


XI

Exposicion popular del objeto y utilidad que tienen las observaciones de los tránsitos del planeta Vénus por el disco del sol. Plan de operaciones adoptado por la Comision mexicana.

as bien que fatigar la atencion de mis lectores con la narracion detallada de todos los trabajos preparatorios que comen- zaron á ejecutarse en las dos estaciones mexicanas tan pronto como se instaló en ellas el personal de la Comision, me parece que puede serles mas agradable é instructiva una breve exposicion del uso á que, desde hace poco mas de un siglo, se han aplicado las observaciones de los tránsitos de Vénus. Tal exposicion no solo servirá para explicar y justificar el grande empeño que todo el mundo científico ha tomado en lograr la observacion de aquellos interesantes fenóme- nos, sino que al mismo tiempo presenta á los ojos del filósofo uno de los ejemplos mas notables que puede ofrecer la ciencia respecto de los procedimientos in- directos de investigacion á que recurre desde el momento en que llega á un alto grado de perfeccion.

La astronomía es la única de las ciencias que ha conseguido ya el objeto final de todas ellas, el de la exacta prediccion de los fenómenos que le son relativos.

Es también la más antigua, y en su historia se ven por consiguiente perfectamente marcados los diversos géneros de esfuerzos que ha hecho la inteligencia humana para elevarse, desde el conocimiento de los fenómenos más simples que ofrece el cielo á su contemplación, hasta la adquisición de todas las leyes á que están y estarán sujetos los movimientos de los cuerpos celestes, y que le permiten vaticinar, con cuanta anticipación quiera, las posiciones relativas que estos han de ocupar en determinado instante futuro.

En efecto, durante el estado rudimentario de la ciencia, los medios de investigación consistieron únicamente en la representación material de los más simples fenómenos astronómicos, inventándose máquinas como la esfera armilar ú otros aparatos análogos, destinados á imitar de una manera más ó menos imperfecta las apariencias del cielo y á resolver los problemas más elementales y accesibles con los primeros conocimientos adquiridos. Entonces las medidas también materiales, y siempre directas, debieron ser los únicos procedimientos aplicables á la determinación de los elementos, ya fuesen angulares ya lineales, cuyo conocimiento necesitaban los astrónomos.

La ruda aproximación obtenida de esta manera dejó en breve de ser suficiente para las crecientes necesidades del saber, y de todo punto ineficaces semejantes métodos para suministrar los valores de ciertos elementos cuya pequeñez ó cuya considerable magnitud no se prestaba á una representación material por aquellos medios mecánicos. En esta segunda faz de la ciencia y aprovechando los conocimientos ya adquiridos en la geometría, recurrieron los astrónomos al uso de figuras ó construcciones gráficas, en las cuales mediante determinadas convenciones geométricas, representaban en un solo plano las proyecciones de la esfera celeste, las posiciones relativas de los astros, y de una manera

menos imperfecta y mas indirecta que por medio de las máquinas, pudieron intentar la resolucion de algunos problemas que eran del todo inaccesibles con los métodos primitivos de investigacion. A esta época puede decirse que pertenece la primera tentativa verdaderamente científica para determinar la distancia del sol á la tierra segun el procedimiento trazado por Aristarco, y que consiste en medir el ángulo formado por el sol y la luna en el instante preciso en que este satélite se halla en su cuarto creciente ó en su cuarto menguante. El conocimiento de este ángulo permite, en efecto, construir el triángulo rectángulo cuyos vértices son el sol, la luna y la tierra, y hallar en consecuencia la distancia que se desea, ó bien su relacion con la de la tierra á la luna. Si este método no proporcionó en la práctica la exactitud que corresponde á su rigor teórico, fué á causa de la imperfeccion de los instrumentos angulares, de la dificultad de medir el ángulo en el mismo instante de la cuadratura y, sobre todo, de la considerable pequeñez de uno de los lados del triángulo respecto de los otros dos, desigualdad que multiplica de una manera muy desfavorable los efectos del mas pequeño error de observacion ó de construccion; pero no por eso podrá desconocerse que su autor estableció con él la base de los futuros procedimientos, desde el momento en que prescindiendo de una medida directa, evidentemente imposible, redujo el problema al mas indirecto y practicable de observaciones angulares.

Los defectos inherentes á las construcciones gráficas, aunque mucho menores que los de los medios mecánicos, se hacen sentir tan pronto como se trata de resolver por medio de figuras geométricas cualquiera problema que demande cierto grado de precision; y por eso en la edad madura de la ciencia se prescinde por completo de toda construccion material para no servirse mas que del cálculo, cuya alta perfeccion actual lo con-

vierte en un instrumento de investigación tan poderoso como es abstracto. Los progresos de la geometría, por otra parte, dando á conocer nuevas relaciones geométricas antes ignoradas, suministran tambien los medios de reducir la resolución de casi todos los problemas á la de otros mas y mas indirectos y cuyos datos sean de mas fácil adquisición. Así por ejemplo, el de la determinación de la distancia de la tierra al sol, quiere decir, de la unidad de medida para nuestro sistema planetario, vemos que gracias al conocimiento de las leyes de Kepler y á una idea feliz del astrónomo Halley, ha quedado hoy convertido en el muy indirecto de hallar el trayecto que en su movimiento sigue un planeta inferior sobre el limbo aparente del sol, problema que á su vez no exige mas datos tomados de la observación directa, que los instantes á los cuales parecen tocarse los bordes de ambos astros.

Las máquinas; las figuras, el cálculo, representan, pues, los tres diversos arbitrios á que han ocurrido los astrónomos, y que respectivamente pueden servir para caracterizar la infancia, la adolescencia y la virilidad del espíritu humano en sus estudios del cielo. Crecientes en abstracción y generalidad, lo son tambien en recursos para eludir las insuperables dificultades que en la mayor parte de los casos se opondrían á toda determinación directa; y así es que en la última de aquellas edades es en la que mas abundan los procedimientos indirectos ó eminentemente científicos de investigación.

Con el fin de llenar el programa que me propuse en la redacción de este capítulo, inserto en seguida una memoria referente á los tránsitos de Vénus que leí en el seno de la Sociedad Humboldt el 11 de Abril de 1874, y en la cual me atrevo á esperar que hallarán mis lectores una explicación sencilla del modo con que hoy se aplican las observaciones de esos tránsitos á la medida de la

distancia comprendida entre el sol y la tierra. La memoria dice así:

« El vivísimo interés que hace mas de medio siglo, pero especialmente de diez ó doce años á esta parte, se ha despertado entre los astrónomos, y en general entre todos los hombres científicos, con motivo del tránsito del planeta Vénus por el disco del sol que se verificará el 8 de Diciembre de este año, me da derecho á esperar que la Sociedad cuya presidencia tengo la honra de desempeñar en la actualidad, escuchará con agrado y con su acostumbrada indulgencia una breve exposicion de las principales circunstancias de aquel fenómeno, y de la importancia de su observacion, considerada por algunos como el mejor de los medios conocidos hasta hoy para asignar las verdaderas dimensiones de nuestro sistema planetario.

