NÚMEROS
Revista de Didáctica de las Matemáticas
http://www.sinewton.org/numeros
ISSN: 1887-1984
Volumen 100, mayo de 2019, páginas 161-165

La Longitud: ¿Qué hora es?

Juan Antonio García Cruz
(Universidad de La Laguna. España)

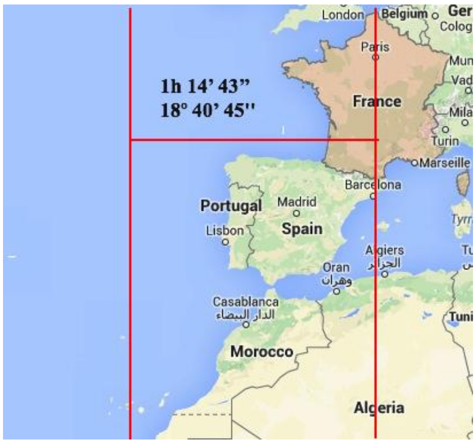
Todo punto sobre la superficie de la Tierra queda determinado unívocamente mediante dos coordenadas: la latitud y la longitud. La latitud es la distancia en grados que separa el paralelo que pasa por ese punto respecto del Ecuador. Contamos la latitud a partir de un paralelo natural, el Ecuador terrestre, que divide a la Tierra por la mitad. Luego las latitudes van desde 0º a 90º hacia los dos Polos terrestres.

La longitud se cuenta a partir de un meridiano origen o meridiano cero. Hasta 1884, en que una comisión internacional fijó como meridiano cero el que pasa por el Observatorio de Greenwich, cada nación tenía su propio meridiano cero. A finales del siglo XVIII España contaba las longitudes a partir del meridiano del Observatorio de Cádiz situado en la isla de San Fernando, mientras que Francia lo hacía a partir del meridiano del Observatorio de París. Este meridiano había sustituido durante el siglo XVIII al meridiano que pasaba por la isla de El Hierro.

Durante el siglo XVIII la Academia de Ciencias de Francia envió dos expediciones a las islas Canarias con el objetivo de fijar, de forma científica, las coordenadas geográficas de sus puntos más relevantes. Entre esos puntos se encontraba el Pico del Teide, usado por los holandeses como referente para el cálculo de las longitudes, así como el meridiano de la isla de El Hierro utilizado por los franceses como meridiano cero. La determinación de tales coordenadas permitiría elaborar una cartografía más precisa del archipiélago.

La primera expedición la formaban solamente dos personas: El matemático real Louis Feuillée y su ayudante el joven Verguin. Su principal objetivo era fijar la posición exacta del meridiano cero que pasaba por la isla de El Hierro y la posición del Pico del Teide. Feuillée fijó, aunque fue muy cuestionado por los miembros de la Academia, el meridiano de la isla de El Hierro (Valverde) en 19º 55’ 10’’ y el del Pico del Teide en 18º 52’ 54’’, ambos al oeste del Observatorio de París. Los reparos puestos a los dos meridianos derivan de los métodos empleados en sus cálculos. El método aceptado por la Academia para la determinación de la longitud era un método astronómico que utilizaba los eclipses de los satélites de Júpiter. Ese método no fue utilizado en el cálculo de la longitud de los dos puntos geográficos anteriores, en ambos se utilizó trigonometría plana. Veamos el procedimiento de los eclipses en la determinación de la longitud de la ciudad de La Laguna. Se trata de saber a qué hora se produce el eclipse en La Laguna y qué hora es, al mismo tiempo, en el Observatorio de París. La diferencia horaria trasladada a grados de arco de Ecuador proporciona la longitud geográfica de La Laguna.

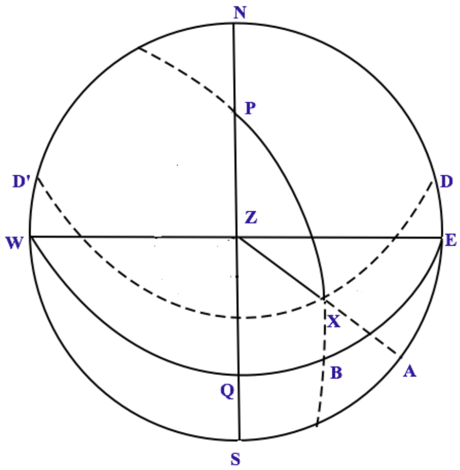
Las noches del 1, 24 de julio y 25 de septiembre, Feuillée y Verguin observaron el eclipse de uno de los satélites de Júpiter y al mismo tiempo se realizó tal observación en el Observatorio de París. Las diferencias horarias arrojaron un promedio de 1h 14’ 43’’ entre ambas estaciones de observación. Como a cada hora corresponden 15º, determinaron que la ciudad de La Laguna estaba a 18º 40’ 45’’ al oeste del Observatorio de París. Para determinar la hora se utilizó un reloj de péndulo, que tenía que ser ajustado diariamente debido a la facilidad que tenía para descompensarse.



