

1.19. El Tamaño del Sistema Solar: Los tránsitos de Venus de 1761 y 1769.**1.19.1. Introducción:**

El tamaño del Sistema Solar fue motivo de preocupación de los astrónomos desde muy antiguo. En el mundo griego, cuando el modelo del cosmos era el modelo geocéntrico, la distancia de la Tierra a la Luna fue primeramente abordada por Aristarco en el siglo III a.C. y posteriormente Hiparco, en el siglo II a.C. da un valor muy cercano al real para la distancia a la Luna, en términos del radio terrestre (unos 60 radios terrestres). Eratóstenes midió el radio terrestre con lo cual podemos decir que desde Hiparco se tiene una idea muy aproximada de la distancia a la Luna en unidades física (digamos kilómetros en la notación moderna; en aquella época era en estadios).

La distancia de la Tierra al Sol es mucho más difícil de determinar. Aristarco había sugerido que la distancia Tierra-Sol era unas 20 veces mayor que la distancia Tierra-Luna. Aristarco se basó en el hecho que el triángulo Tierra-Luna-Sol es rectángulo en la Luna en el momento en que la Luna está en cuarto creciente y/o en cuarto menguante. Ese método llevó a sub-estimar, por muchos siglos el valor de la distancia Tierra-Sol, conocido posteriormente como la *Unidad Astronómica de distancia*.

Una manera de expresar el valor de la *Unidad Astronómica de Distancia* es mediante lo que se llama el *paralaje solar*, que corresponde al ángulo que subtiende el radio terrestre visto desde el Sol. Los valores iniciales de la *Unidad Astronómica* y por ende del paralaje solar estaban errados severamente. Ptolomeo propone una distancia Tierra-Sol que es tan sólo el 5,2% del valor actual y por ende la paralaje solar la sobre-estima en un factor 19, correspondiendo en ese caso a $3' 11''$.

A partir de 1543, al publicar Copérnico su tratado en el cual se plantea en forma completa la hipótesis heliocéntrica, la distancia al Sol y las estrellas vuelve a tomar una nueva dimensión. El movimiento de la Tierra en torno al Sol exige que las estrellas estén a una distancia de a los menos 2,000 unidades astronómicas. Para la distancia Tierra-Sol se empiezan a hacer mediciones cada vez más precisas. Cassini, gracias a las observaciones realizadas por él en París y por Richer en Cayena, para la oposición de Marte de 1672, determina un valor del paralaje solar equivalente a 9,5 segundos de arco. Este es un valor muy superior a todos los obtenidos con anterioridad y que se aproxima mucho al valor actual; corresponde a 138.500.000 kilómetros, tan sólo un 7,5% menor que el valor actual de 149.600.000 km.

Contemporáneamente con Cassini Christiaan Huygens estima el paralaje solar midiendo el tamaño angular de Marte y Venus, escalándolo a una unidad astronómica

de distancia y tomando el promedio. La cifra que Huygens obtuvo es notablemente acertada, sobre-estimando el valor de la unidad astronómica en casi un 10%. El valor estimado por Huygens está por encima casi lo mismo que el valor de Cassini está por debajo. Esto puso definitivamente el valor de la paralaje solar en el rango entre 8" y 9".

1.19.2. Tránsitos de Mercurio y Venus:

En 1627 Johannes Kepler publica su último gran trabajo, las *Tablas Rudolfinas*, dedicadas a su patrono el Rey Rodolfo II de Bohemia. A partir de ellas Kepler hace dos predicciones importante: el 7 de Noviembre de 1631 el planeta Mercurio pasaría en frente del Sol y un mes más tarde, el 6 de Diciembre, lo haría el planeta Venus. Ambos eventos son de una baja ocurrencia por lo cual dos tránsitos en un mes representaban una situación astronómica muy particular. Kepler y su ayudante Jacob Bartsch estaban concientes de la importancia de ambos eventos para determinar el tamaño angular de ambos planetas por lo cual le solicitó a todos los astrónomos del orbe prestar atención a los eventos. Kepler desgraciadamente no vivió lo suficiente para verlos pues murió en Noviembre de 1630. Su predicción para el tránsito de Venus fue que no sería visible en Europa por lo cual le solicitó a los navegantes le prestaran atención como así también a los hombres instruidos del nuevo continente.

Pierre Gassendi (1592-1655) fue uno de los pocos astrónomos europeos que observó el tránsito de Mercurio del 7 de Noviembre de 1631. Científico nacido en Provenza, Francia, estudió en la Universidad de Aix. Se reveló en contra de la escolástica que basaba el conocimiento en especulaciones filosóficas y no en la experiencia. Fue influido grandemente por el método experimental de Galileo. Gassendi entre otras cosas estudió y "bautizó" el fenómeno de las auroras boreales (luces del norte). También fue un notable biógrafo de Copérnico, Tycho y Regiomontano.

A medida que se aproximaba el día crucial Gassendi se preparaba para la observación desde su departamento de París. Su plan consistía en proyectar una imagen del Sol en una pantalla blanca colocada una distancia detrás del ocular de su telescopio. Este método era una mejora notable por sobre el sugerido por Kepler de una cámara oscura, en el cual se hace pasar la luz del Sol por una pequeña abertura que se proyecta en una pieza oscurecida.