« Si preguntais á un astrónomo de profesion qué utilidad tiene la observacion de los tránsitos de Vénus por el disco del sol, os responderá: inmediatamente que la determinacion ó la medida de la *paralaje* solar; pero esta respuesta, si bien del todo exacta, no es sin embargo suficientemente comprensible para la generalidad de las personas que, aunque instruidas en los principios fundamentales de la astronomía, no hayan tenido ocasion de hacer un estudio algo mas detenido de esta ciencia. Como indudablemente entre las personas que me escuchan ó entre las que acaso lean esta memoria, ha de haber algunas que se encuentren en aquellas circunstancias, séame permitido el entrar en algunos detalles dirigidos á explicar lo que se entiende por *paralaje*, y la importancia de este elemento para la medida de las distancias de nuestro planeta á los demas cuerpos celestes.

« Para determinar sobre la tierra la magnitud de una distancia inaccesible, se recurre á un sencillo procedimiento geométrico que paso á exponer, aplicán-

dolo para mayor claridad á un ejemplo. Supongamos que se tratase de medir la plaza mayor de México, considerando como inaccesible la distancia comprendida entre el asta-bandera del Palacio Nacional y el portal de los Mercaderes. Con el objeto de conseguir su determinacion exacta, mediriamos en la banqueta del portal otra distancia cualquiera, y en los extremos de esta observariamos los ángulos que forma su direccion con las de las visuales que van á terminar al asta-bandera. En seguida con estos elementos, á saber, la línea ó base medida y los ángulos que tienen sus dos extremidades por vértices, nos sería fácil construir un triángulo de una figura exactamente igual al formado por la base y por ambas visuales; y podriamos medir despues la longitud de estas con una escala cualquiera, y obtener así la relacion que guardan con la base. Como, por otra parte, nos es conocida la extension de esta línea, deduciriamos por una simple proporcion la correspondiente á cualquiera de las dos visuales. El mismo procedimiento adoptariamos para hallar el tamaño de la perpendicular bajada del asta-bandera á la base, y que representa la distancia que deseábamos determinar.

« La construccion material del triángulo tal como la he explicado, se sustituye generalmente en la práctica con una operacion de cálculo aplicando las reglas de la trigonometría, y de esa manera se eliminan los errores que son inevitables en toda operacion gráfica; pero tanto en un método como en el otro, el resultado final se obtiene con los mismos datos, que son la distancia medida y los ángulos observados.

« Veamos ahora qué influencia puede ejercer en la exactitud de la resolucion del problema la forma del triángulo que hemos supuesto, ó la longitud relativa de sus lados, admitiendo que puedan cometerse pequeños errores al medir los ángulos en los extremos de la base.

« Construyendo en esos puntos los ángulos erróneos, es claro que las dos visuales, ó sea los otros dos lados

del triángulo, en lugar de irse á cortar en el punto en que debería quedar colocada el asta-bandera, se cortarían á mayor distancia, si ambos errores angulares fuesen por exceso; á menor distancia si ambos fuesen por defecto; y finalmente á la derecha ó á la izquierda de aquel punto si uno de los errores fuese por exceso y el otro por defecto. Sin embargo, la desviación del punto erróneo respecto del verdadero, y en consecuencia el error que resultaría en la distancia que deseábamos determinar, sería mas ó menos considerable segun que esta distancia fuese mas ó menos grande respecto de la base, aun dando por concedido que en todos casos tuviesen el mismo valor numérico los errores angulares.

« En efecto, si la base tuviese una extensión próximamente igual ó poco menor que los otros dos lados, las visuales no se cortarían bajo un ángulo muy agudo, y su punto de intersección no se alejaría mucho del verdadero, siendo por supuesto muy pequeños los errores angulares; pero si la línea medida fuese sumamente pequeña con relación á los otros lados del triángulo, las dos visuales serían muy oblicuas la una respecto de la otra, y por ligero que se supusiese el error angular, irían á cortarse á una distancia muy considerable del punto verdadero.

« La gran oblicuidad de una visual respecto de la otra, ó sea la pequeñez del ángulo opuesto á la base, es, pues, la consecuencia necesaria de una notable diferencia de longitud entre la línea conocida y la distancia del objeto que se desee determinar con su ayuda; y como tal circunstancia puede originar un fuerte error en el resultado, se evita siempre en las operaciones terrestres procurando que las bases no sean muy desproporcionadas respecto de las distancias incógnitas.

« En las medidas celestes no somos dueños de hacer lo mismo, pues sujetos á operar dentro de los estrechos límites de nuestro planeta, cuyas dimensiones

son casi nulas con relacion á las distancias interplanetarias, jamás podremos disponer de bases comparables á la magnitud de los espacios celestes, para aplicar con buen éxito y con toda su sencillez el procedimiento geométrico que he procurado explicar. Unicamente se ha hecho uso de él para medir la distancia de la luna, que es él astro mas próximo á la tierra; y aun respecto de nuestro satélite, apenas llega á *dos grados* el ángulo de las visuales que pueden dirigírsele desde los extremos de un diámetro de nuestro globo, quiere decir, de la mayor distancia rectilínea de que podemos disponer sobre la tierra.

« Establecidos estos principios, vamos á ver lo que significa la palabra *paralaje* en su mas ámplia acepcion. Si suponemos que desde dos puntos de la tierra cuya distancia podemos determinar, y que por tanto consideraremos como una base medida, se dirigen simultáneamente visuales á un mismo astro, estas dos líneas se cortarán en el astro bajo un ángulo mas ó menos agudo. Este ángulo es lo que se llama la *paralaje*, y así diremos que la paralaje de un astro es el ángulo bajo el cual se veria desde el mismo astro cierta distancia medida en la tierra. En el ejemplo á que antes nos referimos para estimar una línea inaccesible, la paralaje está representada por el ángulo que forman en el astabandera las dos visuales que le supusimos dirigidas desde los extremos de la base; y hagamos observar de paso que si en el triángulo formado por estas tres líneas tuviesen exactamente la misma longitud las dos visuales, el conocimiento de la paralaje y el de la base serian suficientes para la resolucion del problema, puesto que los otros dos ángulos serian tambien iguales entre sí y su suma suplementaria del valor de aquella paralaje.