Este método de los eclipses de los satélites de Júpiter requería del concurso de un observador situado en el Observatorio de París. Los cómputos realizados por Feuillée en La Laguna tenían que esperar a su regreso a París para ser cotejados con los allí anotados. El método de los eclipses de los satélites de Júpiter, aunque muy fiable, tiene como limitaciones más importantes requerir del concurso de un observador externo, de una visión clara de los satélites y no se podía realizar cualquier día. Su uso se ceñía a observaciones efectuadas en tierra firme.

En 1776 tiene lugar la expedición formada por las corbetas *La Boussole* y *l’Espiegle* al mando del Caballero de Borda. Participa en la misma la marina española con José Varela y Luis Argüedas. En el diario de Varela tenemos múltiples ejemplos de un procedimiento novedoso que combina la astronomía y un reloj marino, y que permite calcular la hora del barco y determinar su posición en longitud.

El reloj marino es la novedad tecnológica más importante del siglo XVIII. Permite conservar la hora del Observatorio de partida y comparar esta con la hora de la posición del barco quedando así fijada su longitud. Veamos el cálculo de Varela para la longitud de la rada de Santa Cruz de Tenerife.



La figura muestra la proyección de la esfera celeste sobre el horizonte del observador, situado sobre el barco. Z es la proyección del Cenit del observador, así que NZS es el meridiano del lugar del observador. P es la proyección del Polo norte celeste. X la proyección del Sol. WQBE es la proyección de la línea equinoccial celeste. DD’ es la proyección de la eclíptica, línea del movimiento aparente del Sol. El ángulo ZPX corresponde con la diferencia horaria entre el Sol y el barco. Se trata de resolver el triángulo esférico ZPX[i].

Varela toma seis observaciones de la altura del Sol sobre el horizonte y anota las mismas con la correspondiente hora señalada por el reloj marino que porta la hora del Observatorio de Cádiz. En promedio obtiene para el tiempo verdadero en Cádiz 8h 40’ 28,4’’. Quedando la altura promedio verdadera del Sol en 33º 37’ 30’’. Así que restando de 90º obtiene 26º 23’ 30’’ para el arco ZX, distancia del Sol al Cenit del observador. Por las tablas sabe que la declinación solar para ese día es de 15º 41’ 24’’, arco BX. Restando de 90º obtiene PX, distancia polar, igual a 74º 18’ 36’’. Por último, conoce la latitud del barco, QZ, igual a 28º 27’ 0’’, y restando de 90º obtiene el arco ZP, colatitud del observador, igual a 61º 33’. Por lo tanto, del triángulo esférico ZPX conoce los arcos ZP, XP y ZX. Ahora resolviendo por trigonometría esférica puede calcular el ángulo horario P, según la expresión
cos ZX = cos P sen PZ sen PX + cos PZ cos PX

Obtiene por resolución de la expresión anterior 59º 52’ 6’’para el ángulo en P. Dado que el Sol recorre 15º en una hora o 1º en 4 minutos, multiplicando por 4 la cifra anterior, obtiene 3h 59’ 28’’ 24’’’. Ese es el tiempo que tardará, el Sol, en llegar al meridiano del barco.

Por lo tanto, la hora del barco 12 – 3h 59’28’’24’’= 8h 0’ 31’’ 36’’.

Falta por calcular la diferencia horaria entre Cádiz y el barco.

Se calcula restando de la hora en Cádiz la hora verdadera del barco:

Es decir (8h 40’ 28’’ 24’’’) – (8h 0’ 31’’ 36’’’) = 39’ 56’’ 48’’’.

Dividiendo la cantidad anterior por 4 obtenemos 9º 59’ 12’’ para la longitud de Santa Cruz de Tenerife al oeste del Observatorio de Cádiz (igual a 18º 35’ 12’’ oeste de París).

Este método, laborioso en observaciones y cálculo, tiene la ventaja de que no requiere de un observador externo, como el de los eclipses, y permite determinar la longitud en el mismo lugar de observación. El lector pensara, y con razón, que los cálculos son muy laboriosos. Sin embargo, el piloto no tenía que realizar todos esos cálculos tal y como los he expuesto aquí. Para ello disponía de un procedimiento estándar: *el algoritmo de los cuatro logaritmos*, al que se llega mediante manipulación de la expresión trigonométrica de partida y que puede consultarse en las referencias.

