

de un mismo meridiano, ó que sólo difieran en latitud, la esfera celeste presenta diferente aspecto en todos los momentos; las partes de dicha esfera que sucesivamente se ofrecen á la vista en una rotación diurna completa, no son las mismas, y las estrellas comunes á entrambas describen círculos diferentemente inclinados á sus respectivos horizontes, cortados por éstos de diferente modo, y culminan á diferentes alturas. Por el contrario, los observadores situados en el mismo paralelo, ó que sólo difieren en longitud, tienen el mismo aspecto de la esfera celeste; las partes de ésta visibles para ambos son unas mismas, y las mismas estrellas describen círculos igualmente inclinados sobre el horizonte, y semejantemente divididos por él, y culminan á la misma altura. En el primer caso, hay alguna circunstancia en el aspecto de la esfera celeste, observado con esmero durante una rotación diurna completa, que indique una diferencia de localidad en el observador; pero en el segundo no hay absolutamente ninguna.

Con todo eso, nunca puede acaecer el que dos observadores situados en diferentes puntos de la superficie de la Tierra tengan á la vista en un mismo instante el mismo hemisferio celeste. Supongamos, para fijar las ideas, que un observador situado en un punto cualquiera de la línea equinoccial, en el momento de advertir que una estrella de las más lucientes llegaba al cenit, y por consiguiente al meridiano, fuese transportado repentinamente, en un momento indivisible, alrededor de una cuarta parte del globo en dirección occidental; y es evidente, por lo que llevamos explicado, que ya no tendría entonces la misma estrella verticalmente sobre su cabeza, sino que se le presentaría en el acto de nacer ó asomar por el horizonte, y habría de aguardar seis horas para que la estrella llegase á su nuevo cenit; esto es, para que la rotación de la Tierra de Occidente á Oriente le hiciese *retroceder* á la línea que une la estrella y el centro de la Tierra, que es la misma de donde suponemos que ha partido.

Según esto, la diferencia entre los dos casos puede presentarse de modo que suministre una clave para la solución astronómica del problema de la longitud. Cuando los puntos sólo difieren en latitud, la misma estrella culmina en un mismo momento, pero á diferentes alturas; y cuando sólo difieren en longitud, culmina á la misma altura, pero en distintos momentos. Luego, suponiendo que el observador tenga algún medio por el cual pueda averiguar con certeza el momento, ó el *tiempo*, del paso de una estrella conocida por su meridiano, y por el de otro observador, conocerá también la diferencia de longitud entre estos dos meridianos. Por ejemplo, si la misma estrella pasa por el meridiano de un lugar A, á cierto momento, y por el de B una hora de tiempo sidéreo más tarde, la diferencia de longitudes será, según se explicó antes, de 15°.

Como este asunto no deja de producir cierta confusión en los que no tienen práctica en el estudio, vamos á tratar de desarrollarlo para que se obtenga una perfecta inteligencia del principio en que se funda la solución del problema de hallar la longitud por observaciones astronómicas; es necesario que el lector se habitúe á distinguir el tiempo en abstracto, que es común á todo el Universo, y que por tanto se cuenta desde una época independiente de toda situación local, y el *tiempo local*, que se cuenta en cada paraje particular, desde una época ó instante inicial, determinadas por conveniencias que dependen de la misma localidad. El astrónomo, como ya sabemos, arregla su péndulo sidéreo, de modo que

indique 0^h 0^m 0^s, cuando un punto determinado de la esfera celeste, que se llama el equinoccio, se halla en el meridiano de su observatorio; esta es la época de su tiempo sidéreo, que, como se ve, es enteramente local; y así, no basta decir que un suceso se verificó á tal ó cual hora de tiempo sidéreo, sino que es necesario particularizar la estación á que dicho tiempo sidéreo pertenece. Y otro tanto sucede con el tiempo medio ó común, que también tiene por época un acacimamiento local, como es el instante del mediodía medio, ó sea el promedio de todos los instantes, en que durante el año llega el Sol al meridiano de aquel paraje particular, á que pertenece dicho tiempo.

