

EL PASO DE VENUS

POR EL DISCO DEL SOL.



APENDICE A LOS ARTICULOS DIVERSOS

DE

Antonio Garcia Cubas.

Á MIS APRECIABLES AMIGOS

LOS SEÑORES

D. José de Jesus Cuevas y D. Manuel Peredo.



LO la ignorancia con su escepticismo consiguien-
te, puede dudar de los progresos que realmente
ha hecho la ciencia astronómica. La consabida
estrofa:

El mentir de las estrellas
Es un seguro mentir,
Porque nadie puede ir
A preguntárselo á ellas,

únicamente pueden pronunciarla los labios de aquellos
que totalmente desconocen los principios de las mate-
máticas en general, y de la geometría en particular.

Dia á dia presenciamos la realizacion de ciertos fe-
nómenos celestes, predichos por el conocimiento pleno
que se tiene de las revoluciones planetarias. Unas ve-
ces la luna pierde su argentado brillo sumergiéndose en
la sombra de la tierra; y otras, el sol, ocultándose tras
de aquel astro, nos priva momentáneamente de sus ful-
gores; los cometas aparecen periódicamente como er-

rantes viajeros con sus cabelleras ténues y lucientes; y millares de meteoritas en determinadas noches del año, radian en copiosa lluvia surcando el espacio y dejando tras sí sus estelas luminosas. Ante la predicción de estos fenómenos, que se realizan con admirable precisión, debería desaparecer la incredulidad, aun cuando la inteligencia por la falta de la instrucción necesaria, no alcance ni comprenda la causa de tales efectos.

El tránsito del planeta Vénus por frente al disco del sol, es un acontecimiento astronómico de la mayor importancia; por cuanto á que ese fenómeno, que solo tiene efecto dos veces en el intervalo de mas de un siglo, facilita el medio de determinar con mayor precisión, la distancia que nos separa del sol, y en consecuencia, las demas que existen entre todos los planetas.

Por escasos que sean los conocimientos que se tengan de la geometría, uno de los mas bellos ramos de la ciencia, todos saben lo que es un triángulo, figura que forma la base de la teoría que trato de exponer.

Todo triángulo consta de seis elementos; tres ángulos A , B y C , y tres lados respectivamente opuestos á los ángulos, a , b y c (fig. 1°)

Conociendo el valor de tres de los elementos de un triángulo, se puede obtener el de cualesquiera de los otros tres, de la misma manera que aritméticamente puede obtenerse el cuarto término de una proporción, conociendo los otros tres.

La trigonometría se ocupa de la resolución de los triángulos.

Prévias estas ligeras nociones de geometría, fácilmente se puede comprender la teoría que me he propuesto explicar en el presente artículo.

Sábase que una línea recta mide la verdadera distancia que hay entre dos puntos; así es que para obtener la longitud de una calzada, por ejemplo, bastará fijarse en dos puntos extremos de ella y medir, sin desviarse de la recta, la distancia que los separa, con una cadena ó cinta dividida en metros, varas, &c. Esta operación tan sencilla, tratándose de una distancia que puede recorrerse sin obstáculo alguno, es impracticable

si se quiere obtener la que existe entre dos puntos, de los cuales uno es inaccesible, ya por las asperezas del terreno, ya por interponerse algún río ó por otras circunstancias. En tal caso, hay que ocurrir á otro arbitrio geométrico, que produce además, un resultado mas satisfactorio.

Supongamos que entre A y C (figura 2) se interpone un río y un bosque que impiden la medición de una distancia por medio de la cinta.—Se mide sobre el terreno una distancia AB que constituye la base; en el punto A , por medio de un instrumento angular, se observa el ángulo que la visual AC forma con la base; trasladándose el observador al extremo B , ejecuta la misma operación para observar el ángulo ABC . Contando así con los tres elementos necesarios del triángulo, fácilmente puede calcularse el lado b que es la distancia que se desea averiguar.