Para Gassendi las cosas no se veían bien. El 5 de noviembre estuvo lloviendo todo el día en París y el 6 estaba totalmente nublado. Kepler había pronosticado el tránsito para el 7 de noviembre pero sugería que lo trataran de observar a partir del 6 y si no ocurría ni el 6 ni el 7 que lo intentaran el 8. Gassendi por ello temía haber perdido el tránsito el día 6. A las 9 A.M. del siete de noviembre se despejó en París y para deleite de Gassendi, en la imagen proyectada del Sol de unos 20 centímetros de diámetro pudo ver, junto con varias manchas solares, una sombra oscura que no había estado ahí en los días anteriores que Gassendi había observado el Sol. Se volvió a nublar lo que descorazonó a Gassendi pero cuando el Sol volvió a brillar se hizo evidente que la sombra se había desplazado notoriamente lo cual hacía que la

identificación con la imagen proyectada de Mercurio parecía indudable. Mercurio resultaba mucho más pequeño que lo que él esperaba; midió un diámetro angular de tan solo 20" para Mercurio. Gassendi escribió una memoria dando toda clase de detalles del tránsito de Mercurio.

Gassendi tuvo un gran interés de intentar el tránsito de Venus pronosticado por Kepler para el 6 de Diciembre pero no tuvo suerte. No lo vio ni el 6 ni el 7. En verdad ocurrió en la noche del 6 al 7 y sólo fue visible desde el lado del planeta opuesto a Europa (donde era de día en ese momento). Nadie observó el primer tránsito anunciado del planeta Venus; la situación cambiaría drásticamente un siglo más tarde.

Las Tablas Rudolfinas anunciaban el siguiente tránsito de Venus para el 6 de Noviembre de 1761. Sin embargo el joven inglés Jeremiah Horrocks (1618-1641) examinando las tablas de Kepler se dio cuenta que ocurriría un tránsito de Venus el 4 de Diciembre de 1639.

Horrocks nació en una familia pobre de Liverpool, Inglaterra y asistió a la Universidad de Cambridge. Resultó ser un hábil matemático y astrónomo. Su muerte prematura, con tan sólo 23 años le impidieron consolidarse como un gran astrónomo de su época.

Horrocks terminó sus cálculos en octubre de 1639, apenas un mes antes del tránsito. Le avisó a sus amigos para que lo observaran, ojalá desde distintos lugares para tener una mejor chance de lograr el éxito en la empresa. Entre los amigos de Horrocks se encontraba su casi vecino de Manchester William Crabtree. Se habían conocido en Cambridge como estudiantes y a pesar que vivían a tan sólo 25 millas no se visitaban sino que intercambiaban correspondencia (lo cual es una suerte pues se ha podido conocer esta historia gracias a ello).

El 5 de Noviembre Horrocks le escribe a Crabtree y le suplica observar el evento y prestar atención al diámetro de Venus que según Kepler debería ser de 7' y según Lansberge sería de 11' y Horrocks pronostica que apenas superaría 1'.

Crabtree siguió el modelo de la observación de Gassendi de Mercurio de 1631. Proyectó la imagen del Sol con un telescopio sobre una pantalla en una pieza oscura. El tránsito de 1639 fue observado desde Hoole, unas 15 millas al norte de Liverpool, por Horrocks y por Crabtree, cerca de Manchester. Ambos lo observaron entre las nubes, empezando tipo 3 de la tarde y el Sol se puso mucho antes del egreso (se puso antes de la 4 de la tarde).

Las observaciones de Crabtree confirmaron la predicción de Horrocks sobre el diámetro de Venus. Crabtree midió un diámetro de 1 minuto de arco. La observación de Horrocks fue similar.

1.19.3. Los Tránsitos de Venus:

Edmond Halley observó desde la isla de Santa Helena el tránsito de Mercurio sobre la faz del Sol, el 7 de Noviembre de 1677. Era la cuarta vez que se observaba un tránsito de Mercurio y la primera que se observaba desde comienzo hasta el fin. Después de ello Halley empieza a pensar en la utilidad de la observación del tránsito para la determinación de la geometría del sistema solar. Mucho más interesante que los tránsitos de Mercurio son los tránsitos de Venus por dos razones: Venus en su conjunción inferior está a la mitad de la distancia que está Mercurio y además el tránsito de Venus es mucho más lento y por ende más fácil de medir. Después de una larga elaboración, Halley plantea en 1716, un nuevo método para determinar el paralaje solar mediante la observación desde distintos lugares de la Tierra del tránsito de Venus. La distancia de la Tierra a Venus es de sólo 0,3 unidades astronómicas en el momento de una conjunción inferior de Venus. En dos de ellas en cada siglo el planeta Venus se ve proyectado sobre el disco solar (tránsito de Venus). Los tránsitos ocurren con una separación de 8 años, y luego un siglo. Así los últimos ocurrieron en 1761 y 1769 en el siglo XVIII, en 1874 y 1882 en el siglo XIX; no hubo tránsitos de Venus en el siglo XX y en el siglo XXI, uno ocurrió en el 2004 y otro ocurrirá en el 2012. La paralaje de Venus entonces es aproximadamente de unas 3,3 veces mayor que la paralaje Solar, esto es $\sim 30''$. El paralaje de Venus relativo al Sol es de $\sim 22''$.