« Aunque la precedente definicion es enteramente general, en la astronomía se usa la palabra *paralaje* en una acepcion mas determinada. Se supone al efecto que la distancia terrestre desde cuyos extremos parten las

dos visuales dirigidas á un astro, sea precisamente igual al radio de la tierra, de suerte que una de las visuales parta del centro de nuestro globo y la otra sea tangente á su superficie. De este modo se considera formado un triángulo rectángulo cuya hipotenusa, ó sea el lado mayor que es el opuesto al ángulo recto, no es otra cosa mas que la distancia del astro al centro de la tierra. Segun esto, la paralaje de un astro se define astronómicamente diciendo que es el ángulo bajo el cual se veria desde el mismo astro el radio de la tierra.

« Fácilmente se reconoce la utilidad de esta convencion astronómica, recordando que como en un triángulo rectángulo tiene el valor constante de 90° el ángulo opuesto á la hipotenusa, basta el conocimiento de otro de los ángulos y el de un lado para determinar todos los demas elementos. Así, pues, conocida la extension del radio terrestre y determinada la paralaje, se hallará sin dificultad la hipotenusa del triángulo que, segun dijimos, es la distancia del astro de que se trate al centro de la tierra.

« Está bien, me direis, comprendemos perfectamente que conocido como es el valor del radio terrestre y una vez determinada la paralaje de un astro, pueda calcularse con toda precision su distancia á la tierra; pero ¿cómo medir alguno de los ángulos agudos del triángulo rectángulo, si uno de ellos tiene por vértice el centro del globo terrestre y el otro el centro del astro, quiere decir, dos puntos enteramente inaccesibles al astrónomo y en los que por tanto no es posible la observacion directa? A esto responderé que, en efecto, es impracticable la medida directa de estos ángulos; pero tambien es cierto que la paralaje, en su acepcion astronómica, puede hallarse indirectamente partiendo de las medidas angulares practicadas desde la superficie de la tierra; y todavía con mejor éxito y de una manera mas indirecta, apreciando los fenómenos causados por la paralaje misma.

« La determinacion de este elemento por medio de medidas angulares, nos vuelve á conducir á la operacion geométrica que tiene por objeto la apreciacion de una distancia inaccesible conociendo una base y los dos ángulos que se apoyan en ella, con la diferencia de que en esta ocasion no se tiene por mira inmediata la determinacion de aquella distancia, sino la del ángulo opuesto á la base, ángulo cuyo vértice está en el astro y cuyo valor se deduce inmediatamente de los dos observados en la tierra, puesto que aquel es necesariamente suplementario de la suma de estos. Mediante esta operacion conoceriamos, pues, la paralaje del astro con relacion á la base terrestre; y como los ángulos muy pequeños son proporcionales á las líneas interceptadas por sus lados, estableceriamos en seguida una proporcion entre la distancia que separa las dos estaciones ú observatorios terrestres, la paralaje que le corresponde, el radio de la tierra y la paralaje en su acepcion astronómica, que quedaria así determinada.

« Este método, sin embargo, solo es prácticamente útil respecto de los cuerpos celestes cuyas distancias á la tierra son comparativamente pequeñas, y se ha aplicado con buen éxito á la medida de la paralaje lunar, segun dije antes, y á las de algunos planetas; pero tratándose del sol pierde del todo su importancia práctica. La razon de esto consiste en que deduciendo la paralaje de las observaciones angulares ejecutadas en dos estaciones terrestres, cualquiera error cometido en las medidas entra con todo su valor en aquel elemento. Supongamos para mayor claridad que se tuviese la certidumbre de que el error angular fuera solo de un segundo de arco en cada estacion: entonces el resultante en el valor de la paralaje podria ser de dos segundos, puesto que los tres ángulos deben llenar la condicion de dar 180° por suma. Ahora bien, un error de $2''$ no seria ciertamente muy grande respecto

de un ángulo considerable; pero representaría una notable fracción suya si el ángulo fuese muy pequeño. La paralaje del sol, por ejemplo, tiene un valor que no llega probablemente á 9", y por tanto en el caso de este astro, el error supuesto representaría casi la cuarta parte de la magnitud de la paralaje, y originaria en la distancia del sol á la tierra una incertidumbre de cerca de nueve millones de leguas.

« Este inconveniente, inevitable hasta hoy por la multitud de causas naturales que dificultan la exacta apreciación de los ángulos celestes, lejos de presentarse como un obstáculo insuperable para la determinación del elemento del cual depende la unidad de medida del universo, solo sirvió para excitar el ingenio del hombre, cuyo atrevido espíritu de investigación halló muy pronto el modo de eludir la dificultad. Obstáculos naturales intentaron paralizar el vuelo audaz de su inteligencia; pues bien, su inteligencia supo arrancar á la misma naturaleza nuevas fuerzas para combatirlos y vencerlos.

« El astrónomo inglés Halley fué el primero en llamar la atención de los sábios en 1677 sobre la importancia de los tránsitos de los planetas inferiores Mercurio y Vénus por el disco solar, como medio indirecto de medir la distancia del sol á la tierra, apreciando directamente los efectos que produce la paralaje. Este método eminentemente científico se puso en práctica, de acuerdo con el plan de aquel hombre ilustre, 84 años después de iniciado, esto es, en los tránsitos de Vénus que tuvieron lugar en el siglo pasado, el uno en 1761 y el otro en 1769. Los resultados de las observaciones, especialmente los del tránsito de 1769, han suministrado ya un valor bastante aproximado de la paralaje del sol, que se fijó en 8".6 con poca diferencia, y que coloca á este astro á una distancia de la tierra próximamente igual á treinta y seis millones y medio de leguas mexicanas.

« El valor de $8''.6$ ó mas exactamente $8''.58$ fué determinado por Encke discutiendo las observaciones del tránsito de Vénus practicadas en 1769. Pawalky por medio de una discusion semejante halló $8''.86$ y diversos observadores por distintos métodos, considerados en general como menos dignos de confianza que el de los tránsitos de Vénus, han encontrado valores que varian desde $8''.86$ hasta $8''.96$. Se ve, pues, que á pesar de una concordancia sumamente notable tratándose de una cantidad tan pequeña, queda aun una incertidumbre de $0''.3$ á $0''.4$ respecto del verdadero valor de la paralaje solar, la cual produce en la distancia del sol á la tierra una duda que asciende á cosa de millon y medio de leguas.

« Las ligerísimas discordancias que ofrecen los resultados de las observaciones del siglo pasado se explican fácilmente por el simple hecho de que dependen de operaciones muy delicadas, que se ejecutaban por la primera vez, en lugares remotos del globo que en su mayor parte no presentaban todas las comodidades indispensables para trabajos tan difíciles, y acaso tambien y principalmente, por la influencia de los fenómenos de irradiacion, poco estudiados aun en aquella época.

