemaico no facilitaba nada encontrarla. Pero con la revolución científica llegaron nuevos instru-

mentos (telescopios y micrómetros) más precisos y nuevas teorías que permitían avanzar.

Johannes Kepler (1571-1630) fue el primero en calcular la ocurrencia de un tránsito de Venus, es decir, la interposición de Venus entre el disco solar y la Tierra. Fue para el año 1631, aunque con un margen de error de horas. La mecánica de Newton permitió cálculos mucho más precisos y se vio que estos tránsitos solo se producen por pares y separados por más de cien años. Por ello, la propuesta de Edmund Halley (1656-1742) de que la paralaje solar y, consecuentemente, la distancia entre el Sol y la Tierra se podía calcular con bastante precisión a partir de las observaciones de los tránsitos de Venus no se pudo comprobar inmediatamente (Halley, 1716). Hubo que esperar al primer par de tránsitos, que debían ocurrir en 1761 y 1769.

Las observaciones de 1761, en parte por la inexperiencia, fueron bastante desafortunadas. Aun así, el físico ruso Mijail Lomonosov (1711-1765) pudo concluir la existencia de atmósfera en Venus. Pero los errores sirvieron de experiencia y para el año 1769 se hizo un despliegue como nunca se había visto. Instituciones de muchos países prepararon observaciones en el propio territorio y expediciones a lugares donde estas fuesen más favorables (dado que es un fenómeno que dura pocas horas, es bueno encontrar lugares donde se pueda observar hacia mediodía). Precisamente, cuando la Royal Society inglesa estaba preparando sus expediciones, en 1768 llegaron las primeras noticias de Samuel Wallis sobre la isla de Tahití. El lugar parecía

A la izquierda, Juan Olivares. *Viaje al centro de la Tierra V*, 2013. Acrílico sobre papel, 21,5 × 28,5 cm.

ideal para la observación y se organizó una expedición bajo el mando de James Cook (1728-1779). Las observaciones se hicieron puntualmente en un lugar que aún se conoce como punta Venus (Cook y Mohr, 1771).

Aparte de observar el tránsito de Venus, Cook había recibido órdenes de encontrar y estudiar la «Terra Australis Incognita», un continente que debía encontrarse en esa parte de la Tierra. No fue así; pero en el aspecto geográfico y naturalístico sí que recopiló muchos datos nuevos de Nueva Zelanda y de Australia, entonces prácticamente desconocidas (Cook, 1922).

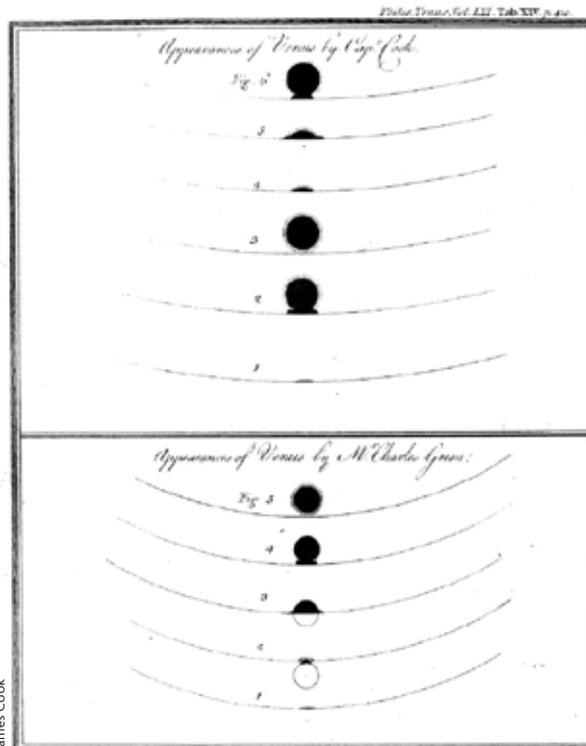
■ LA FORMA DE LA TIERRA

Uno de los resultados de la teoría gravitacional de Newton (1642-1727) era que la Tierra no debía tener forma esférica, sino de elipsoide ligeramente aplanado en los polos; por ello, la medida de un grado de latitud no debía ser igual en todas partes. Pero las medidas obtenidas por