El uno de agosto de 1776 fondea en la rada de Santa Cruz de Tenerife el navío *Resolution* al mando del capitán Cook. Abordo lleva un reloj marino fabricado por Kendal y basado en los principios de Harrison. Cook fijó para la rada de Santa Cruz de Tenerife una longitud de 16º 31’ al oeste de Greenwich como promedio de tres observaciones realizadas durante tres días consecutivos.

Cook compara sus resultados con los obtenidos por Varela, que había calculado para la rada de Santa Cruz una longitud igual a 18º 35’ 12’’ al oeste de París o 16º 16’ 12’’ al oeste de Greenwich (tomando 2º 19’ como diferencia en longitud entre los dos observatorios). En la comparación resulta que el reloj de Cook ha dado una longitud mayor en 14’ 48’’ que la dada por el reloj de Varela, fabricado por F. Berthoud. Cook no está de acuerdo y realiza otra determinación de la longitud de la rada, utilizando el procedimiento de las distancias lunares, con lo que obtiene 16º 37’ 10’’, resultado que está más próximo al valor calculado por él que al obtenido por Varela. Otras determinaciones hechas por Cook con los relojes marinos arrojan una longitud igual a 16º 33’ 30’’ y 16º 28’, ambas al oeste de Greenwich. Un promedio entre todas proporciona para la longitud de la rada de Santa Cruz el valor 16º 30’ 40’’ al oeste de Greenwich. Todos estos resultados hacen que Cook se reafirme en sus cálculos y los considere mejores que los obtenidos por Varela.

Para poder establecer una comparación entre los cálculos realizados por Varela y Cook, supongamos que ambos refieren la longitud de Santa Cruz de Tenerife a lo que entonces era el muelle, pues es allí donde según el manuscrito de Borda se realizaron los ajustes del péndulo y la verificación de los relojes marinos. El derrotero inglés para el año 1953, proporciona para el faro situado en el muelle sur, de Santa Cruz de Tenerife, una longitud de 16º 14’ al oeste de Greenwich, y esta posición estaría más próxima al observatorio de Borda que cualquier otra tomada en la rada de Santa Cruz. El valor para la longitud dada por el derrotero también está más próximo al dado por Varela que al calculado por Cook. En este caso el reloj marino francés y la habilidad de manejo del sextante por parte de Varela ha superado al reloj marino inglés y la habilidad de Cook. El método utilizado por Varela se muestra, en este caso, mucho más efectivo que el método de las distancias lunares utilizado por Cook.

En el medio siglo transcurrido desde el viaje de L. Feuillée en 1724 al de Varela en 1776, la tecnología desarrolló nuevos instrumentos de observación, sextantes y cuartos de círculo, y de conservación del tiempo, reloj marino, mucho más precisos que los que portó Feuillée. Además de métodos teóricos mucho más eficaces.

Bibliografía

García Cruz, J.A., 2009. Louis Feuillée y el Primer Meridiano. *Números*, vol. 72: 35-45.
García Cruz, J.A., 2017. *La carta náutica de las islas Canarias del Caballero de Borda (1780).* La Laguna: Instituto de Estudios Canarios. Universidad de La Laguna.

Juan Antonio García Cruz
Dr. en Ciencias Matemáticas por la ULL
Director de Números del 2002 al 2006
Actualmente trabaja en la historia de la cartografía del archipiélago canario.

Juan Antonio García Cruz. Dr. En Ciencias Matemáticas por la Universidad de La Laguna (España). Director de *Números* del 2002 al 2006. Actualmente trabaja en la historia de la cartografía del archipiélago canario.

[i]Recreación del método astronómico

Sobre la cubierta del barco.
El Sol está hacia la banda del Este, es decir, estamos antes del mediodía.
Imaginamos la esfera celeste. En nuestra vertical, encima de nosotros está el cenit, punto que representamos por la letra Z.
P es el polo norte de la esfera celeste.
S es el Sol.
Tenemos el triángulo ZPS.
Tomamos la altura del Sol sobre el horizonte. Restando este valor de 90º tenemos el valor del arco ZS.
El valor del arco ZP, lo calculamos restando de 90º nuestra latitud, distancia que nos separa del Ecuador.
El valor de arco SP, lo calculamos restando de 90º la declinación solar, distancia que separa al Sol del Ecuador.
Ya tenemos los tres arcos ZP, SP y ZS del triángulo esférico ZPXS.
Así que podemos calcular el ángulo en P.
El ángulo P es el ángulo comprendido por nuestro meridiano y el meridiano en que se encuentra el Sol en el momento de la observación. Así que su valor es el tiempo que resta para que el Sol llegue a nuestro mediodía. Restando el valor obtenido para P de 12h, tenemos la hora del barco