Así el astrónomo arregla su péndulo sidéreo, observando los pasos meridianos de las estrellas más notables y mejor conocidas, cada una de las cuales tiene en la esfera celeste un lugar determinado y sabido, con respecto á ese punto imaginario llamado el equinoccio; y anotando los momentos de sus respectivos pasos por medio de su péndulo, sabe el instante en que, como queda explicado, debió pasar el equinoccio. En dicho instante debiera su reloj haber señalado 0^h 0^m 0^s; mas si así no fuese, conoce el error y puede corregirlo, y por la concordancia ó discordancia de los errores que cada estrella individualmente indica, puede averiguar si su reloj está arreglado, de modo que señale 24^h cabales en un período diurno, y dado caso de que no lo estuviese, podrá determinar cuánto varía diariamente, y llevarlo en cuenta. Así, pues, aun cuando su reloj tenga errores, y ciertamente que nunca dejará de tenerlos, ya por no señalar las horas cuando debiera, ya también por no corresponder exactamente sus 24^h á una rotación diurna de la Tierra, con todo eso, aplicándole el estado absoluto y movimiento (que es como técnicamente se denomina lo que un reloj atrasa ó adelanta en un momento dado, y las variaciones diarias que experimenta en su marcha) puede corregir sus indicaciones y determinar el tiempo sidéreo exacto que les corresponde, y que es propio de su localidad. Esta operación previa é indispensable en todo reloj es á la que se alude cuando se dice que se determina el *tiempo local*. Sin embargo, para simplificar la explicación, supondremos que el péndulo es un instrumento perfecto, ó lo que es equivalente, que se llevan en cuenta su estado absoluto y movimiento, siempre que se hace uso de sus indicaciones.

Pues supongamos ahora que dos observadores situados en puntos distantes entre sí, A y B, arreglan sus péndulos al tiempo sidéreo de sus respectivas estaciones, con total independencia el uno del otro; y es evidente que si uno de estos péndulos pudiera desmontarse sin alterar su marcha, y trasladarse al lado del otro, se hallaría, al compararlos, que discrepaban en una cantidad, precisamente, igual á la diferencia de sus épocas locales, á saber, en el intervalo de tiempo que tarda el equinoccio, ó una estrella cualquiera, en pasar desde el meridiano de A al de B; en otros términos, en su diferencia de longitud expresada en horas, minutos, etc., de tiempo sidéreo. Con un péndulo no puede hacerse esta traslación de un paraje á otro, sin desarreglarlo; pero sí se puede con un cronómetro ó buen reloj portátil; supongamos, pues, que el observador en B se sirviese de un cronómetro en lugar de péndulo, en cuyo caso pudiera ya, transfiriendo este instrumento al otro punto, conseguir una comparación directa de tiempos sidéreos, y obtener así la longitud contada desde A. Y aun cuando se valiese de un pén-

dulo, si primero lo comparase con un buen cronómetro, y después transportase este último para compararlo con el otro péndulo, se lograría el mismo fin, siempre que pudiera tenerse confianza en la marcha del cronómetro.

Este método parece el más cómodo y cumplido que pudiera desearse para averiguar las diferencias de longitud, si los cronómetros fuesen perfectos, pues un observador, provisto de uno de estos instrumentos y de un anteojo meridiano portátil, ó de algún medio equivalente para determinar el tiempo local en cualquier punto dado, viajando de lugar en lugar, y observando pasos meridianos de estrellas en cada uno de ellos, podría averiguar con toda la exactitud apetecible sus diferencias de longitud, contando siempre con que en el intermedio no se alterase el arreglo de su cronómetro, ni lo dejase parar por falta de cuerda. En tal supuesto, como se emplea el mismo cronómetro en todas las estaciones, si en una de ellas A señalase rigurosamente el tiempo sidéreo, en otra cualquiera B tendría de estado absoluto respecto del tiempo sidéreo de este punto una cantidad equivalente á la diferencia de longitudes entre A y B; en otros términos, la longitud de B respecto de A aparecería bajo la forma de estado absoluto del cronómetro respecto del tiempo sidéreo local de B. Si viajase, pues, hacia Occidente, le parecería que su cronómetro adelantaba constantemente, aun cuando su movimiento fuese nulo.

Supongamos, por ejemplo, que hubiese salido de A en el momento de estar el equinoccio en el meridiano, ó cuando su cronómetro señalaba las 0 horas, y que en 24 horas de tiempo sidéreo hubiese viajado 15° al Occidente hasta B; claro está que, en el momento de su llegada á este punto, volvería su cronómetro á señalar 0^h , mas el equinoccio no se hallaría en este su nuevo meridiano, sino en el de A, y tendría que aguardar una hora más para que llegase al de B. Llegado que fuese, su reloj no señalaría entonces las 0^h , sino la 1^h , y por tanto estaría adelantado 1^h respecto del tiempo local de B; lo contrario sucedería si viajase hacia el Oriente, y en este caso su reloj atrasaría 1^h .