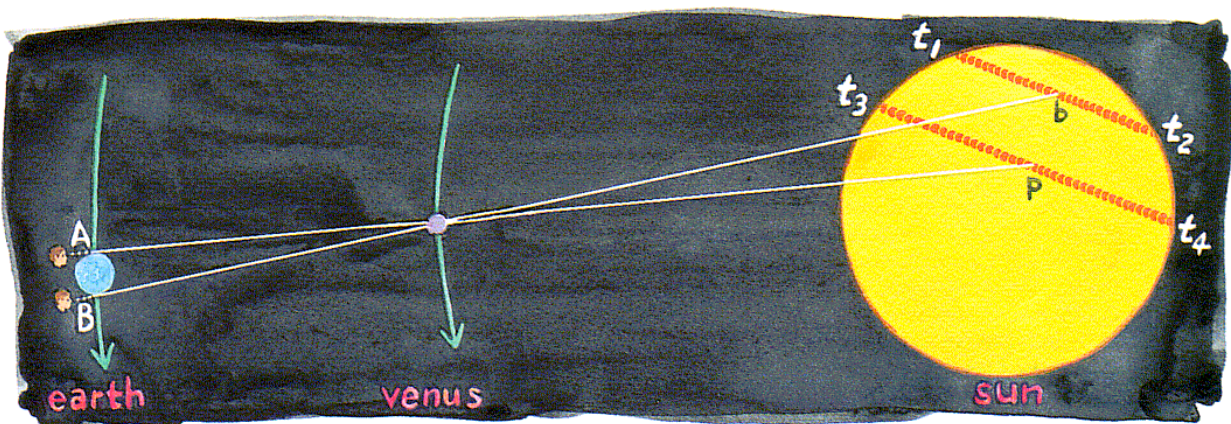


Figure 1. Transit of Venus across the sun as seen by two terrestrial observers, A and B. Each observer sees Venus projected against a different part of the sun's disk, and this difference in position of the two tracks allows the determination of the angle AVB . This, together with the baseline between A and B, yields the distance of Venus from the earth. Observer B sees the transit along the upper dashed line, starting at t_1 and ending at time t_2 . Observer A sees Venus transiting along to lower dashed line, starting and ending at times t_3 and t_4 .

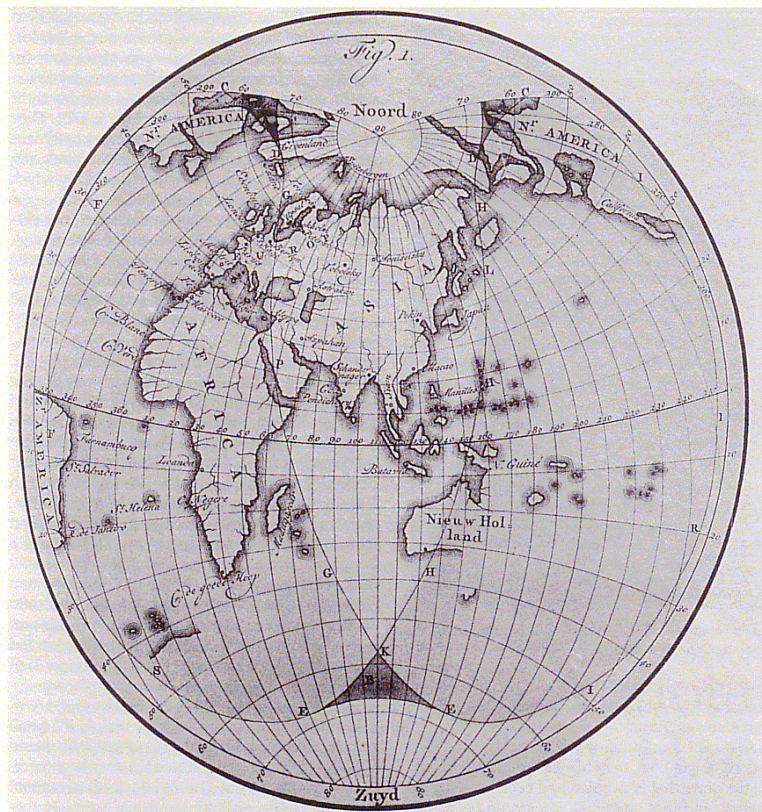


Figure 1. Map of the world that Pingré consulted for his 1761 voyage. (Reprinted with permission of the Bibliothèque Sainte-Geneviève, Paris.)

La esencia del método propuesto por Halley es que para cada observador el tránsito de Venus ocurre a lo largo de una cuerda que tiene una longitud ligeramente mayor o menor según la posición del observador sobre el globo terráqueo. Cada observador puede en principio determinar cuatro instantes: el primer contacto, cuando el limbo del Sol y Venus entran en contacto externo; el segundo contacto que marca el fin del comienzo del tránsito y el tercero y cuarto que marcan el final del tránsito. Si muchos observadores obtienen datos del tránsito desde los lugares más variados de la Tierra, los instantes de los cuatro contactos y la posición geográfica de la observación, junto con un modelo del globo terráqueo permiten medir el paralaje de Venus y por ende el paralaje solar.

El movimiento relativo de Venus frente al disco solar es bastante lento, avanzando 1 segundo de arco cada 14 segundos de tiempo. Si se logran determinar los instantes de los contactos con una precisión de unos pocos segundos se puede determinar la paralaje solar con una precisión de centésimas de segundos de arco. Para distintos observadores los tiempos de ingreso y de egreso de Venus sobre el disco solar pueden llegar a diferencias de 5 minutos. En principio es el método de mayor precisión que se podían intentar en el siglo XVIII. Parte de la belleza del método es que sólo se requiere de relojes, que existían en la época y podían ser calibrados hasta fracciones de segundos por día. No se necesitan para las observaciones grandes telescopios con círculos graduados con grandes precisiones, ni telescopios sofisticados con mecánicas de gran calidad; los telescopios se necesitaban sólo para ver los

contactos. En principio el método de Halley ofrecía determinar el paralaje solar dentro de una parte en 500.