Hagamos el caso práctico, á fin de comprobar la teoría, suponiendo que el operador obtuvo los siguientes datos:

c , base del triángulo, medida directamente.....	8876 ^m
Angulo A , observado.....	79°38'40"
Angulo B , „.....	57°31'

Para resolver gráficamente el problema, se hace uso del trasportador y de un doble decímetro, asignando á las divisiones de este, según la escala que se adopte, un valor que esté en relación con las medidas tomadas en el terreno: sea por ejemplo, el de cien metros á cada milímetro.

1° Desde el punto A (figura 3) trácese sobre el papel una línea indefinida AB .

2° Puesto que á cada milímetro se le han asignado cien metros, tómese sobre la línea indefinida, según se espresa en la figura, una longitud igual, á $88\frac{3}{4}$ de milímetro=8876 metros en el terreno, y se tendrá la base AB .

3° De los extremos de esta, como vértices, constrúyanse por medio del trasportador los ángulos $A=79^{\circ}38'40''$ y $B=57^{\circ}31'$. Los lados a y b se cortan en el

punto C tercer vértice del triángulo. El problema se resuelve tan solo midiendo con el doble decímetro el lado b , que en el presente caso es de 110 milímetros; multiplicados estos por 100 dan 11,000 metros, que es la distancia que se deseaba averiguar.

Conviene advertir que las construcciones gráficas, como la que se acaba de indicar con el único fin de facilitar la operación, no dan la exactitud que se requiere en tales casos, y debe procederse aplicando al cálculo las fórmulas trigonométricas, una de las cuales da 11013,70 metros, como resolución exacta del problema.

He deseado por medio de un caso práctico demostrar los principios evidentes en que se funda la ciencia para deducir sus resultados, y contribuir por este medio á destruir la incredulidad.

El problema de las distancias de los cuerpos celestes está basado en los mismos principios. Un planeta, por ejemplo, es el punto inaccesible, vértice del tercer ángulo que con mas ó menos dificultades, inquietan los astrónomos, observando los otros dos sobre la tierra.

Supongamos que dos astrónomos, situados uno en A y otro en B (figura 4) puntos de la tierra muy distantes entre sí, observan á la misma hora la estrella C y obtienen los ángulos ABC y BAC . Puesto que la suma de los ángulos interiores de un triángulo es igual á 180° , ó sea, dos rectos, bastará restar de 180° la suma de los dos ángulos A y B obtenidos por la observación, y la resta espresará el valor del ángulo C , ángulo á que se da el nombre de *paralaje de la estrella*. Al ejecutar la sustracción indicada, en todos los casos análogos al de que tratamos, la resta es igual á 0, de cuya circunstancia resulta nula la paralaje, y por consiguiente paralelas las visuales de ambos observadores; es decir, que tan inmensa es la distancia de una estrella á la tierra, como pequeña esta para tomar por base aun su propio diámetro.

Sean T la tierra y C el astro cuya paralaje se trata de determinar (figura 5.) Obsérvese ante todo, que cuanto mas distantes se encuentren los puntos de estación, aumenta el valor de la paralaje, de suerte que

si la estación B se retira hasta D , aquella es mayor. El observador en la estación A , en el caso que indica la figura, tendrá el astro en su zénit, y el de la estación D en su horizonte, razón por la cual se da á la paralaje el nombre de horizontal, y es la que los astrónomos inquietan empeñosamente. Así pues, la paralaje no es otra cosa que el ángulo bajo el cual pudiera verse el rádio terrestre desde el mismo astro. Fácil es concebir las grandes dificultades que hay que vencer para obtener la paralaje de un astro, puesto que el valor de esta disminuye hasta ser nula á medida que el astro se encuentra mas distante de la tierra.

La luna, como satélite de la tierra, es el astro menos distante, así es que ha podido determinarse sin gran dificultad su paralaje, que es de $57'2''$ y 31 décimos de segundo, la que da para la distancia $60\frac{1}{4}$ radios terrestres ecuatoriales. Sábese que el rádio terrestre mide 6.377,398 metros, que multiplicados por $60\frac{1}{4}$ dan en leguas mexicanas de 4190 metros, una distancia de 91703 ó bien 96000 leguas métricas. Como la incertidumbre de esta distancia depende solo del error de observación que en la paralaje lunar se estima en medio segundo, el error en la distancia resulta de 14 leguas próximamente.