«EN 1769 SE HIZO UN DESPLIEGUE COMO NUNCA SE HABÍA VISTO PARA OBSERVAR LOS TRÁNSITOS DE VENUS. INSTITUCIONES DE MUCHOS PAÍSES PREPARARON OBSERVACIONES EN EL PROPIO TERRITORIO Y EXPEDICIONES A LUGARES DONDE ESTAS FUESEN MÁS FAVORABLES»

el astrónomo G. D. Cassini (1625-1712), director del observatorio de París, apuntaban a una forma aplanada en el ecuador. Dado el prestigio de Cassini y la reconocida calidad de sus medidas, pero también el de Newton, la Académie des Sciences francesa decidió realizar un experimento que permitiese resolver el enigma. Concretamente medir la longitud de un arco de meridiano en dos lugares donde las supuestas diferencias fuesen máximas, para minimizar los posibles errores. Se escogieron Laponia, tierra aún accesible bastante cerca del polo Norte, y el virreinato del Perú, entonces parte del Imperio español, situado en el propio ecuador, y se organizaron dos expediciones simultáneas para hacer las medidas.

La expedición al norte estaba comandada por Pierre-Louis de Maupertuis (1698-1759); salió de París en abril de 1736 y volvió en julio de 1737. Las medidas que tomó confirmaban la hipótesis de Newton. Además, no se desaprovechó la oportunidad para recoger información naturalística y etnográfica. La expedición al virreinato



James Cook

Observación de los diferentes contactos del tránsito de Venus realizada por James Cook y publicada en *Philosophical Transactions*. Se observa el llamado efecto de gota negra, que hace muy difícil determinar el tiempo exacto del contacto y que ahora sabemos que es, principalmente, debido a una falta de calidad de las ópticas utilizadas.

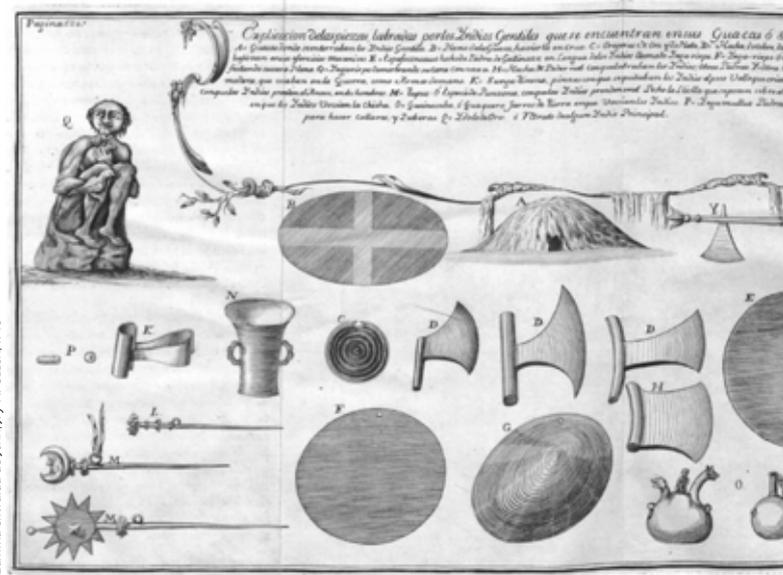


Lámina extraída de JUAN, J. y A. ULCOA, 1748

Aunque el objetivo del viaje fuera una observación geodésica, está claro que nuestros observadores del Perú (y podemos extenderlo a cualquier expedición) no perdían oportunidad de anotar cualquier otra información naturalística, etnográfica, etc. Entre las páginas que describen los trabajos para la medida del meridiano podemos encontrar estas sobre las ruinas de los incas. También en el mismo viaje La Condamine escribió un tratado sobre la quinina.



National Oceanic and Atmospheric Administration (EE UU)



National Oceanic and Atmospheric Administration (EE UU)



National Oceanic and Atmospheric Administration (EE UU)

A la izquierda, dibujo de una de tantas auroras boreales observadas durante el primer año polar internacional por la expedición austriaca a la isla de Jan Mayen (Noruega). A la derecha, mostrando el amplio abanico de intereses, observaciones de la flora ártica.

del Perú estaba dirigida por Charles Marie de La Condamine (1701-1774) y formaban parte de ella, entre otros, Pierre Bouguer (1698-1758) y Louis Godin (1704-1760). Llegados a América se unieron dos oficiales de marina españoles: el valenciano Jorge Juan (1713-1773) y el sevillano Antonio de Ulloa (1716-1795).