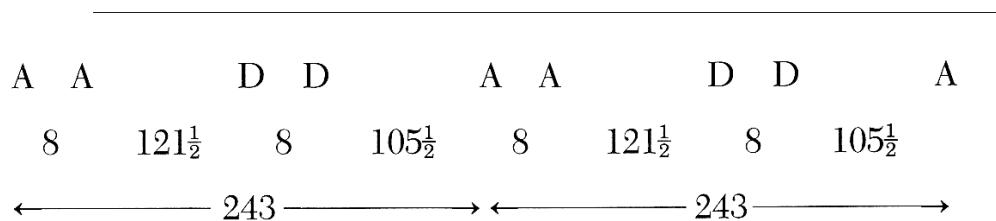
1.19.4 Frecuencia de los tránsitos:

El período sideral de Venus es de 224,70 días. El período sideral de la Tierra es de 365,256 días. El período sinódico de Venus (intervalo de tiempo entre dos conjunciones inferiores consecutivas) es de 583,9169 días. Resulta que:

- Trece “años” de Venus son: 2.921,1 días
- Ocho años terrestres son: 2.922,048 días
- Cinco períodos sinódicos son: 2.919,5845 días

Después de cinco períodos sinódicos a la Tierra le falta ~2,5 días para reocupar su misma posición en el espacio. Si ocurriese que Venus se encontrase en el nodo de su órbita en una conjunción inferior se vería proyectado sobre el disco solar (ocurriría un tránsito); cinco períodos sinódicos (~ocho años más tarde) la conjunción inferior se produciría “casi” en la misma posición del espacio (Venus estaría muy cerca del nodo, un poco antes que el nodo, pues a la Tierra le faltan aún 2,46 días para recuperar su posición inicial. Si el nodo fuese el nodo descendente, después de ocho años Venus estaría “sobre” la eclíptica en 22’. Como el diámetro solar es de 32’ si el primer tránsito ocurre por debajo del centro del disco solar, la conjunción inferior ocho años más tarde derivará en otro tránsito pero ocho años después no se producirá un tercer tránsito. Habrá que esperar un siglo para que se produzcan otros dos tránsitos en el nodo ascendente.

En un intervalo de 243 años se producen 4 tránsitos: dos en el nodo ascendente separados por 8 años (menos 2,5 días) un intervalo de 121½ años y dos tránsitos en el nodo descendente separados por ocho años, un intervalo de 105½ años y se vuelven a repetir los dos tránsitos del nodo ascendente. La asimetría está dada por la elipticidad de las órbitas de Venus y la Tierra que los hace demorar 121½ años en ir del nodo ascendente al descendente y 105½ años en terminar el viaje.



Here “A” denotes a transit at the ascending node, and “D” a transit at the descending node. We see that a complete transit cycle—the interval between the first transit of an “A” pair and the first transit of the following “A” pair—is 243 years.

1.19.5 Los tránsitos del Siglo XVIII:

La comunidad astronómica puso una gran fe en el método propuesto por Halley y para los tránsitos de Venus del siglo XVIII del 6 de Junio de 1761 y el 3 de Junio de 1769, fueron observados por muchos grupos en diversos lugares del mundo.

Curiosamente los preparativos para el primer tránsito fueron iniciados en Francia y no en Inglaterra; el gran mentor del tránsito fue Joseph Nicolas Delisle (1688-1768) astrónomo francés. Delisle estableció su observatorio en París en el Palacio de Luxemburgo. Fue desalojado por el Duque de Orleans que le cedió el palacio a su hija la Duquesa de Berry. Sólo después de doce años, a la muerte de la condesa pudo Delisle regresar a su observatorio. En 1718 obtuvo el nombramiento en la cátedra de matemáticas del Collège Royal en París. Pedro el Grande Zar de Rusia lo invitó a San Peterburgo para formar parte de la Academia de Ciencias de Rusia, donde permaneció por 22 años.

Delisle recalculó la circunstancia del tránsito de Halley encontrando un error en el cálculo del inglés que hacía que el tránsito fuese más alejado del centro del disco solar, por ende un tránsito más corto y con ello los lugares favorables para la observación cambiaban significativamente.

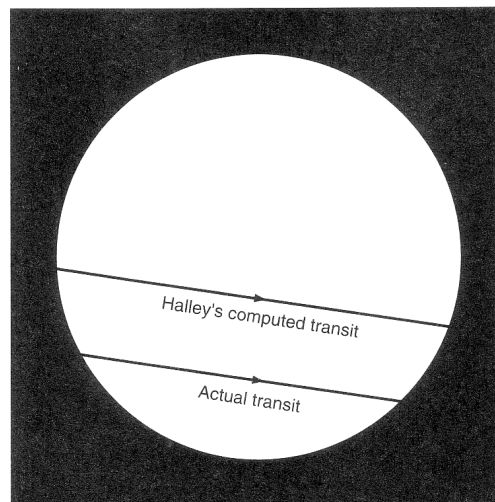


FIGURE 7.1 Halley's predicted versus actual path of the 1761 transit.