La distancia de la tierra al sol, á consecuencia de la extraordinaria pequeñez de la paralaje, no ha podido obtenerse simplemente por el método indicado, á pesar de los esfuerzos de los astrónomos que en ello se han ocupado desde la mas remota antigüedad. Aristarco de Samos, que vivió mas de 200 años antes de la era vulgar, trató de resolver el problema tomando como base la distancia á la luna, y practicando la observación en una de las épocas de cuadratura.—Como se sabe, en tales épocas los ejes que unen el centro de la luna con los de la tierra y del sol, forman un ángulo recto; así es que observando el que formaban las visuales TL y TS , (figura 6) obtenía el tercer elemento de que necesitaba para deducir la distancia TS , lado opuesto al ángulo recto. La falta de precisión de este método, aunque ingenioso, produjo el mal resultado

que era consiguiente, dando á la paralaje solar un valor muy grande, y por tanto en extremo pequeño respecto de la distancia.

La diferencia obtenida en distintas épocas, por la falta de precisos medios de observacion respecto de la paralaje, ha sido la causa de la diferencia en la apreciacion de la distancia, la cual varia de 1.645,000 á 37.500.000 leguas.

Tales diferencias pudieran servir de argumento á los que niegan los principios de la ciencia, robusteciendo con eso su incredulidad; pero la objecion que á este respecto pudiera hacerse, carece de fundamento: el defecto no está en los principios en que la astronomía funda sus operaciones, sino en las dificultades para la precisa observacion, á causa de la inmensa distancia que separa en el espacio á los cuerpos celestes. La perseverancia de los astrónomos, de esos ilustres apóstoles de la ciencia, vence cada dia mas y mas, y los obstáculos que se oponen á su exacta observacion.

Las admirables leyes de Kepler, leyes que rigen el movimiento de los planetas y determinan la relacion que existe en la duracion de sus respectivas revoluciones y de sus distancias al sol, centro del sistema planetario, proporcionan á los astrónomos medios mas eficaces de observacion; y una vez obtenida la distancia mas precisa de un astro, pueden obtenerse por comparacion las de los otros, en virtud de una de las leyes debidas, como se ha dicho, al gran genio de Kepler.

La observacion del paso de Vénus por el disco del sol, conforme al método propuesto por el ilustre astrónomo Halley, conduce á resultados mas satisfactorios, respecto de la paralaje solar. Ese método se puso en práctica el 5 de Junio de 1761 y el 3 de Junio de 1769; y la observacion debe repetirse, á fin de rectificar los resultados obtenidos en aquellas épocas, el 8 de Diciembre de 1874, y el 6 de Diciembre de 1882.

Las observaciones hechas en 1761 no dieron el resultado apetecido, quizá por ser la primera vez que se practicaba el método iniciado por Halley, sin tener los astrónomos antecedentes de análogas operaciones an-

teriores para normar las que, de nuevo ejecutaban, ó tal vez, por la mala eleccion de los puntos de estacion. Con todo, ante esos resultados, los astrónomos adquirieron la útil enseñanza que da la esperiencia, y fueron mas previsores en la segunda época, 1769, obteniendo resultados mas satisfactorios, que son los que la presente generacion trata de rectificar.

Como se ve, el fenómeno celeste de que tratamos, tan interesante para la ciencia astronómica, se repite primero, en el intervalo de 8 años, y despues, en el espacio de mas de un siglo.

Hé aquí por qué razon no es mas frecuente el fenómeno celeste de que se trata. Se dice que un planeta está en *conjuncion superior*, siempre que se encuentre en el punto V' (figura 7) opuesto á la tierra; y en *conjuncion inferior*, en V , es decir, entre el sol y la tierra misma. Los planetas Mercurio y Vénus, llamados inferiores á causa de trazar sus órbitas dentro de los límites determinados por la de la tierra, tienen conjunciones inferiores y superiores; pero los demas planetas que giran mas allá del nuestro, y por lo cual se les da el nombre de planetas superiores, tales como Marte, Júpiter, &c., solo tienen conjunciones superiores.

Está fuera de toda duda, pues el cálculo lo ha demostrado, que Vénus entra en conjuncion inferior cada 584 dias.