Los trabajos en América resultaron mucho más difíciles que en Laponia. Los viajeros tuvieron que realizar observaciones en condiciones tropicales en la costa y otras de alta montaña en la nieve. Si añadimos desavenencias entre unos y otros (en algunos momentos marcharon totalmente por separado) entendemos que la campaña se alargase hasta el año 1744. La vuelta, cada uno la hizo por su lado y hay que notar que La Condamine, en lugar de desandar el camino, siguió el curso del Amazonas hasta Pará y de allá volvió a París, adonde llegó en febrero de 1745 (Lafuente y Mazuecos, 1987).

Aparte de las medidas que confirmaron la hipótesis de Newton, en este viaje se hicieron muchas otras de la fuerza de la gravedad y, por primera vez, de la anomalía gravitatoria que se detecta cerca de las montañas (conocida precisamente como anomalía de Bouguer). También se tomaron muchas medidas meteorológicas y de otros fenómenos presenciados, así como observaciones naturalísticas (Juan y Ulloa, 1748).

Una continuación de este tipo de trabajos fue la medida del arco meridiano de París a Barcelona para definir el metro, que se prolongaría todo el siglo XIX para alargar la medida del meridiano desde las islas Shetland hasta Laghouat, en Argelia, 27 grados en total. Fue una empresa llena de aventuras, muchas acaecidas en nuestras tierras, pero no entraremos a describirla.

■ LA METEOROLOGÍA: LOS AÑOS POLARES

El siglo XIX es el del gran despliegue de la meteorología. Justo es decir que ello se debió no tanto a grandes progresos científicos en esta disciplina como a la invención y utilización del telégrafo. Este invento permitió comparar datos simultáneos en tiempo casi real y, por tanto, el análisis de la atmósfera en grandes áreas, lo que dio paso a la comprensión de la circulación de los ciclones. En la segunda mitad del siglo se crean casi todos los grandes servicios meteorológicos nacionales y se organizan las redes de intercambio de datos. Ya en 1870, tras diferentes tentativas, se establece la Organización Meteorológica Internacional.

Dado que casi todos los servicios se encontraban, en la época, en el hemisferio norte, pronto se vio la fuerte relación que se establecía entre las grandes depresiones



el siglo de los eclipses en la península ibérica

La península Ibérica se vio favorecida entre finales del siglo XIX y primeros años del siglo XX con tres eclipses de Sol visibles como totales en alguna zona: 18 de julio de 1860, 28 de mayo de 1900 y 30 de agosto de 1905. Los eclipses siempre han sido momentos para comparar observaciones y previsiones. El movimiento de la Luna con respecto a la Tierra, por ejemplo, ha sido el primero en ser descrito y el último en ser minuciosamente calculado (Amengual *et al.*, 2005). El problema está en la propia proximidad de nuestro satélite y la influencia tan apreciable del Sol. Es lo que se llama el problema de los tres cuerpos, que no tiene solución analítica. Por eso todos los eclipses se utilizan para comprobar hasta qué grado son precisas nuestras previsiones.

«LA FOTOGRAFÍA

Y LA ESPECTROSCOPIA REFORZARON EL INTERÉS POR LOS ECLIPSES A FINALES DEL SIGLO XIX Y PRINCIPIOS DEL XX»

Pero dos elementos nuevos vinieron a reforzar el interés de los eclipses en aquellos años. El primero fue la fotografía. En 1842 se había obtenido el primer daguerrotipo de un eclipse. A partir de aquel momento ya se podían «congelar» aquellos segundos fantásticos para estudios posteriores. El segundo fue la espectroscopia. Ya en 1840 se hicieron los primeros intentos para estudiar el espec-



Extraído de Flammarion, 1910

Imagen del eclipse de 1900 visto desde el Palmaral de Elche. El apunte fue hecho por la expedición de T. Moreux.

invernales que afectaban a Europa y las zonas polares. Como estas se encontraban entonces desprovistas de estaciones meteorológicas (y también de telégrafos que pudiesen hacer de utilidad sus datos), no es de extrañar que cuando el austriaco Carl Weyprecht (1838-1881) propuso organizar una campaña de un año de observaciones polares se acogiese la idea inmediatamente. Así, un conjunto de campañas de observación en lugares con condiciones realmente extremas fue coordinada, por primera vez, por una organización internacional y no directamente por los estados (Batlló, 2008).