El tránsito de 1761 fue observable en el Asia, en las regiones polares boreales, en las islas de Australia sólo se vio el comienzo y en Europa sólo el fin del tránsito (el egreso). Pingré fue a la isla Rodrigues del océano Índico; Chappe d'Auteroche a Tobolsk en Siberia; Maskelyne a la isla de Santa Elena; Mason y Dixon al Cabo de Buena Esperanza; el padre Hell de Viena lo observó desde su observatorio en Viena; Le Gentil fue a la India.

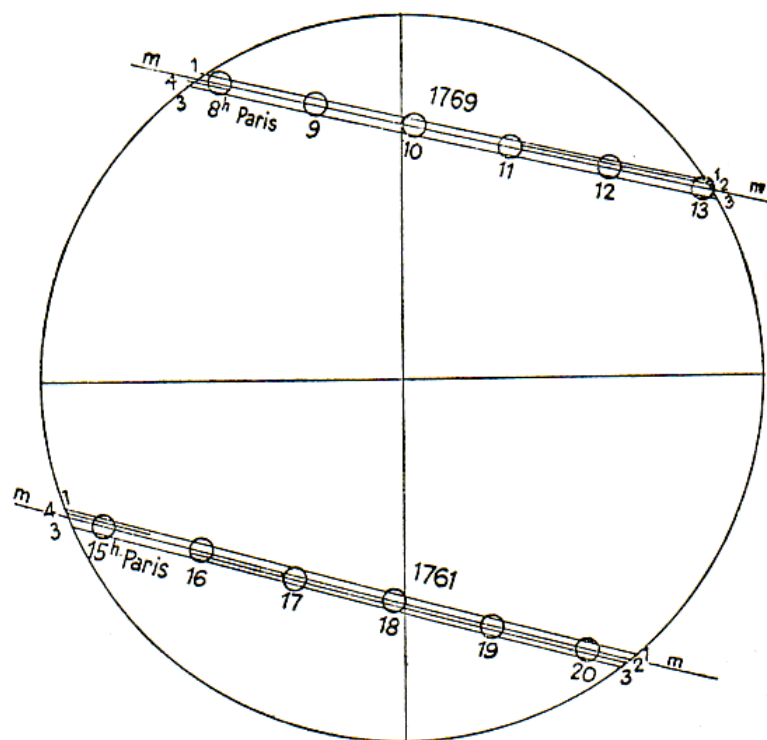


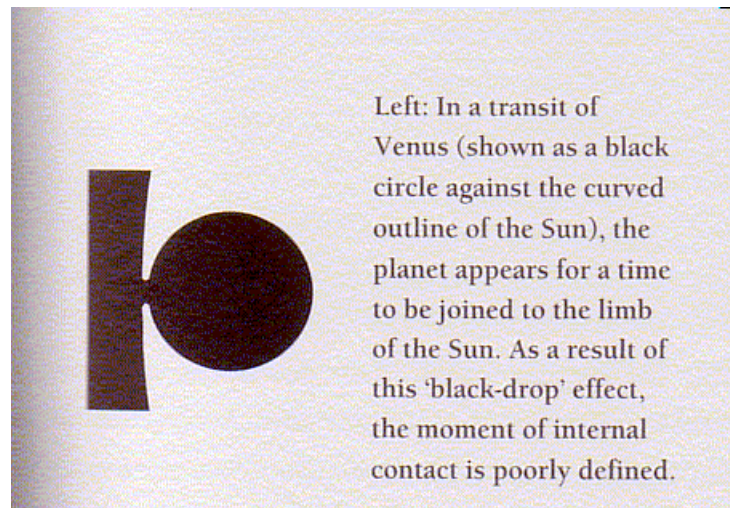
Fig. 29. Transit of Venus across the solar disc
m=track of the planet by its central point

1761: 1. Rodrigues 2. Paris 3. Tobolsk 4. Tahiti
1769: 1. Tahiti 2. Batavia 3. Vardö 4. Paris

Para el tránsito de 1769 fue un mayor número aún pues el tránsito era visible en el océano Pacífico, desde la parte occidental de América, el Polo Norte y la parte oriental del Asia. Chappe fue a California donde murió de una enfermedad contraída en el cumplimiento del deber. Pingré fue a Santo Domingo; Wales a la Bahía de Hudson; el Capitán Cook con algunos astrónomos, entre ellos Charles Green y su ayudante Joseph Banks, fueron a Tahití; varios observadores rusos se distribuyeron sobre Siberia; Hell fue a Vardö para ver el tránsito en el Sol de medianoche. Además astrónomos europeos y norteamericanos observaron el tránsito desde sus propios observatorios. Le Gentil volvió a intentarlo, sin éxito, desde Pondicherry, en la India.

Los resultados de los tránsitos fueron inferiores a las expectativas. El primer contacto no es fácil de definir pero eso era esperado. Sin embargo, el instante del segundo contacto que se suponía sería determinado con buena precisión (el momento en que el disco oscuro de Venus hace contacto interno con el limbo solar), resultó ser muy ambiguo pues se forma una conexión oscura entre ambos limbos que se corta cuando Venus ha avanzado una gran cantidad en el disco solar. El segundo contacto resulta incierto en mucho más que diez segundo para varios observadores en el mismo lugar. Por ello la precisión de la determinación del paralaje solar por el método de

Halley resultó ser inferior a lo esperado y apenas superó la precisión de la determinación de Cassini mediante observaciones de Venus y Marte. Utilizando los datos de diversos pares de observadores se obtuvieron en 1769 valor del paralaje solar entre 8,55" hasta 8,88". Pese a no ser tan bueno como se esperaba los valores antes señalados indican que el paralaje solar fue determinado con una precisión superior a lo conocido hasta esa época. Por ende se puede decir que, pese a todo, los tránsitos de Venus del siglo XVIII cumplieron plenamente con su objetivo.