Así es que si para la primera conjuncion	
contámos.....	584 dias.
Contaremos para la 2ª.....	1168 „
„ para la 3ª.....	1752 „
„ para la 4ª.....	2336 „
„ para la 5ª.....	2920 can-

tidad que dividida por 365 dias, da 8 años.

Quiere decir, que en el intervalo de 8 años, Vénus contará cinco conjunciones inferiores.

En consecuencia, la tierra durante cada período de 584 dias, habrá recorrido 576°, ó lo que es lo mismo, toda su órbita, mas 216°.

Sea T la tierra y V Vénus, que se encuentra en con-

juncion inferior, en la línea SVT (figura 8.) La tierra, á causa del período trascurrido, partiendo del punto T , habrá recorrido los 216° mas de su órbita, y se encontrará en el punto T_1 y así sucesivamente irá encontrándose al fin de cada nuevo periodo, en los puntos $T_2 T_3 T_4 T_5$, coincidiendo este último con el punto de partida T .

Demostrada esta teoría pudiera creerse fácilmente que el paso de Vénus por el disco del sol debería efectuarse cada ocho años precisamente; pero no es así, pues existe una circunstancia, sin la cual, ese fenómeno, no puede acontecer. Para que Vénus, con relacion á la tierra, pase por frente al disco del sol, no basta que se halle en conjuncion inferior, es condicion indispensable que esta tenga efecto en la línea de los nodos ó cerca de ella. Aun independientemente de esta circunstancia, el fenómeno no se repetiría á los ocho años precisos, puesto que la relacion que acaba de esponerse no es enteramente exacta. Cinco revoluciones sinódicas se efectúan en poco menos de ocho años, consistiendo la diferencia en dos dias y medio.

Antes de pasar adelante, conviene advertir lo que se entiende por línea de los nodos, y por latitud geocéntrica de un astro.

Puesto que las órbitas de los planetas se hallan inclinadas unas respecto de otras, los planos que las contienen se cortan determinando en su interseccion una línea, que es la llamada *línea de los nodos*, y á sus estremidades simplemente *nodos*; tal es la línea $T_4 T_5$ (figura 9.) Como esta es comun á los dos planos que se cortan, siempre que dos planetas, durante su revolucion, se sitúen en ella, se encontrarán en la misma direccion del sol, que es el foco comun de todas las órbitas. La línea de los nodos divide la órbita de un planeta en dos mitades, una llamada *nodo ascendente* y la determina el paso del planeta del hemisferio austral al boreal; y la otra *nodo descendente*, al pasar del hemisferio boreal al austral. El plano de la eclíptica está determinado por la órbita terrestre.

Si se considera la tierra como centro de la esfera ce-

leste, y á ella se relaciona la posicion de un astro, esta posicion se llama *geocéntrica* para diferenciarla de la que se considera relacionada al sol como centro, en cuyo caso se llama *heliocéntrica*. De aquí provienen los nombres de *latitud geocéntrica* ó altura de un astro sobre la eclíptica, visto desde la tierra; y *latitud heliocéntrica* ó altura de un astro sobre la eclíptica, suponiéndolo visto desde el sol. Sea TT , el plano de la eclíptica, y VV el de la órbita de Vénus (figura 9.) Como este último plano se halla inclinado respecto del de la eclíptica, al recorrer Vénus su órbita, la latitud geocéntrica adquiere diversos valores. La amplitud de los ángulos que la miden $VTS, V_1T_1S_1, V_2T_2S_2, V_3T_3S_3$ &c., disminuye sucesivamente á medida que las conjunciones se acercan á la línea de los nodos, en la cual es nula la latitud del planeta. Desde aquí, continuando este su camino por el nodo descendente, vuelve sucesivamente á adquirir sus diversos valores hasta su punto mas culminante V , desde donde empiezan aquellos á disminuir hasta la conjuncion en la otra parte ST_5 de la línea de los nodos, en que la latitud vuelve á ser nula.

A fin de hacer de mas fácil comprension la teoría, he supuesto las dos órbitas en perspectiva y por tanto elípticas; pero ya se sabe que tanto estas como las demas órbitas planetarias son casi circulares.

