

Talcott, aunque tambien hizo algunas observaciones conforme á los demas. En mi campo apliqué los dos primeros y el último, teniendo un al-tazimut, que es el instrumento mas propio para aplicarlos, de mas poder y mejor que el establecido en el Bluff. Como en Nogue-no-yama hice 125 observaciones de latitud, y el Sr. Jimenez 117 en su campo, resulta que las de ambas estaciones quedaron fijadas por la combinacion de mas de 240 determinaciones independientes.

En cuanto á la medida de las longitudes geográficas, los recursos con que cuenta la ciencia son mucho mas limitados, reduciéndose todos los procedimientos á observaciones de la luna, las cuales pueden practicarse en circunstancias mas ó menos favorables; pero que ni es posible que sean tan frecuentes como las observaciones de latitud, ni mucho menos que sean capaces, en general, de proporcionar la misma exactitud que estas. Por esta razon tomé tanto empeño en medir mi diferencia de longitud respecto del campo frances por medio del telégrafo, y mas tarde respecto del campo anglo-americano por el mismo método, teniendo la esperanza de que despues pudiesen quedar enlazados telegráficamente todos nuestros observatorios con el de Greenwich, segun lo he dicho en otra parte.

Realizado este trabajo, no quise, sin embargo, omitir la ejecucion de cuantas observaciones lunares fuese posible hacer, tanto en mi campo como en el de el Sr. Jimenez, aplicando los mejores procedimientos para la determinacion de las longitudes absolutas, los cuales puede decirse que son: 1º El de ocultaciones de estrellas por la luna. 2º El de culminaciones comparadas de la luna y varias estrellas. 3º El de distancias zenitales de la luna, ya sean solas ó ya comparadas con las de algunas estrellas propias para el objeto.

Respecto del primer método, estuvimos especialmente desgraciados, pues todas las ocultaciones cuyos cálculos de prediccion se hicieron á bordo durante la travesía del Pacífico, y cuantas calculé yo mas tarde en Yokohama se perdieron, unas por haberse verificado antes de la instalacion de nuestras estaciones, y otras por el mal estado del cielo. Solamente una logré observar entre nubes; pero de una manera tan incierta, que no me ha parecido conveniente combinar su resultado con el de los demas métodos, pues por la causa indicada, no pude ver la inmersion de la estrella, y la emersion que observé, dudo si fué realmente la reaparicion de la estrella en el borde de la luna, ó bien si solo quedó descubierta por la

ruptura instantánea de la nube que velaba casi del todo la luz de aquel satélite.

A consecuencia de la pérdida de todas las ocultaciones preparadas, resulta que las longitudes absolutas de nuestros campos dependen de la aplicacion de los métodos segundo y tercero que he mencionado. El Sr. Jimenez logró observar 16 culminaciones de la luna con sus estrellas correspondientes, y 13 séries de distancias zenitales del mismo astro. Por mi parte conseguí la observacion de 14 culminaciones y 10 séries de distancias zenitales. Los resultados de todos estos trabajos concuerdan entre sí tan bien, como es posible esperarlo en operaciones tan difíciles como son las referentes á la determinacion de la longitud geográfica por medio de observaciones de la luna; y en cuanto á los cálculos, se han ejecutado tomando en cuenta las correcciones de las tablas astronómicas determinadas por los trabajos del Observatorio de Greenwich, las cuales me fueron remitidas á Paris por la bondad del Astrónomo Real de Inglaterra Mr. G. B. Airy.

XIII

¿Dará el tránsito de Vénus la paralaje del sol con toda la exactitud que se esperaba? Convites de felicitacion. Desarrollo del espíritu progresista entre los japoneses. Reforma gradual de las antiguas costumbres populares.

Mientras no se conozca el resultado definitivo que se obtenga por la combinacion y la discusion de todas las observaciones del tránsito de Vénus, nada podrá fundadamente anticiparse respecto del grado de exactitud con que hayan suministrado estos trabajos la paralaje del sol; y despues de haber tenido el honor de tomar parte en la gran operacion astronómica, acaso no nos quede que hacer en este particular otra cosa más que presentar al público nuestros datos para que con todos los demas sean sometidos á aquella combinacion por las personas competentes que la tomen á su cargo. A pesar de esto, no creo enteramente fuera de propósi-

to el consignar aquí mis apreciaciones personales acerca del resultado probable de una operacion tan delicada y tan extremadamente difícil, tomando por punto de partida la comparacion de lo que la teoría exige de ella para poder llegar á determinado grado de precision en la medida de la paralaje solar, y lo que realmente puede dar en la práctica, atendida la impresion que me dejaron sus graves dificultades.