« Desgraciadamente los tránsitos de Vénus se verifican con tan poca frecuencia, que no es dado á ningun hombre observar mas que uno ó á lo mas dos durante su vida. Desde 1769 no ha vuelto á tener lugar este fenómeno; pero podrá observarse el próximo dia 8 de Diciembre, y despues no volverá á presentarse sino trascurridos 8 años, esto es, el 6 de Diciembre de 1882. En seguida trascurrirán 121 años para que vuelva á verificarse.

« Basta la simple enunciacion de estos grandes períodos para que se comprenda el interés, casi debe decirse la ansiedad, con que se preparan los astrónomos de nuestra época á observar los dos únicos tránsitos que presenciara el siglo actual, y de los que se espera la

destruccion de la pequeña incertidumbre que existe aun en el valor de la paralaje solar y no hay duda en que está bien fundada esta esperanza, contando hoy la ciencia de los astros con dos eficaces y poderosos auxiliares como son la fotografia y la electricidad, ademas de la perfeccion de los instrumentos modernos y del adelanto que se ha hecho ya en el estudio de los fenómenos físicos que influyen mas ó menos en la exacta observacion de los tránsitos.

« Procuraré ahora, señores, daros una idea de la razon por la cual es tan rara la produccion de los tránsitos de Vénus, y en seguida intentaré tambien indicaros cuál es la influencia que ejerce en ellos la paralaje, influencia cuya medida ó apreciacion directa forma el objeto de la observacion, y sirve de dato para llegar al conocimiento de la causa que la produce.

« Vénus es uno de los dos planetas llamados *inferiores*, porque circulan al derredor del sol describiendo órbitas menores que la de nuestro globo terrestre. La de este último es en consecuencia exterior respecto de la órbita de Vénus, y por tanto desde la tierra pueden presenciarse las *coniunciones* de este planeta, quiere decir, los fenómenos que consisten en verlo en la misma direccion que al sol. La conjuncion es *superior* cuando Vénus se encuentra en la parte opuesta de su órbita respecto de nosotros, esto es, mas allá del sol; é *inferior* cuando se halla mas inmediata á la tierra, é interpuesta entre esta y el sol. Por consiguiente es claro que solo en las épocas de las conjunciones inferiores será cuando pueda verificarse un tránsito de Vénus, ó lo que es lo mismo, cuando desde la tierra pueda verse proyectado el planeta sobre el disco del sol.

« Podria creerse, segun esto, que en todas las conjunciones inferiores de Vénus deberia encontrarse este planeta en las condiciones necesarias para originar un tránsito; y como aquellas tienen lugar cada 584 dias,

esto es, cada año y poco mas de siete meses, se creeria que con la misma regularidad deberiamos verlo proyectado sobre el sol. Sin embargo, no sucede así á causa de la pequeña inclinacion de $3^{\circ} 23'$ que tiene su órbita respecto de la de la tierra.

« Para no verme obligado á recurrir á una figura geométrica, voy á permitirme echar mano de un ejemplo sencillo que espero será bastante claro para daros una idea de la influencia que ejercen las inclinaciones de las órbitas en la produccion de los tránsitos. Figuraos por un momento que la lámpara que me alumbra represente el sol, y que dos de vosotros circuleis á su derredor á distintas distancias y con diferentes velocidades, aunque en el mismo sentido. La cabeza de la persona A, que describa el mayor círculo, representará la tierra; y la cabeza de la persona B, mas inmediata á la lámpara, será la representante de Vénus. Si os imaginais, ademas, que las dos cabezas se hallen á la misma altura que la lámpara respecto del piso, y que sobre este se muevan ambas personas, no hay duda que cuantas veces en el curso de sus movimientos se encuentren B entre la luz y A, esta última verá la cabeza de B proyectada sobre la lámpara.

« Pero suponed ahora que A se mueva, como antes, en el piso de esta sala, al paso que B describa su curva en un plano ligeramente inclinado, y para mayor claridad admitid que este plano corte al del piso en la línea que me une con la lámpara, de tal manera que á mi derecha la órbita de B quede mas alta que el piso, y mas baja á mi izquierda.

« En tales condiciones, siempre que se verificase una conjuncion inferior de las dos cabezas delante ó detras del lugar que ocupo, quiere decir, en los *nodos* ó puntos de interseccion de las órbitas, habria un tránsito, puesto que entonces tanto A como B se encontrarian en el piso de la sala; pero si tenian lugar las conjunciones

á mi derecha, B se encontraria mas alta que A, y en consecuencia esta última veria á aquella mas arriba de la lámpara ó proyectada fuera de ella. Una cosa análoga se verificaria si las conjunciones tuviesen lugar á mi izquierda, con la diferencia de que hallándose entonces B mas baja que A, esta veria la cabeza de B proyectarse mas abajo de la luz.

« Es, pues, condicion indispensable que las conjunciones se verifiquen en las inmediaciones de los nodos para que pueda haber un tránsito; y por eso estos fenómenos solo acaecen respecto de Vénus en los meses de Junio y Diciembre, que son las épocas del año en que la tierra pasa por el plano de la órbita de aquel planeta

« Ahora bien, como las conjunciones inferiores de Vénus, se producen cada 584 días, resulta que cinco de estos periodos equivalen á 2920 días, los que divididos por 365 dan precisamente 8 años; luego despues de este tiempo se verificará una conjuncion de Vénus estando la tierra en el mismo punto que ocupaba 8 años antes.

« De estas consideraciones se infiere que despues de un tránsito de Vénus, podremos esperar otro al cabo de 8 años, y así sucederia en efecto, al menos durante mucho tiempo, si todos ellos acaeciesen precisamente en los nodos de las órbitas, en cuyo caso veriamos siempre al planeta pasar por el centro mismo del disco solar; pero cuando solo se verifican en las inmediaciones de aquellos puntos, y vemos en consecuencia á Vénus describir una cuerda mas ó menos distante del centro del sol, podria suceder que al cabo de los 8 años no fuese visible su tránsito desde la tierra, á causa de la separacion angular que en ese intervalo hubiese adquirido el planeta respecto del plano de la órbita terrestre.

« Esta distancia angular, llamada *latitud*, varia cosa de 20' en 8 años respecto de su valor al principio de este periodo, y se comprende, por tanto, que es posible en virtud del cambio de latitud de Vénus, que su distancia

angular á la eclíptica llegue á ser mayor que el diámetro aparente del sol, cuyo valor es solo de unos 32'. Entonces proyectándose el planeta fuera del limbo solar, haria invisible su tránsito desde la tierra.