Si en el momento de la conjuncion la línea ST , en la cual tiene aquella afecto, coincide con la de los nodos, la latitud geocéntrica de Vénus es nula, y su proyeccion en el disco del sol trazará uno de los diámetros ab de este astro (figura 10,) y á medida que dicha latitud aumente al efectuarse la conjuncion mas distante de aquella línea, describirá cuerdas de menor longitud $a'b' a''b''$. El límite de esa latitud no debe exceder de $32'$, próximamente igual al diámetro aparente del sol. Todo esto esplica suficientemente la causa por la cual solamente en los nodos ó cerca de ellos puede tener efecto el fenómeno celeste en cuestion.

Volvamos ahora al punto de la periodicidad de este fenómeno.

Se ha manifestado que la reproducción del tránsito de Vénus por el disco del sol á los ocho años, no puede tener efecto, en la misma línea que sirvió de punto de partida porque no es exacta la relación entre las revoluciones sinódicas y el tiempo transcurrido. Así es que, si una conjunción inferior tuvo lugar según la línea ST , (figura 7) al término de cinco revoluciones en poco menos de ocho años, la conjunción se efectuará en la línea $S'V'T'$ anterior á la línea NN' de los nodos. Mas como en esta nueva posición la latitud geocéntrica de Vénus no excede del límite de $32'$ antes indicada, pues apenas contará $20'$, el fenómeno se reproduce, y no ya en los siguientes períodos, por adquirir la latitud de Vénus un valor superior á aquel determinado límite.

Pasemos á exponer la causa de la repetición secular de tan importante acontecimiento científico. El paso de Vénus por el Sol se efectúa en uno y otro lado de la línea de los nodos; y por un cálculo idéntico al que sirvió para demostrar la periodicidad inmediata de los ocho años, se llega á encontrar: que en 243 años, con diferencia de un día, se completan 152 revoluciones sinódicas de Vénus, durante las cuales, el Sol, Vénus y la Tierra se colocan dos veces en las condiciones necesarias para la reproducción del fenómeno, en una y otra parte de los nodos. Uno de los grandes períodos cuenta 71 revoluciones en $113\frac{1}{2}$ años siderales, y el otro 81 en $129\frac{1}{2}$, repitiéndose el fenómeno inmediatamente á los ocho años, por la razón antes expresada. La conjunción de Vénus en las condiciones requeridas para los dos pasos sucesivos en 1761 y 1769, se efectuó cerca del nodo descendente; la de 8 de Diciembre de 1874 y 6 de Diciembre de 1882 tendrá lugar cerca del nodo ascendente. Siendo la latitud de Vénus en 1874 boreal, su pequeño disco se proyectará en el hemisferio norte del sol, así como su proyección en 1882 será en el del Sur por ser su latitud austral.

Esplicadas las causas de la periodicidad del tránsito de Vénus, pasemos á tratar de los resultados que de su observación debe obtener la ciencia astronómica.

Situando los observadores sus estaciones muy distantes unas de otras, y en lugares que tengan el sol á cierta elevación sobre el horizonte, verán proyectarse á Vénus en diferentes lugares del disco solar, y recorrer cuerdas de diversa longitud en diferentes períodos de tiempo, circunstancias que los conducirán á fijar la posición relativa de esas cuerdas. Supongamos que un observador se encuentra en A y otro en B (fig. 11,) el primero verá la proyección de Vénus en V' y el segundo en V'' . Por la posición de las cuerdas ab y cd se tiene la distancia angular de estas $V'VV''$. Los triángulos AVB y $V'VV''$ son semejantes, es decir, sus ángulos respectivos son iguales, y sus lados homólogos proporcionales:

$$AB : V'V'' :: AV : VV' :: TV : VS \text{ etc.}$$

Una de las admirables leyes de Kepler, de las cuales ya se ha hecho mérito, determinan, no las distancias absolutas de los planetas, sino la relación que existe entre esas distancias, de modo que obteniendo con exactitud el valor de una de ellas, pueden obtenerse, por medio de un simple cálculo aritmético todas las demás. Júzguese por este hecho cuán inmensa es la importancia que debe darse á la observación del paso de Vénus, puesto que, por su medio, puede obtenerse un valor inquirido tantas veces y con tanto afán por los astrónomos, ó como ha dicho uno de estos sábios, el metro de las distancias celestes.