Desde que Halley dió á conocer su ingenioso descubrimiento, indicó tambien su opinion, en la que lo siguieron algunos otros astrónomos, de que los contactos interiores podrian observarse con error de uno á dos segundos de tiempo cuando mas. Semejante apreciacion descansaba, á la verdad, en consideraciones puramente teóricas, pues en aquella época no se habia hecho todavía observacion alguna precisa de los tránsitos de Vénus, con la mira de obtener la paralaje del sol; y así vemos que Lalande, suponiendo que los contactos debian verse con una exactitud enteramente geométrica y libres por tanto de toda causa perturbatriz, creía que serian observables con mucha precision, estimando que esta podria llegar hasta *la quinta parte* de un segundo. Es cierto que para sacar tal consecuencia, parece admitir que el *hilo* luminoso comprendido entre los bordes de Vénus y del sol, tenia que interrumpiese súbitamente en el instante del contacto y que seria perceptible aunque su anchura no fuese mas que de *un décimo de segundo*.

Sin embargo, luego que se verificaron los dos tránsitos del siglo pasado, vieron los astrónomos que los observaron, cuán exageradas habian sido las apreciaciones hechas *á priori* respecto de la posibilidad de estimar los instantes de los verdaderos contactos geométricos, dándose casos de diferir entre sí las horas de dos observadores establecidos en la misma estacion, hasta de 20 á 30 segundos para un mismo contacto. Estos hechos, que son una prueba patente de la gran diferencia que siempre existe entre «la simple concepcion geométrica de un fenómeno y su realizacion física,» segun ha dicho recientemente Mr. Faye refiriéndose á la incertidumbre real que puede producir el método de Halley, dieron por resultado divergencias en el valor de la paralaje, que varían desde 8.''5 hasta 8.''8 combinando los mejores conjuntos de observaciones, pero que tienen límites mucho mas amplios todavía cuando se combinan observaciones aisladas.

Muy distantes quedaron, pues, los observadores de 1761 y 1769 de

la precision ideal que se habian imaginado, y segun la cual esperaban obtener la paralaje exacta hasta los centésimos de segundos. Sin embargo, la experiencia adquirida en el primero de aquellos tránsitos, y el conocimiento de las principales causas que, como el *ligamento negro*, se oponen á la facilidad y exactitud de las observaciones, produjeron en el de 1769 resultados ménos discordes que en el tránsito anterior, á lo que por otra parte, también contribuyó una eleccion más acertada de las estaciones.

Las mismas causas generales pueden acaso originar un nuevo progreso en el resultado del tránsito de 1874, pues con mucha anticipacion se hizo el estudio de las estaciones más convenientes para la aplicacion de los métodos de Halley y de De l'Isle, entre las cuales diremos de paso que Yokohama es una de las que son propias para ambos procedimientos, y tambien se han variado los medios de observacion y multiplicádose los observadores. Pero á pesar de todo esto, dudamos mucho que los trabajos de 1874 sean capaces de suministrar correcta la segunda decimal del valor de la paralaje solar. Indiquemos brevemente los fundamentos de nuestra creencia, comparando, como dijimos, lo que para eso pide la teoría y lo que en nuestra opinion puede dar la práctica.

Si se examina la expresion que sirve para calcular la paralaje, segun el método de Halley, y que tiene por principal dato la diferencia de duraciones del tránsito, observadas en dos lugares distantes, se halla fácilmente que la relacion existente entre el error de aquel dato y el producido por él en la paralaje, es igual á la relacion que existe entre la diferencia de duracion y la paralaje misma. Conforme á este principio, que sirve de base para la mejor eleccion de las estaciones, el tránsito de 1874 es favorable como capaz de elevar la diferencia de duracion hasta de 20 á 30 minutos.

Adoptemos, pues, 25 minutos ó sea 1500 segundos como representante, en término medio, de la diferencia observada en dos estaciones entre sus respectivas horas del principio y del fin del tránsito, y para mayor sencillez supongamos de 9'' la paralaje solar. De estos elementos se deduce que aquella relacion de errores quedará representada por el número 167, y que en consecuencia para que el error de la paralaje no exceda de 0.''01, es preciso que no llegue á 1:67 el de la diferencia de duraciones.