« Las mismas reflexiones demuestran la imposibilidad de que se observen tres tránsitos en el intervalo de 16 años; porque el incremento de la latitud en ese tiempo excede con mucho del diámetro aparente del sol. Así, pues, aun verificándose dos tránsitos con intervalo de 8 años, debe trascurrir mas de un siglo para que el cambio de latitud de Vénus pueda producir nuevos tránsitos en las inmediaciones del otro nodo. Este nuevo período es de 113 mas ó menos 8 años, de manera que trascurrirán 105 ó 121 años para que vuelva á verificarse un nuevo tránsito observable.

« Comenzando por el de 1769 que fué el último observado, pongo á continuacion las fechas de algunos de los futuros tránsitos con las horas aproximativas de México correspondientes á los instantes de las conjunciones en longitud.

FECHAS	HORAS MEDIAS DE MEXICO
	h m
Junio 3 de 1769	3 22
Diciembre 8 de 1874.....	9 32
Diciembre 5 de 1882.....	21 40
Junio 7 de 2004.....	14 15
Junio 5 de 2012.....	6 42
Diciembre 10 de 2117.....	6 22
Diciembre 7 de 2125.....	20 33

« Estos cálculos indican que en dos siglos y medio contados desde esta fecha, solo serán visibles en esta ciudad el tránsito que tendrá lugar de aquí á 8 años y el de 2125, si bien podrán observarse los principios de los dos que preceden á este último. La fecha civil del de 1882 para la hora de la conjuncion en México es 6 de Diciembre de 1882 á las 9^h 40^m de la mañana.

« Réstame ahora exponeros cómo observando los efectos de las paralajes de Vénus y del sol, es posible determinar el valor de esta última. No siendo mi intento el de fatigar vuestra atención, de la que temo haber abusado ya, con el exámen de una figura geométrica, voy á recurrir á un ejemplo sencillo que exajerando el fenómeno lo haga mas perceptible.

« Suponed como antes, que el globo trasparente de esta lámpare represente el sol, y que la pequeña bala que tengo supendida entre vosotros y la lámpara haga las veces de Vénus. A la verdad las dimensiones desde estos cuerpos y su distancia no están en armonía con las de los astros cuyo papel están desempeñando. Para colocarlos en las condiciones de estos, y teniendo el globo de la lámpara cosa de 0^m.16 de diámetro, seria preciso que la bala solo tuviese el de poco mas de un milímetro y que se situase á unos 12 metros de la luz; pero repito que la deformacion de dimensiones no altera sustancialmente el hecho que deseo exponeros, y tiene la ventaja de hacerlo mas palpable.

« Colocándoos convenientemente, podreis ver todos vosotros proyectada la bala sobre esta esfera luminosa, como veriais á Vénus sobre el disco del sol; pero cada persona lo observará en un punto diferente por efecto de la paralaje, esto es, á causa del ángulo bajo el cual se vería desde la bala la distancia que media de un observador á otro. No es necesario en verdad, para apreciar este efecto, recurrir á dos observadores ó que uno solo varíe de posicion: si os tomais la molestia de notar el lugar aparente de la bala mirándola primero con solo el ojo derecho, y en seguida solo con el izquierdo y sin mover la cabeza, observareis tambien el cambio de posicion aparente que tiene la bala sobre el velador. La distancia de una á otra de vuestras pupilas podrá, pues, representar la que separa dos estaciones terrestres desde las cuales se observe el tránsito de Vénus.*

* La desviacion aparente causada por la paralaje puede observarse con cualquiera objeto, por ejemplo, con un lápiz que se tenga verticalmente en la

« Debo advertiros, antes de proseguir, que, un cambio semejante observareis en la lámpara misma, y que la vereis proyectada sobre diferentes lugares de los objetos que haya á mi espalda; pero como respecto de estos mismos objetos variará tambien la bala de posicion aparente, y de una manera mas notable por estar mas cerca de vosotros, es claro que podreis prescindir de la paralaje de la esfera luminosa, fijándoos solamente en la de la bala respecto de ella, ó lo que es lo mismo, en el efecto relativo de las dos paralajes, que será la diferencia de sus valores absolutos.

« Si ahora hiciera yo subir ó bajar la bala, podriais observar sus tránsitos sobre el velador de la lámpara viéndola describir una cuerda en el disco de este, cuerda que podriais representaros por el hilo que sostiene á la bala misma; y si haceis la observacion sucesivamente con el ojo derecho y con el izquierdo, vereis que el hilo se proyecta en diferentes situaciones respecto del centro del velador, y que por tanto las dos cuerdas tendrán distintos tamaños. La distancia entre estas posiciones aparentes de las cuerdas, es pues, un efecto producido únicamente por la paralaje relativa; y en consecuencia si lográsemos medir la primera, vendriamos en conocimiento de la segunda.

« La medida de esa distancia es la que constituye el objeto inmediato de la observacion de los tránsitos, la cual consiste en lo siguiente: Dos ó mas astrónomos, colocados en lugares distantes entre sí sobre la tierra, observan los momentos en que Vénus está en contacto con los bordes del sol, tanto en su *ingreso* ó su entrada al disco, como en su *egreso* ó salida de él. El tiempo que para cada observador trascurre entre ambos instantes, sirve para hallar la longitud de la cuerda que parece describir el planeta sobre el limbo solar, así como la posicion que

mano manteniendo el brazo extendido é inmóvil. Si, sin mover la cabeza, se mira sucesivamente el lápiz con cada uno de los ojos, se notará que en cada observacion se ve proyectado sobre objetos distintos, lo mismo que en el ejemplo del texto se ve la bala ocupando diversas posiciones sobre el velador de la lámpara.

tiene respecto del centro de este astro. Todo esto puede hacerse por comparacion, pues el tiempo que emplearia Vénus en describir exactamente el diámetro solar se calcula fácilmente por el conocimiento que ya se tiene adquirido de la duracion de las revoluciones planetarias, y por consiguiente de la velocidad angular con que estos cuerpos describen una parte de sus órbitas, tal como seria la interceptada por el diámetro aparente del sol.

« Conociendo así el valor de dos cuerdas y sus posiciones respecto del centro del limbo solar, es ya muy fácil deducir la distancia angular de una cuerda á otra tal como podria medirse desde la tierra, si el planeta hubiera dejado señaladas sus huellas aparentes sobre el cuerpo del sol en las posiciones en que se observa desde dos estaciones terrestres.