Esta campaña tuvo lugar entre 1882 y 1883 con la participación de doce países. Para llevarla a cabo hubo que coordinar muchos aspectos, diseñar metodologías de observación homogéneas (en la época aún no totalmente estandarizadas) y crear instrumentos nuevos (los termómetros de alcohol preferentemente utilizados en la época, por ejemplo, se congelaban, y lo mismo ocurría con los psicrómetros ordinarios). Se definió toda una

metodología para observar las auroras boreales. ¡Y los viajes fueron totalmente una aventura! Se puede comprobar en las memorias originales de las diferentes expediciones, recientemente digitalizadas.¹ Por ejemplo, la expedición norteamericana a Lady Franklin Bay tuvo que ser rescatada dos años más tarde.

Los resultados de la experiencia, sin ser deslumbradores, fueron útiles, así que entre 1932 y 1933, con motivo de los cincuenta años del primero, se organizó un segundo año polar internacional, ya con cobertura en los dos hemisferios, y con otros medios. Todavía en los años 1957 y 1958 se repitió, con una repercusión tal que se designó como año geofísico internacional. De hecho, sin tener el carácter de epopeya del primero, fue el mayor proyecto de colaboración científica internacional jamás realizado hasta aquel momento. No hay más que recor-

¹ Pueden ser consultadas en la siguiente página web: <http://www.arctic.noaa.gov/aro/ipy-1/index.htm>



Exploratorium

Un nuevo hecho que empezó a generalizarse en los eclipses del siglo xx fue el turismo científico. En la imagen vemos observadores del eclipse de 1900 en Elche.

tro solar. El interés por conocer cómo estaba constituido llevó al descubrimiento del helio, en 1868, y al falso descubrimiento del «coronium» (como supuesto elemento químico constitutivo de la corona solar), en 1869.

Así, los tres eclipses con fase de totalidad en la Península fueron de los más concurridos por los observadores nacionales o extranjeros en cualquier momento de la historia (Ruiz-Castell, 2008). Todos los nombres importantes de la astronomía de la época (Angelo Secchi, Norman Lockyer, Jules Janssen, etc.) estuvieron presentes. En concreto, en el eclipse de 1860 Secchi se posicionó en el Desierto de las Palmas, cerca de Castellón, y, a partir de sus observaciones, descartó definitivamente que la corona fuera un efecto ligado a la Luna como se había pensado hasta la época.

Un último elemento que hay que destacar entonces es la aparición, principalmente a partir de los eclipses de 1900 y 1905, de un nuevo fenómeno: el turismo científico.

J. B.

dar que el lanzamiento del primer satélite artificial, el *Sputnik*, formó parte de la colaboración de la Unión Soviética al proyecto.

Más recientemente, entre el 2007 y el 2009, se realizó un nuevo «año polar», si bien consistió más en una intensificación de las observaciones y experimentos realizados desde observatorios ya existentes que en campañas «de aventura» al estilo de los anteriores.

■ CONFIRMANDO LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

Ya en 1911 Albert Einstein había postulado que la luz procedente de las estrellas era desviada al pasar cerca del Sol. Dada la imposibilidad, en la época, de observar las estrellas cerca del Sol (lo que no se

«UN PRIMER INTENTO DE MEDIR LAS DESVIACIONES DE LA LUZ DE LAS ESTRELLAS DURANTE EL ECLIPSE DE 1914 SE VIO FRUSTRADO POR EL INICIO DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL»