Si suponemos que un observador sale de un punto cualquiera, y que viaja constantemente hacia el Occidente, para dar la vuelta al globo, y volver al punto de donde salió, resultará de este viaje un hecho singular, y es que se atrasará en la cuenta del tiempo en un día justo, de modo que anotará en su diario el de llegada como lunes, por ejemplo, cuando en realidad es martes. Y la razón es obvia: los días y las noches no provienen más que de las alternadas apariciones del Sol y de las estrellas, conforme la rotación de la Tierra va presentando sucesivamente, ya el uno, ya las otras, á la vista del observador; y cuantas vueltas éste diese alrededor de su centro, otros tantos días y noches contará; pues si él en su viaje completa la vuelta al globo en la dirección del movimiento giratorio, claro está que á su regreso habrá hecho realmente un giro más alrededor del centro, que si hubiera permanecido estacionario en un punto de la superficie terrestre, y un giro menos si toma la dirección opuesta; de forma que en el primer caso habrá presenciado una alternativa más del día y de la noche, y en el segundo una menos que si se hubiera dejado llevar, simplemente, por la rotación de la Tierra. Y como ésta se hace de Occidente á Oriente, se sigue que la dirección occidental de su viaje, por ser contrapuesta á la de rotación, debe hacerle perder un día, al paso que la dirección oriental conspirando con ella debe hacerse lo

ganar; en el primer caso, todos sus días serán más largos que los de un observador estacionario, y más cortos en el segundo, todo lo cual experimentan así los navegantes que dan vuelta al globo.

También se sigue de aquí, que países distantes, situados bajo un mismo meridiano, diferirán precisamente en un día en su modo usual de contar el tiempo, según que los viajeros ó colonos hayan llegado á ellos navegando al Oriente ó al Occidente. Esto sucedía hasta hace poco tiempo en las islas Filipinas, pues siendo su diferencia de longitud con España de unas 8 horas y media, y habiendo sido descubiertas por navegantes que se dirigieron por el lado de Occidente, resultaba su fecha atrasada en un día; así que se contaba en Manila, por ejemplo, el 31 de diciembre de 1850, cuando en Europa estábamos en el 1.º de enero de 1851.

Otro caso curioso es el de un navegante que se encuentre á los 180° de longitud del punto de partida, pues contándose las longitudes por el Este ó por el Oeste, hasta el meridiano de ese valor, resulta que en un mismo día puede tener que apuntar dos fechas distintas, ó la misma fecha dos días seguidos.

Los medios principales que se emplean para determinar las longitudes son tres: el transporte de cronómetros, las señales luminosas y el telégrafo eléctrico.

Los marinos y viajeros se sirven casi exclusivamente del primero. Los cronómetros son unos relojes portátiles contruídos con gran primor, que en el momento de la partida se arreglan exactamente á la hora sidérea ó media del meridiano de origen, de Barcelona, por ejemplo; si el instrumento no sufre variación alguna durante el viaje, y se conoce con precisión su marcha, se podrá saber con su auxilio, en todo lugar y á todo momento, la hora de Barcelona. Supongamos que de este último puerto sale un buque para la Coruña y que al llegar, por medio de observaciones astronómicas, determina el viajero la hora local, que comparada con la de Barcelona, indicada por el cronómetro de á bordo, da la longitud de la Coruña respecto del meridiano de Barcelona, que se hallaría ser igual á $43^m 13^s$, de modo que cuando en la Coruña fueran las 12 serían en Barcelona las $12^h 43^m 13^s$. Desgraciadamente, para los progresos de la geografía y de la navegación, el cronómetro, á pesar de las mejoras notables y en verdad maravillosas que debe á la pericia de los artistas modernos, está todavía muy lejos de la perfección necesaria, para que se pueda tener en él una confianza completa; pues si bien puede conservar su uniformidad de marcha por algunas horas y aun días, sin embargo, se multiplican tanto en los viajes largos las probabilidades de error y los riesgos de accidentes, que no pueden menos de destruir toda la seguridad y confianza que aun el mejor sea capaz de inspirar. Es verdad que hasta cierto punto pudiera esto remediarse llevando varios consigo, y haciendo servir á los unos como de comprobantes de los otros; este método se ha empleado y se emplea siempre que no es posible recurrir á los otros dos indicados, mucho más perfectos. Recientemente determinó la longitud de la isla Mauricio lord Lindsay, que equipó á su costa, con una generosidad y amor á la ciencia de que por desgracia hay pocos ejemplos, una expedición para observar el paso de Venus, transportando nada menos que ochenta magníficos cronómetros.