Según una de las mencionadas leyes, la relación entre los semi-ejes de las órbitas de Vénus y la tierra, no excede mucho de 0,72 tomando por unidad la distancia del sol á nuestro planeta.

Según Delaunay, puede tomarse para SV ... 0,73
El complemento de la unidad ó sea el término
para la relación TS 0,27

1,00

Si comparamos los triángulos semejantes AVB y $V'VV''$ (figura 11,) suponiendo las longitudes $V'V''$ y

AB paralelas entre sí, como perpendiculares á la eclíptica, tendremos la siguiente proporcion:

$$V'V'' : AB :: SV : TV$$

Sustituyendo los valores de los últimos términos resulta la ecuacion:

$$\frac{V'V''}{AB} = \frac{73}{27} = 2,7$$

de donde

$$AB = \frac{V'V''}{2,7}$$

Es decir, que dividiendo por 2,7 la distancia angular $V'V''$ se obtendrá el valor de AB , distancia angular del diámetro de la tierra; y finalmente, si el resultado se divide por 2, se determinará el ángulo bajo el cual pudiera verse el rádio terrestre desde el sol, ó sea la paralaje de este astro.

Se ha supuesto en la figura la coincidencia de la conjuncion en la línea de los nodos, así como los puntos de observacion en los extremos del diámetro terrestre, á fin de facilitar la teoría, que tiene su aplicacion sin que concurren las circunstancias mencionadas, las cuales ciertamente abreviarían las operaciones de por sí tan delicadas.

Con el propio objeto se han exajerado las dimensiones de la figura de nuestro planeta; y debe advertirse, por tanto, que si atribuimos al sol, reduciéndolo á una escala determinada, 110 á 111 milímetros de diámetro, el de la tierra deberá representarse por un milímetro, y la distancia entre ambos astros por una longitud de 11 metros y 6 decímetros.

De la exageracion de la figura proviene la extraordinaria amplitud de los ángulos AVB y $V'VV''$. En realidad, la distancia angular $V'V''$ que puede observarse desde la Tierra, es muy pequeña, por cuya causa la observacion puede hacerse con mejor éxito cuando

Vénus al pasar por el disco del sol, describa las cuerdas mas distantes del centro. Hé aquí la razon: la diferencia en la longitud de dichas cuerdas y de la cual depende su fijacion en el disco solar, no puede apreciarse fácilmente hallándose aquellas cerca del centro; porque el ángulo que forman con los bordes del disco es sensiblemente recto; en tanto que alejadas del centro, el referido ángulo es cada vez mas agudo.

Flammarion acompaña á su interesante esposicion teórica del paso de Vénus, una carta en que se indican los lugares de la tierra en donde ese fenómeno puede observarse, así como las regiones en donde no será visible por tener el sol bajo del horizonte. Esa carta fué formada por la oficina de longitudes de Francia, y he creido muy conveniente reproducirla en este artículo, así como la esplicacion que de ella hace el mismo sabio. La region que abraza la parte clara del mapa es la mejor situada para la observacion por cuanto á que los países que comprende tendrán el sol sobre el horizonte durante todo el tiempo del tránsito, y por tanto podrá observarse la entrada y la salida del planeta en el disco del sol. Obsérvese que Pekin, Nankin, Shanghai, Calcuta, Bombay, Ceylan, Siam, etc., se encuentran perfectamente situadas para el objeto.

La region oscurecida que abraza la Africa Occidental, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia, el círculo polar ártico, el estrecho de Behring y las dos Américas, determina la parte terrestre en la cual no es visible el fenómeno, por tener su efecto despues de puesto el sol.

En la region señalada por una media tinta de líneas horizontales, se verá solamente la salida ó fin del paso. Esta region comprende el Africa, la Arabia y la Persia. En la otra region, indicada asimismo por una media tinta pero de líneas verticales, se verá solo la inmersion de Vénus, ó el principio del tránsito. En todas las islas de la parte del grande Océano que comprende esta region, el sol se habrá puesto al efectuar Vénus su emersion.

En fin, el pequeño triángulo, al Sur de la América