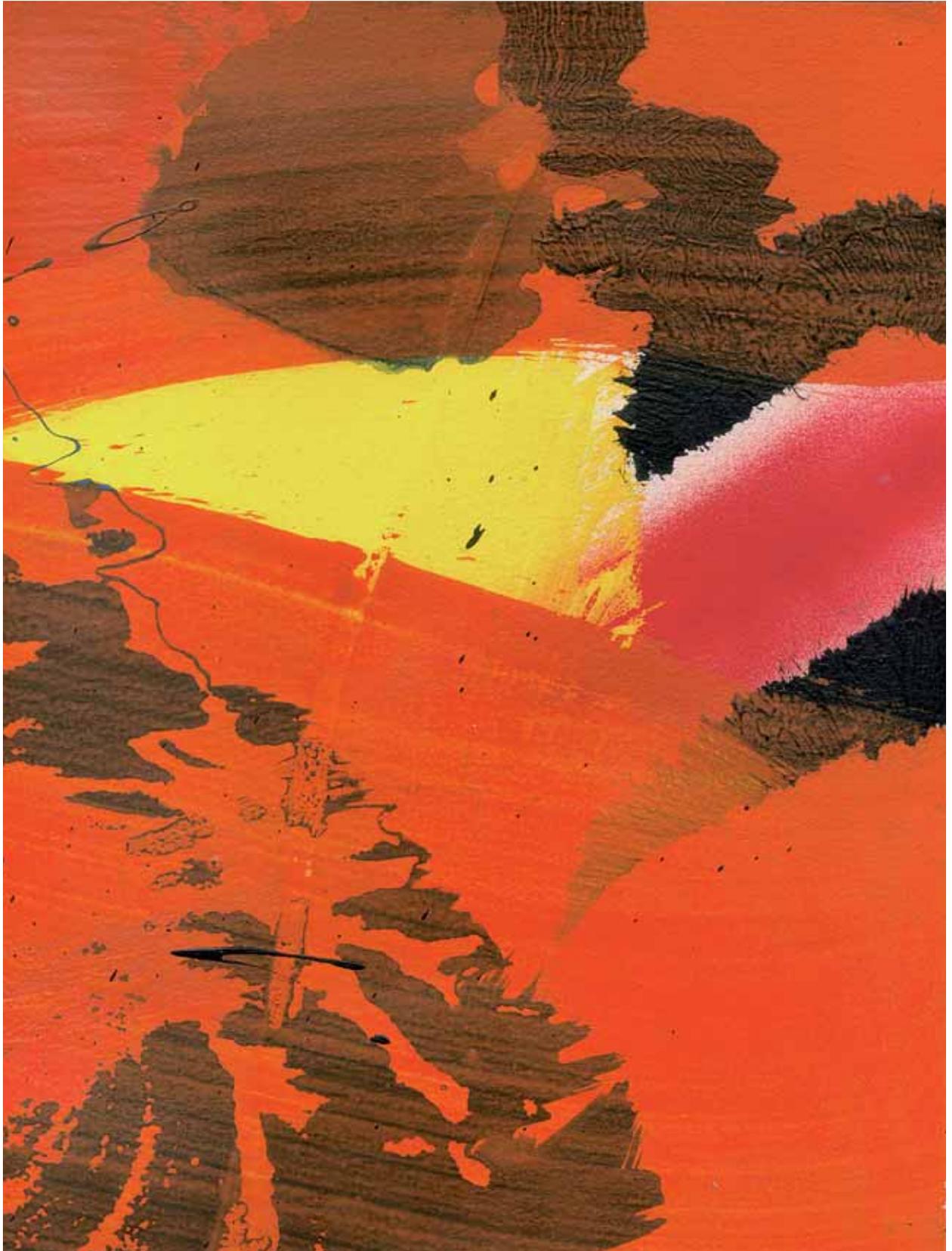


F. W. Dyson

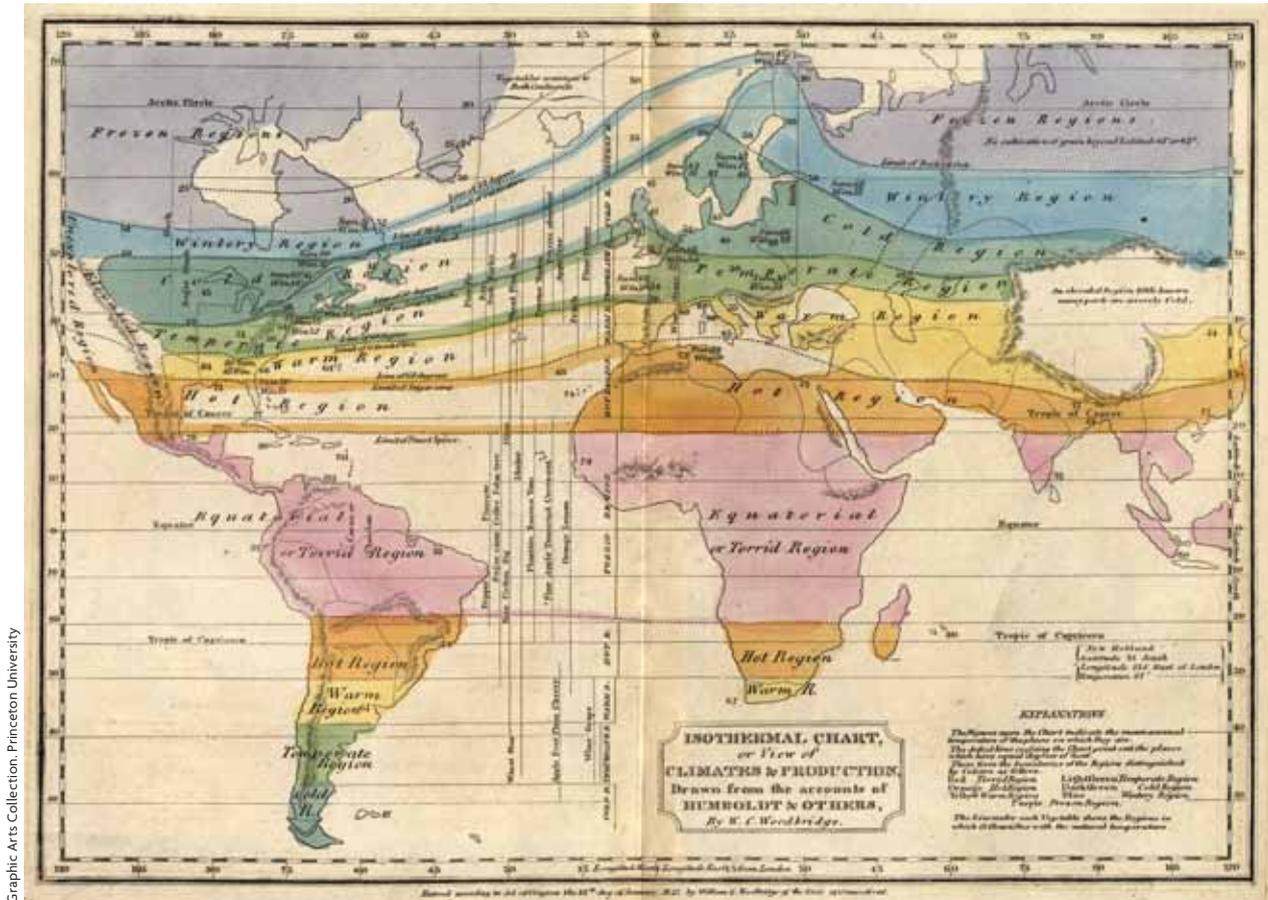
Una de las fotografías más famosas de un eclipse solar. La que tomó F. W. Dyson en Sobral, Brasil, en 1919. Los dobles guiones horizontales que se intuyen en diferentes lugares marcan dónde se encuentran las estrellas objeto del estudio.

resolvió hasta el 1931, con la invención del coronógrafo por Bernard Lyot), la única posibilidad de observar y medir el fenómeno se daba durante los pocos minutos de los eclipses. Un primer intento de medir estas desviaciones durante el eclipse de 1914 se vio frustrado por el estallido de la Primera Guerra Mundial. Así, aunque la expedición enviada por el observatorio de Greenwich ya se encontraba en Rusia y los astrónomos pudieron volver a Inglaterra, en 1919 aún no habían recuperado el material enviado.