El método de las señales luminosas es muy sencillo y de grande exactitud;

supongamos que A y B son dos observatorios, ó cualesquiera otros puntos en que se tengan los medios necesarios para determinar con exactitud sus respectivos tiempos locales, y supongamos además que sean visibles el uno desde el otro. Dando por supuesto el arreglo de los relojes ó péndulos sidéreos, hágase en A una señal cualquiera, con tal que sea repentina y bien marcada, como la llamarada de la pólvora al inflamarse, la explosión de un cohete, la extinción súbita de una luz brillante, ó alguna otra que sin riesgo de equivocación pueda verse á grandes distancias. El momento en que se hizo la señal debe anotarse por cada observador en tiempo de su respectivo péndulo ó cronómetro, como si fuese el paso meridiano de una estrella, ó cualquiera otro fenómeno astronómico; y corrigiendo luego la cantidad que atrase ó adelante el reloj en cada estación, se tendrá el tiempo local que respectivamente contaban en el momento de la señal. Por consiguiente, como ambos observadores deben, en razón de la transmisión casi instantánea de la luz, haber visto la señal en un mismo instante absoluto, hallarán, comparando sus observaciones, las diferencias de sus tiempos locales, y por tanto, las de sus longitudes. Si, por ejemplo, se observó la señal en A, á $5^h 0^m 0^s$ de tiempo sidéreo propio de dicha estación, y cual se ha deducido del tiempo que indicaba el reloj de A al verse allí la señal, corrigiéndolo de su estado absoluto; y en B se vió la misma señal á $5^h 4^m 0^s$, tiempo sidéreo de B, hallado igualmente corrigiendo el tiempo de la observación en el reloj de B de su estado absoluto; tendremos en consecuencia la diferencia de sus épocas locales de $4^m 0^s$, que es, asimismo, la diferencia de sus longitudes en tiempo, ó $1^o 0' 0''$ en ángulo horario. Con objeto de obtener mayor exactitud suelen hacerse varias señales, que se suceden á intervalos de antemano concertados, cada una de las cuales dará una comparación de tiempos, y su promedio ha de ser de más confianza que cualquiera comparación suelta. Así se consigue que el error cometido en apreciar el momento de la señal, ó en la comparación de los relojes, quede casi reducido á la nulidad.

Este método es necesariamente de un uso limitado, pues no es posible ver las señales sino de una porción circunscrita de la Tierra, y aunque hay manera de extenderlas más de lo que á primera vista pudiera creerse, colocando estaciones intermedias entre las dos principales, mientras más numerosas sean, más probabilidades hay de que el resultado se separe de la exactitud. Necesariamente, las distancias á que pueden verse las señales dependen asimismo de los accidentes del terreno interpuesto. En el mar, la explosión de los cohetes puede verse fácilmente á 12 ó 15 leguas; y en países montuosos, la llamarada que produce la pólvora al aire libre puede verse á distancias mucho mayores, si se elige un paraje á propósito para la exhibición de esta señal.

En la actualidad se prefiere, siempre que es posible, el empleo de las señales por medio del telégrafo eléctrico, que permite transmitir instantánea y automáticamente la hora exacta del péndulo de un lugar á otro, aunque sea á través de los mares. Así se ha determinado recientemente la longitud del Observatorio de Wáshington respecto del Observatorio de Greenwich. Los americanos suelen hallar las longitudes de sus ciudades, ó estaciones astronómicas, del modo siguiente. De antemano, convienen dos astrónomos en observar en sus respectivos anteojos meridianos los pasos de una serie de estrellas dadas; el astróno-

mo situado más al Este ve pasar primero que el otro las estrellas escogidas, y en el momento en que una de ellas corta el hilo número 1 de su micrómetro, da un golpe en la llave eléctrica que comunica con la batería de pilas y con su péndulo, y además con un aparato particular llamado cronógrafo, que se halla en la otra estación, más al Oeste. La corriente eléctrica hace que en el mismo instante se grabe en ambas estaciones la señal dada, la cual se repite, al pasar la estrella por los hilos sucesivos, y cuando las demás estrellas vienen á su vez á presentarse en el campo del antejo. De modo que la observación se registra al mismo tiempo en la estación del Este y en la del Oeste; pero el movimiento diurno hace que las mismas estrellas se presenten en el meridiano de este último observatorio, y entonces el segundo astrónomo manda también con la llave eléctrica las señales de los pasos, á la estación anterior, quedando en ambas grabados los momentos de las dos series de señales. Por este método se obtiene la diferencia de longitud de los dos puntos, independientemente del lugar tabular de la estrella y del estado absoluto del péndulo.

Claro está que todo esto se evitaría si hubiese en el cielo un reloj con su muestra y agujas, que señalase siempre la hora de un lugar determinado, pues se fijaría la de cualquier punto, inmediatamente que se conociese la hora que allí se contaba, ó su tiempo local, con sólo compararla con la de este reloj; y aun cuando con tal aspecto no lo vemos en el cielo, es lo cierto que de las posiciones de los astros deducen los astrónomos las diferencias de longitud, como si mirasen las manecillas de este reloj ideal que acabamos de indicar; pero la descripción de los procedimientos que se usan para este objeto no son de este lugar, por tratarse de un asunto largo y algo complicado.