« Esta distancia angular forma la base de un triángulo cuyo vértice opuesto está en Vénus, y cuyos lados prolongados van á terminar sobre la tierra en los dos lugares ocupados por los observadores. Todo esto se comprende fácilmente por medio del ejemplo material á que antes he recurrido. La distancia de vuestros ojos representa la que existe entre las dos estaciones, y cada una de vuestras visuales, cortándose en el centro de la bala, va á terminar en las dos posiciones aparentes del hilo que la sostiene.

« Vénus será, pues, el vértice comun de dos triángulos, uno de los cuales tiene su base en el sol, siendo la del otro la distancia de los dos observatorios terrestres. Estos triángulos son semejantes y sus dimensiones homólogas serán, por lo mismo, proporcionales. Por consiguiente, la relacion que exista entre las distancias de Vénus á la tierra y al sol, existirá tambien entre la distancia de las dos estaciones de la tierra y la que separa á las dos cuerdas en el disco solar, valorizada ahora en unidades lineales como antes lo fué en unidades angulares.

« La mencionada relacion es conocida; porque

una de las leyes de Kepler, la que establece la proporcionalidad entre los cubos de los ejes de las órbitas planetarias y los cuadrados de las duraciones de sus movimientos al derredor del sol, determina el valor relativo de las distancias que, en el instante de su conjunción, tiene Vénus respecto de la tierra y del sol. Tomando por unidad la distancia del sol á la tierra, las de Vénus estarán representados por los números 0.73 y 0.27 próximamente.

« Así, pues, la relacion $73/27 = 2.7$ será la existente entre la distancia lineal de los dos observatorios y la aparente de las cuerdas en el disco solar; y como la primera es fácilmente calculable por medio de las posiciones geográficas de ambas estaciones, se obtiene desde luego la segunda.

« De esta manera hemos adquirido el conocimiento de los dos elementos necesarios para la determinación de la paralaje solar, que son: el valor de una distancia lineal ó sea una parte del disco del sol, y su amplitud angular ó bien el ángulo bajo el cual la vemos desde la tierra. Entonces aplicando el principio de que, en igualdad de distancias, los ángulos muy pequeños son proporcionales á las líneas interceptadas por sus lados, nada será mas fácil que deducir el valor del ángulo bajo el cual veríamos desde la tierra una línea igual á su radio, pero situada en el sol, ó bien desde el sol la misma línea situada en la tierra, esto es, la paralaje del sol segun su acepción astronómica.

« Una vez obtenida la paralaje y puesto que nos es conocida la longitud del radio terrestre, el triángulo rectángulo de que hablamos al principio nos proporcionará la distancia del sol al centro de la tierra, objeto final del problema.

« Tal es en sustancia el ingenioso procedimiento inventado por Halley para medir el elemento angular sin el cual no podríamos calcular las dimensiones de los

espacios interplanetarios, y las magnitudes de los astros que componen nuestro sistema solar. He procurado exponeros este método con toda su sencillez elemental, y enteramente despojado de las dificultades de los cálculos numéricos, que por otra parte, es preciso afrontar para reducirlo á la práctica; pero debo tambien advertiros que al aplicarlo no es preciso seguir exactamente el camino geométrico que para mayor claridad he adoptado en su exposicion, sino que en el terreno analítico se adopta una senda algo distinta, si bien necesariamente equivalente. Así, por ejemplo, en lugar de deducir directamente de las observaciones el valor de la paralaje solar, se determina por lo general la paralaje relativa de los astros, cuya relacion conocida permite en seguida la determinacion de la del sol; y esta marcha tiene la ventaja importantísima de no demandar el conocimiento exacto de las longitudes geográficas de los observatorios terrestres.

« En 1753 el astrónomo De l' Isle propuso una modificación del método original de Halley, la cual es en alto grado interesante, y de la que os daré una ligera idea antes de terminar.

« El procedimiento de Halley exige que las observaciones del tránsito sean *completas*, esto es, que en cada estacion se obtengan tanto las horas del ingreso como las del egreso, puesto que las duraciones totales del tránsito del planeta constituyen los principales elementos de cálculo; y por lo mismo se comprende sin dificultad que si en alguna de ellas es invisible ó se pierde por accidente alguna de la faces, no puede utilizarse el resto de la observacion.

« La modificación De l' Isle tuvo por objeto capital el de hacer utilizables todas las observaciones, fuesen ó no completas, exigiendo solamente el conocimiento exacto de las longitudes geográficas de los respectivos observatorios. Su fundamento es este: Puesto que el

efecto de la paralaje, cuando se observa un astro desde la superficie de la tierra, es el de producir una desviacion aparente de este respecto de la posicion en que se le veria desde el centro del globo terrestre, es claro que el principio ó el fin de un tránsito debe, ya sea *acelerarse* ya sea *atrasarse*, con relacion á las horas en que lo veria un observador que se hallase situado en el centro de la tierra. Esta aceleracion ó este atraso, variables con la *posicion del observador*, pueden deducirse de los datos suministrados por cada observacion directa de cualquiera de las faces del fenómeno; y la comparacion de esos efectos tales como se obtienen en dos ó mas estaciones diferentes, permite calcular en seguida la paralaje relativa, que es la causa que los produce.

« Se comprenderá, segun esto, que para poder efectuar aquella comparacion, es preciso reducir al mismo meridiano principal las horas obtenidas por todos los observadores, lo cual supone necesariamente bien conocidas las longitudes de sus respectivas estaciones; y en cuanto á la combinacion de datos, la mas favorable es evidentemente aquella en que los efectos de la paralaje hayan sido contrarios y del mayor valor posible. Por idéntica razon, para aplicar con buen éxito el método de De l' Isle conviene elegir los observatorios de tal manera, que una misma faz produzca en uno de ellos una aceleracion máxima y en el otro un atraso tambien máximo.

« Esta es, en resúmen, la ampliacion que ha hecho De l' Isle, del procedimiento primitivo de Halley. Si he tenido la fortuna de daros una idea de ambos, y de interesar vuestra atencion relativamente á un fenómeno importante por la poca frecuencia con que se verifica y por la utilidad que ofrece para la resolucion de uno de los problemas mas difíciles de la astronomía, tendré la satisfaccion de continuar mis lecturas acerca de él en algunas de nuestras futuras sesiones. Entonces os hablaré

algo respecto de las expediciones astronómicas que se están preparando en diversas naciones para observar el paso de Vénus en Diciembre de este año; y me ocuparé especialmente en el tránsito de 1882, que presenta un interés particular para nosotros por ser favorablemente observable en una gran parte de nuestro país.»

Hasta aquí la memoria. Réstame ahora exponer siquiera brevemente el plan de operaciones que creí conveniente adoptar en las dos estaciones mexicanas para las observaciones del tránsito.