Veamos ahora si tal grado de precision es fácilmente realizable en la

práctica de las observaciones. Las del Sr. Jimenez y las mías manifiestan, por la comparacion de los contactos exteriores con los interiores, tanto al principio como al fin del fenómeno, que el planeta Vénus cuyo diámetro aparente era próximamente de 60," empleó por lo ménos 26 minutos de tiempo en pasar por cada borde del sol. Este movimiento, apénas sensible, corresponde á una velocidad inferior á cuatro centésimos de segundo de arco en cada segundo de tiempo; de manera que aun suponiendo posible con Lalande la percepcion de *un décimo de segundo* en la anchura del hilo luminoso producido por la distancia del planeta al borde del sol, siempre resultaria que el tiempo invertido por él en recorrer este pequeñísimo espacio seria de más de dos segundos y medio, cantidad que mediria en tal caso el error posible de la observacion de cada contacto, y muy superior por lo mismo á la que seria necesaria para obtener el error de solo 1^o67 en la diferencia de duraciones, á menos de una compensacion enteramente fortuita de los errores reales de observacion.

Pero, además, el límite de percepcion admitido por Lalande está, en mi opinion, muy léjos de la realidad en las observaciones solares, y especialmente en las que se refieren á los tránsitos de Vénus, practicadas por lo general con telescopios portátiles y que por tanto no pueden llamarse de grandes dimensiones. (*) Con ellos es, sin duda, posible la apreciacion segura de un segundo de arco ó espacio; pero tal vez no siempre en el caso de observaciones del sol cuyos bordes presentan por lo comun una ondulacion más ó ménos marcada que dificulta mucho la clara percepcion de espacios muy pequeños. Si á esto se agrega el efecto que producen en la vista la intensidad de la luz, la elevacion de la temperatura, y en la exacta estimacion de los contactos geométricos la presencia del ligamento, creo indudable la imposibilidad de discernir con certeza la tangencia del disco de Vénus con el solar, cuando la distancia de ambos sea inferior á un segundo de arco.

Admitiendo, sin embargo, que la verdadera incertidumbre se reduje-

(*) Segun las experiencias del capitan Smyth, citadas por el profesor Loomis en su *Practical Astronomy*, y ejecutadas con un telescopio de 2^m.59 de distancia focal y 0^m.15 de diámetro en el objetivo, necesitaba aquel observador dejar libre toda la abertura del instrumento y emplear aumentos de 240 á 300 para poder examinar satisfactoriamente, *en circunstancias favorables*, algunas estrellas dobles, cuyas componentes distaban entre sí desde 0^m.7 hasta 1^m.4 y en término médio cosa de 1^m.

se únicamente al espacio de medio segundo, todavía hallariamos que la correspondiente en la apreciacion de la hora de un contacto, seria de unos trece segundos de tiempo, dada la pequeñísima velocidad angular del planeta sobre el limbo solar, y este número de segundos representaria entónces el error posible de observacion en cada contacto.

La comparacion de mis observaciones con las del Sr. Jimenez no discrepa mucho de las consecuencias á que me han conducido las consideraciones precedentes, y nuestras discordancias, á pesar de la dilatada práctica que ambos tenemos en las operaciones astronómicas, podrian acaso servir de norma para prever las discordancias semejantes que acaso se hallen entre las observaciones de otros astrónomos igualmente experimentados, ó al ménos darán una idea de la incertidumbre que pueda existir en sus apreciaciones de cada faz del fenómeno. Nuestros respectivos campos distaban entre sí unos 5^s en longitud, y como la percepcion de cada contacto debió verificarse sensiblemente en el mismo instante físico para el Sr. Jimenez y para mí, resulta que si ambas observaciones estuvieran completamente exentas de error, todas las horas del Sr. Jimenez deberian diferir 5^s exactamente de las mías. Pero á causa de la existencia inevitable del error, si tomando en cuenta aquella pequeña diferencia de longitud se reducen á la estacion de Nogue-no-yama las horas observadas en el Bluff ó viceversa, se halla una série de diferencias cuyos valores varian desde 13^s por exceso hasta 20^s por defecto, y cuyo término medio es de 6^s.5 atendiendo á sus diferentes signos, ó bien de unos 11^s si se prescinde de los signos para atender solamente á los valores numéricos. Esta última cantidad podria adoptarse como medida del valor numérico de nuestra incertidumbre media al observar las diversas faces del fenómeno, y se ve que no dista mucho de los 13^s en que ántes la habia estimado en general.

Podria creerse que los errores de esta clase deberian compensarse en todo ó en parte, por el hecho de que tanto en el método de De l'Isle como en el de Halley, entran como elementos del cálculo las *diferencias* de las horas observadas; pero tal compensacion no puede admitirse como regla general, en atencion á que aquellos errores ó incertidumbres dependen, no solamente de las dificultades generales de que hemos hablado, sino tambien del modo especial que tiene cada observador para apreciar un mismo fenómeno, y que es el que da lugar al error que en la astronomía