En el tránsito de 1761 el científico ruso Mikhail Lomonosov notó el fenómeno de la *"gota negra"* y lo interpretó correctamente diciendo: *"El planeta Venus está rodeado de una considerable atmósfera, igual, si no mayor, que la que cubre la Tierra"*. Lomonosov estaba en lo cierto; Venus está rodeado de una gran atmósfera, que no contiene nitrógeno y oxígeno como la nuestra pero grandes cantidades de anhídrido carbónico (CO_2). La atmósfera terrestre contiene un 77% de N_2 y un 21% de O_2 en cambio la atmósfera de Venus contiene un 96% de CO_2 y un 3,5% de N_2 . La presión atmosférica a nivel de la superficie de Venus alcanza los 90 bares. La atmósfera de Venus contiene una gruesa y perenne capa de nubes que impide en todo momento tener acceso visual a la superficie del planeta.

Las diversas expediciones del siglo XVIII sufrieron toda clase de percances. Desde algunos astrónomos que perdieron la vida en su intento hasta otros que su esfuerzo resultó vano pues el día del tránsito estaba totalmente nublado. Eventos políticos hicieron que por ejemplo Le Gentil no pudiera desembarcar a tiempo en Pondicherry, en la India y se tuvo que conformar con observar el tránsito desde la cubierta de su barco, observación perfectamente inútil pues Le Gentil no pudo montar sus relojes y por ende el instante del tránsito no pudo ser medido. Franceses e ingleses se disputaban el puerto y cuando Le Gentil llegó había caído en manos inglesas. Le Gentil permaneció en la India y transcurridos varios años quiso quedarse hasta el siguiente tránsito, para el cual se preparó con toda la debida antelación. Sin embargo a última hora las nubes frustraron las aspiraciones de Le Gentil. Cansado y con las manos vacías regresó a Francia, pero en ruta a Europa naufragó dos veces y

finalmente llegó a Cádiz y se desplazó por tierra a París, onces años después de haber salido de Francia, para encontrarse que hacía unos meses sus familiares habían logrado declararlo legalmente muerto y se habían repartido su fortuna. Con ello Le Gentil junto con Chappe y Charles Green son algunos de los muchos héroes que hicieron de los tránsitos de Venus una magna epopeya en el siglo XVIII.

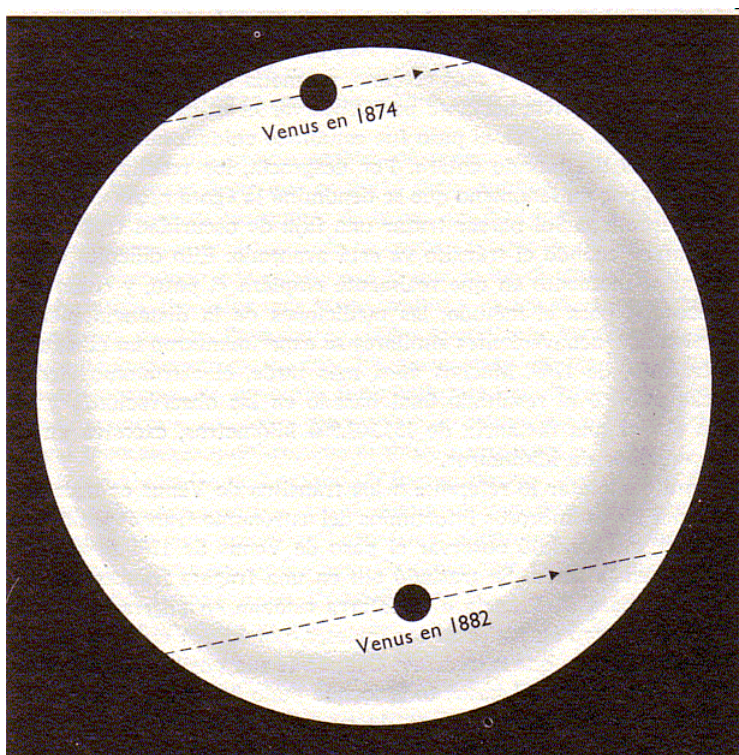


LA GOTA NEGRA. A causa de este fenómeno pierde precisión el método de calcular la distancia al Sol por medio de los pasos de Venus

Tantos fueron los datos acumulados por los diversos observadores en estos dos tránsitos de Venus que no era posible combinar adecuadamente todos los datos para deducir un valor del paralaje solar. Sólo cuando el gran matemático F. Gauss inventa la teoría de los cuadrados mínimos, en 1804, fue posible obtener una respuesta coherente de los tránsitos de Venus del siglo XVIII. El valor del paralaje calculado por Encke, en 1835 solar resulta ser de $8,57116'' \pm 0,0371''$ con lo cual se sobre estima el valor de la unidad astronómica de distancia, que resulta ser 153,5 millones de kilómetros [el valor del paralaje de Encke se puede escribir en forma más sobria como $8,57'' \pm 0,04''$]. El valor moderno, obtenido por técnicas de radar aplicadas a Venus y Marte, es de 149.600.000 kilómetros que produce un paralaje solar de $8,80''$ [los valores más exactos son: $8,7940''$ y $149.597.870,691 \pm 0,030$ kilómetros].