Estas consisten esencialmente, según hemos visto, en apuntar los instantes exactos en que los bordes del planeta están en contacto aparente con los del sol; y como este contacto ó tangencia es tanto exterior como interior al limbo solar en el principio y en el fin del fenómeno, resulta que en una observacion completa hay que consignar las horas de cuatro contactos, que por su orden son: primer contacto exterior, primer contacto interior, segundo contacto interior y segundo contacto exterior. Los dos primeros corresponden al ingreso ó principio del tránsito, y los dos últimos al egreso ó á su fin.

La simple consideracion de que la duracion total del paso de Vénus por el disco solar iba á ser de cerca de cinco horas en Yokohama, es suficiente para comprender la extremada lentitud del movimiento de este planeta sobre el limbo del sol, y en consecuencia la gran dificultad de apreciar el instante preciso de cada contacto. Esta dificultad crece mucho de punto si se tiene en cuenta que en toda clase de observaciones solares, especialmente cuando se ejecutan con telescopios de cierto poder, se fatiga tanto la vista á causa de la intensidad de la luz y del calor concentrados en el foco del objetivo, que puede decirse se entorpece en cierta manera su facultad perceptiva para estimar con exactitud pequeños espacios ó ténues movimientos. El brillo de la

luz se mitiga, en verdad, casi hasta donde se quiera, con el uso de helioscopios ó vidrios coloridos que se colocan delante del ocular del telescopio; pero á pesar de esto, la atencion concentrada sobre una imágen mas ó menos luminosa que contrasta siempre con la oscuridad del fondo, llega á producir en todos casos la insensibilidad parcial de que he hablado, sobre todo presentándose combinada con la accion del calor.

Tales inconvenientes, siempre graves en las observaciones solares, me alarmaban mucho mas en el caso del tránsito, en razon de que la lentitud del movimiento del planeta me obligaria á fijar la vista en la imágen del sol con bastante anticipacion respecto de la horas calculadas de los contactos, con el fin de no exponerme á perder los instantes precisos en que iban á tener su verificativo las tangencias aparentes de los bordes; y temia en consecuencia los efectos de la fatiga en la exacta apreciacion de aquellos instantes. Por este motivo me resolví á eliminar el uso directo de los telescopios, reemplazándolo con el procedimiento debido á Mr. Quetelet y que introduce hace algunos años en mi país, habiendo sido adoptado desde esa época por todos los astrónomos mexicanos.*

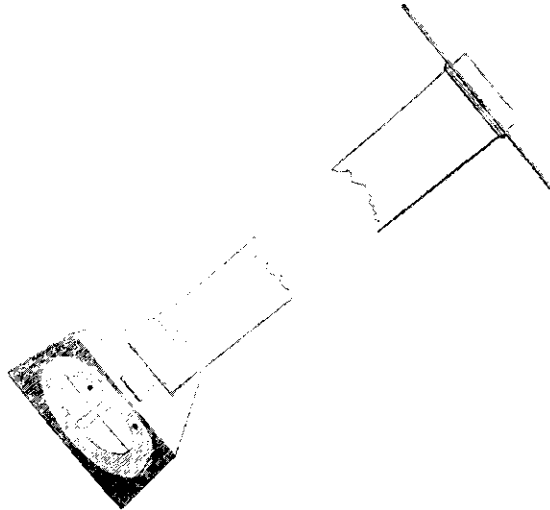
Consiste este procedimiento en servirse del ocular del telescopio como amplificador para procurarse una imágen real del sol en la parte exterior del tubo. Para conseguirlo basta extraer un poco el ocular hasta que comiencen á dejarse de ver con claridad, al través de sus lentes, los hilos de la retícula colocada en el foco del objetivo. Poniendo en seguida delante del ocular una hoja de papel ó de carton, se pintarán en ella las imágenes del sol y de los hilos micrométricos del telescopio.

El mecanismo que adopté para poner en práctica

* Véase mi *Tratado de Topografía, Geodesia y Astronomía*, tomo II pág. 336.

este método de observacion se comprenderá inmediatamente con el simple exámen de la figura adjunta, que representa las extremidades ocular y objetiva de los telescopios que empleamos el Sr. Jimenez y yo. Por medio de un anillo de laton se fijó á cosa de 0^m 30 del ocular de cada telescopio un bastidor metálico sobre el cual estaba extendida una hoja de carton de unos 0^m 25 de diámetro y cuyo plano era perpendicular al eje óptico del instrumento. Este carton, pintado de gris claro, tenia por objeto recibir las imágenes del sol, de Vénus y de los hilos del micrómetro, segun se ve en la figura.

La intensidad y la precision de las imágenes varia



Disposicion adoptada para obtener imagenes exteriores a los tubos de los telescopios.

con la cantidad que se hace salir el ocular, con el poder de este y con su distancia á la lámina en que deben aquellas pintarse, por lo cual es preciso arreglarlo todo de antemano hasta conseguir que la del sol se dibuje

con la intensidad y con la magnitud que se deseen para que, quedando terminada con la mayor precisión, no tenga sin embargo un brillo tal que lastime la vista. Los medios que he hallado mas eficaces para obtener la posición mas conveniente del ocular y de la hoja de carton, consisten en examinar en diversas situaciones la claridad, limpieza y finura con que se pintan los bordes y las manchas del sol, así como los hilos micrométricos del telescopio. Siempre la extracción del ocular es sumamente pequeña, no excediendo por lo general de una fracción de milímetro.

Estudiando con algunos días de anticipación todas estas circunstancias, conseguimos el Sr. Jimenez y yo obtener la imagen del sol de unos $0^m 12$ de diámetro, resultando muy bien terminada, y perfectamente finas y claras las de los hilos micrométricos de nuestros respectivos telescopios. Con esa dimensión del limbo solar, la imagen de Venus quedaria representada por un pequeño círculo negro de $0^m 004$ de diámetro próximamente.

Para evitar que los rayos directos del sol cayesen sobre la lámina de carton, colocamos otra hoja de la misma sustancia cerca del objetivo, haciéndole al efecto una abertura circular para adoptarla al tubo del instrumento. De esta manera la primera lámina solo recibia la imagen del sol formada por los rayos que pasaban al través del telescopio, sin quedar alterada su limpieza por la luz directa cuya intensidad, por otra parte, habria sido fatigosa para la vista á pesar del ligero color gris del círculo pintado en el carton y terminado por un borde negro.