El primer eclipse total de Sol tras la guerra se producía el 29 de mayo de 1919 en la zona ecuatorial del océano Atlántico. La Royal Society preparó dos expediciones: una a Sobral, en la costa del Brasil, liderada por Frank Watson (1868-1939), director del Observatorio de Greenwich, y otra a la isla del Príncipe, en la costa africana, conducida por Arthur Eddington (1882-1944), director del observatorio de Cambridge. El mal tiempo y diferentes problemas con los instrumentos estuvieron a punto de hacer fracasar las expediciones. Finalmente, sin embargo, las medidas confirmaron los postulados de Einstein (Dyson *et al.*, 1920).



Juan Olivares. *Viaje al centro de la Tierra VI*, 2013. Acrílico sobre papel, 21,5 × 28,5 cm.



Graphic Arts Collection. Princeton University

Mapa hemisférico de temperaturas de Alexander von Humboldt. Versión coloreada de Woodbridge. La realización de este mapa, en una época en la que las estaciones meteorológicas aún no eran comunes, fue posible mediante la acumulación de datos obtenidos en los diversos viajes de muchos estudiosos.

■ A MODO DE EPÍLOGO

Si nos fijamos, podemos encontrar algunas características especiales en los viajes de la física. La primera es que en gran parte son viajes coordinados; diferentes grupos van a lugares diferentes. El motivo es obvio. No se necesita una medida, sino que necesitamos comparar las mismas medidas obtenidas en lugares diferentes.

Asimismo, dadas las dimensiones de la empresa, es también normal encontrar detrás grandes instituciones científicas en lugar de intereses personales de un científico. Aunque hay excepciones notorias como, por ejemplo, los viajes de Alexander von Humboldt (1769-1859), con multitud de observaciones meteorológicas y magnéticas que muestran la amplitud de sus intereses. ☉

BIBLIOGRAFÍA

- AMENGUAL, A.; PONS, G. X. y J. MARCH (eds.), 2005. *Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905*. Societat d'Història Natural de les Balears. Palma.
- BATLLÓ, J., 2008. «Notes on the History of International Polar Years in Catalonia and Spain». *Tethys*, 5: 47-57. DOI: <10.3369/tethys.2008.5.05>.
- COOK, J., 1922. *James Cook comandante del "Endeavour": relación de su pri-*

mer viaje alrededor del mundo durante los años 1768, 1769, 1770 y 1771. Calpe. Madrid.

- COOK, J. y J. M. MOHR, 1771. «Transitus Veneris & Mercurii in Eorum Exitu e Disco Solis, 4to Mensis Junii & 10mo Novembris, 1769, Observatus. Communicated by Capt. James Cook». *Philosophical Transactions*, 61: 433-436. DOI: <10.1098/rstl.1771.0046>.
- DYSON, F. W.; EDDINGTON, A. S. y C. DAVIDSON, 1920. «A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919». *Philosophical Transactions. Series A*, 220: 291-333. DOI: <10.1098/rsta.1920.0009>.
- FLAMMARION, C., 1910. *Astronomy for Amateurs*. D. Appleton & Company. Nueva York. Disponible en: <<http://www.gutenberg.org/files/25267/25267-h/25267-h.htm>>.
- HALLEY, E., 1716. «A New Method of Determining the Parallax of the Sun, or His Distance from the Earth». *Philosophical Transactions*, 29(338-350): 454-464. DOI: <10.1098/rstl.1714.0056>.
- JUAN, J. y A. ULLOA, 1748. *Relacion histórica del viaje a la América Meridional ... para medir algunos grados de meridiano terrestre ...* Antonio Marin. Madrid. Disponible en la web de la Biblioteca Nacional de España: <<http://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/12Octubre/CienciaExploracion/JorgeJuan/SeleccionObras/>>.
- LAFUENTE, A. y A. MAZUECOS, 1987. *Los Caballeros del Punto Fijo*. Serbal. Barcelona.
- RUIZ-CASTELL, P., 2008. *Astronomy and Astrophysics in Spain (1850-1914)*. Cambridge Scholars Publishing. Newcastle.

Josep Batlló. Investigador del Instituto Dom Luiz. Universidad de Lisboa.