1.19.6 Los tránsitos del Siglo XIX:

Los tránsitos de Venus del siglo XIX no aportaron mayormente a mejorar el valor del paralaje solar. El de 1882 fue observado en el norte chileno por astrónomos del Observatorio Astronómico Nacional y por delegaciones extranjeras, principalmente franceses y norteamericanos.

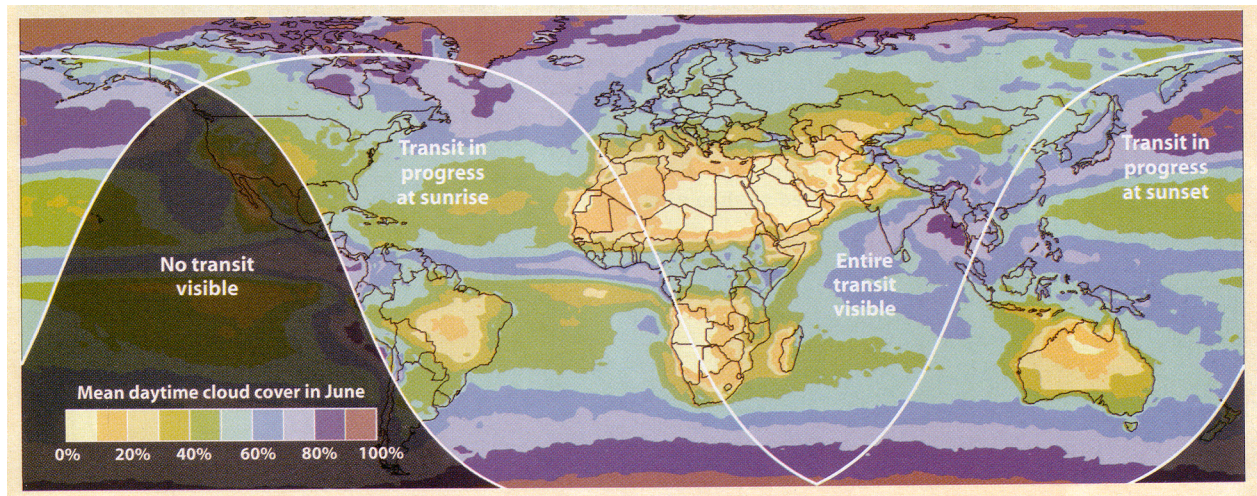


1.19.7 Los tránsitos del Siglo XXI:

El tránsito de Venus del 8 de junio del 2004 fue observable solamente en Europa y Asia, siendo invisible desde Chile (ocurrió cuando en Chile era de noche; empezó a la 1 a.m. hora chilena y terminó algo después de la 7 a.m., cuando aún el Sol no salía en Santiago). Sólo del extremo norte de nuestro país fue posible observar el Sol saliendo con Venus camino al cuarto contacto. Esto fue posible desde Antofagasta hacia el norte.

Para el tránsito del 2012 tampoco tendremos suerte ya que el tránsito ocurrirá sobre el océano Pacífico, con lo cual tendremos una oportunidad de observar el primer contacto desde la zona norte del país. El primer contacto ocurrirá como a las 6:30 p.m. cuando el Sol ya se puso en la mayor parte del territorio, excepto por el extremo norte y la isla de Pascua.

Las técnicas de radar han dejado obsoleto el método de Halley para medir la paralaje solar, por lo cual ya no viajarán los astrónomos ni para el presente año ni para el 2012, como sí lo hicieron en el siglo XVIII. Tratándose de un fenómeno de tan rara ocurrencia sin duda concitará el interés de la comunidad científica, pero dentro de los varios intereses no estará el de re-determinar la paralaje solar.



Mapamundi que muestra el tránsito de Venus del 8 de Junio del 2004.

TABLE 1. Transits of Mercury 1900–2100

1907 Nov 14	1957 May 6	2003 May 7	2052 Nov 9
1914 Nov 7	1960 Nov 7	2006 Nov 8	2062 May 10
1924 May 8	1970 May 9	2016 May 9	2065 Nov 11
1927 Nov 10	1973 Nov 10	2019 Nov 11	2078 Nov 14
1937 May 11	1986 Nov 13	2032 Nov 13	2085 Nov 7
1940 Nov 11	1993 Nov 6	2039 Nov 7	2095 May 8
1953 Nov 14	1999 Nov 15	2049 May 7	2098 Nov 10

Después de los tránsitos del 2004 y 2012 vendrán los tránsitos del 2117 y del 2125, tránsitos que verán nuestros nietos o bisnietos.

*Times of the Transit of June 8, 2004,
for Some Major Cities*

<i>City</i>	<i>Ingress</i>		<i>Midtransit</i>	<i>Egress</i>	
	t_1	t_2	t_m	t_3	t_4
Beijing	05:13:10	05:32:21	08:15:00	10:59:22	11:18:58
Berlin	05:19:40	05:39:27	08:22:04	11:03:25	11:22:53
Bombay	05:16:13	05:35:11	08:18:38	11:02:31	11:21:36
Buenos Aires	—	—	—	11:13:34	11:32:48
Chicago	—	—	—	11:05:14	11:25:18
Jerusalem	05:19:28	05:38:52	08:22:02	11:04:07	11:23:16
London	05:19:52	05:39:45	08:22:40	11:04:03	11:23:34
Moscow	05:18:48	05:38:26	08:20:34	11:02:04	11:21:32
New York	—	—	—	11:05:52	11:25:50
Paris	05:19:59	05:39:51	08:22:50	11:04:14	11:23:43
Rio de Janeiro	—	—	—	11:13:04	11:32:14
Rome	05:20:09	05:39:53	08:22:59	11:04:31	11:23:51
Sydney	05:07:20	05:26:07	—	—	—
Teheran	05:18:25	05:37:43	08:20:26	11:02:42	11:21:54
Tokyo	05:11:12	05:30:26	08:13:44	—	—
Toronto	—	—	—	11:05:19	11:25:21