Nunca he tenido mas que motivos para aplaudirme la adopción de este método que no solo permite una observación cómoda, precisa y sin fatiga de la vista, sino que á la vez es propio para que varias personas puedan observar al derredor de un mismo

telescopio y comparar, en consecuencia, los resultados de sus respectivas apreciaciones, ya sea que se trate de consignar las horas del paso del sol por los hilos en las operaciones comunes de la astronomía práctica, ya de la ejecución de medidas micrométricas, ya finalmente de la observación de las manchas de la atmósfera solar. Además de estas, tiene otra ventaja no menos importante, como es la de aumentar en cierta manera el poder de los telescopios permitiendo la producción de grandes imágenes, pues el diámetro que puede dárseles por este procedimiento no tiene más límites que el de la mayor ó menor intensidad y el de la precisión con que deseen obtenerse las imágenes mismas. Se comprende por tanto que el límite por la intensidad puede alejarse mucho sustrayendo la imagen de la acción de la luz difusa, y el de la precisión sirviéndose de oculares perfectamente contruidos.

Cuando partí de la ciudad de México para cumplir la Comisión con que me honró el Gobierno, lo hice con tal precipitación á causa del corto tiempo que tenía disponible para llegar al Asia, que casi ni pudo entrar en mi plan de operaciones la ejecución de trabajos fotográficos, si bien sabía que todas las Comisiones que iban á observar el tránsito de Vénus se preparaban á servirse de la fotografía para consignar por su medio una numerosa série de posiciones del planeta en el limbo solar. Sin embargo, en los momentos de partir me ocurrió la idea de intentar, á su debido tiempo, la ejecución de algunas fotografías aplicando el mismo procedimiento que adopté para la observación, y que *dejo explicado en las líneas anteriores*. Comunicué mi pensamiento al Sr. Barroso, quien reúne á sus amplios y variados conocimientos científicos una habilidad poco común en la práctica de la fotografía; y como le pareciera aquella idea digna de ponerse en ejecución, convenimos en improvisar un aparato á propósito para el objeto, si

es que nos veíamos obligados á detenernos algunos días en New York, San Francisco ó cualquiera otra ciudad de la Union Anglo-americana, porque ya en México era imposible poder hacerlo á causa de habernos ocupado en este asunto, segun recuerdo, la víspera de nuestra partida.

En los Estados Unidos tampoco hubo tiempo para mandar construir el proyectado aparato, pues en New York solo estuve un día, y únicamente algunas horas en otras ciudades principales en las que hubiera habido la posibilidad de arreglarlo; pero en San Francisco compramos una cámara oscura y los necesarios útiles fotográficos con el fin de adoptar la primera á un telescopio que llevábamos de refaccion, y tratar de aplicar el método, si no como medio de lograr datos exactos para la determinacion de la paralaje del sol, al menos como ensayo de un procedimiento que en mi opinion nadie habia empleado hasta entonces.

Al llegar al Japon se encargó el Sr. Barroso de hacer construir su aparato fotográfico conforme al plan antes indicado, y de formar su laboratorio tan pronto como nos instalamos en nuestra pequeña casa de Nogue-no-yama. Inmediatamente despues dió principio á sus experiencias, en los que obtuvo muy buenos resultados, no obstante los muchos defectos que eran inevitables en un instrumento improvisado con tanta premura.

En el apéndice IV, que contiene el informe que me rindió el Sr. Barroso sobre los trabajos fotográficos que le encomendé, podrán verse todos los detalles de sus operaciones. Aquí solo diré que la cámara oscura se fijó delante de un telescopio, cuya distancia focal era de algo mas de un metro y cuyo objetivo tenia 0^m 10 de diámetro, colocándose de tal manera que la lámina sensibilizada quedase á unos 0^m 25 del ocular y perpendicular al eje óptico del instrumento, el cual quedó establecido sobre

su tripié metálico y provisto de los contrapesos necesarios para equilibrar el peso del aparato fotográfico.

Empleando despues un ocular positivo, se arregló todo de tal modo, que la imágen del sol se fuese á formar en el exterior del tubo sobre la placa sensible, extrayendo ligeramente al efecto el ocular; y se puso delante del objetivo del telescopio un pequeño diafragma con el mecanismo necesario para que instantáneamente pudiese descubrirse su parte central al hacer las exposiciones. El tiempo que permanecia descubierto el objetivo era probablemente inferior á cinco centésimos de segundo, y solo el suficiente para que obrase sobre la lámina sensible la intensa luz del sol.

Nuestro improvisado aparato carecia de movimiento ecuatorial y del micrómetro necesario para que la reproduccion de sus hilos por el mismo método hubiera podido servir de referencia á fin de definir con exactitud en todas las fotografías la posicion del planeta respecto del sol, en cuyo caso habieran sido estas utilizables en la determinacion de la paralaje. Tampoco tenia la estabilidad suficiente para permitir la ejecucion de trabajos de precision, á causa de los defectos de su sistema de contrapesos que solian ocasionar ligeras vibraciones en el telescopio; pero por lo demas el procedimiento nada deja que desear en cuanto á la limpieza y magnitud de las imágenes, así como en cuanto á la facilidad y rapidez de manipulacion.

El Sr. Barroso obtuvo varias imágenes fotográficas durante el tránsito, algunas de las cuales son verdaderamente notables por la precision con que están terminados en ellas los bordes del sol y los de Vénus. En su informe pueden verse las reproducciones exactas de estas fotografías con las horas de tiempo medio á las cuales se obtuvieron. Su diámetro, probablemente superior al de las ejecutadas por las demas Comisiones que tomaron parte en la observacion del tránsito, es de

ocho á diez centímetros; pero no dudo que si hubiéramos contado con tiempo suficiente para construir un aparato mas perfecto, habríamos logrado obtenerlas de diámetro doble por lo menos. Es ciertamente de desearse que se estudie este método haciéndole todas las mejoras de que es susceptible; porque creo que podrá prestar muy buenos servicios, no solo en el futuro tránsito de 1882, sino tambien en otras muchas investigaciones físicas referentes al sol y acaso á otros astros.

Un fotógrafo japonés dependiente del Gobierno, á quien dimos á conocer nuestro procedimiento y permitimos copiar nuestro aparato, hizo tambien algunas fotografías del tránsito bastante aceptables, adaptando su cámara á un telescopio pequeño. El Sr. Yóshida me obsequió con una coleccion de ellas, y solo es de sentirse que presenten cierta vaguedad en sus contornos, á causa de que el fotógrafo dejó descubierta toda la abertura del objetivo, en lugar de limitarlo con un pequeño diafragma como lo hicimos nosotros.

Lo expuesto espero que dará una idea general del plan de trabajos que adopté para la observacion del tránsito, y que fué felizmente realizado. En cuanto á las demas operaciones astronómicas que se practicaron en ambos campos para obtener sus horas locales y sus posiciones geográficas, todas ellas constan en los Apéndices respectivos, segun lo he indicado en otra ocasion.