Notes and Sources: I am indebted to Fred Espenak, of NASA's Goddard Space Flight Center, for supplying me with these figures. All times in this table are Universal Times (UT), the astronomical equivalent of Greenwich Mean Time. t_1 and t_2 are the contact times at *ingress*, the moments when Venus first enters onto the sun's disk and when it has fully entered onto it, respectively. t_3 and t_4 are the corresponding times at *egress*, when Venus is about to leave the sun. t_m is the time of midtransit, the moment of closest approach to the sun's center.

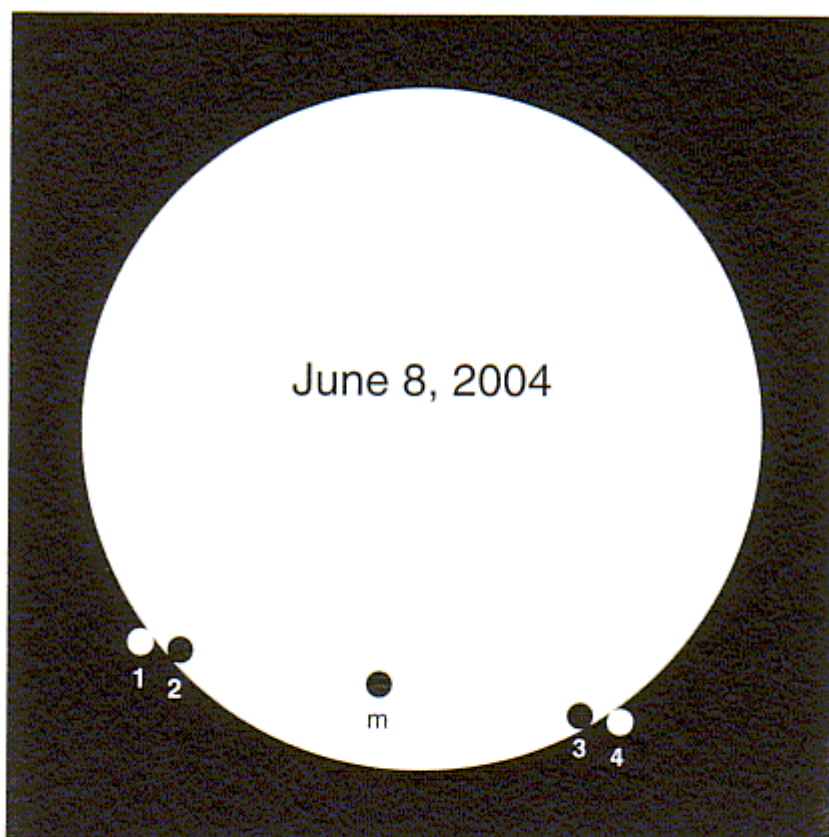


FIGURE 12.1 Passage of Venus in front of the sun, June 8, 2004. “m” stands for mid-transit.

TABLE 2. Transits of Venus 1500–2500

1518 May 26	1874 Dec 9	2247 Jun 11
1526 May 23	1882 Dec 6	2255 Jun 9
1631 Dec 7	2004 Jun 8	2360 Dec 13
1639 Dec 4	2012 Jun 6	2368 Dec 10
1761 Jun 6	2117 Dec 11	2490 Jun 12
1769 Jun 3	2125 Dec 8	2498 Jun 10

Fecha de tránsito de Venus	Tiempo Universal en la mitad del tránsito	Tiempo Oficial en la mitad del tránsito
7 Dic 1631	5:19	
4 Dic 1639	18:26	
6 Jun 1761	5:19	
3 Jun 1769	22:25	
9 Dic 1874	4:07	
6 Dic 1882	17:06	
8 Jun 2004	8:20	4:20
6 Jun 2012	1:28	21:28*
11 Dic 2117	2:48	23:48*
8 Dic 2125	16:01	13:01

El tránsito del 2012 empezará aproximadamente a las 18:28 minutos hora oficial de Chile del día 5 de Junio. A esa hora el Sol se ha puesto en la mayor parte del territorio, excepto en el extremo norte y la isla de Pascua. El tránsito se podrá observar muy bien en Tahiti, Hawai, Nueva Zelanda y Australia. Sólo en tránsito del 2125 podrán observarlo los chilenos sin moverse de su tierra pues empezará a eso de las 10 a.m. y terminará a las 16:00 horas. Lástima que queda algo muy distante para esperar. Habrá que viajar el 2012.

Bibliografía:

D.E. Fernie, *"The Whisper and the Vision. The Voyages of the Astronomers"*, Clarke, Irwin & Co., Toronto, 1976.
E. Maor, *"June 8, 2004. Venus in Transit"*, Princeton University Press, 2000
A. Pannekoek, *"A History of Astronomy"*, Dover, N. York, 1989.
P. Moore, *"Astronomía"*, Editorial Vergara, Barcelona, 1963.