

Tránsito de Venus del 8 del junio de 2004

1. Introducción

El próximo martes 8 de junio nuestro vecino planeta Venus pasará por delante del disco solar. Este suceso será realmente espectacular y único: ninguna persona viva ha visto un tránsito de Venus, puesto que la última vez que ocurrió fue en 1882, hace 122 años. En total, durará unas seis horas, aunque desde nuestra posición en la Tierra no podremos verlo completo. Podrá seguirse desde Europa, Asia, África y Australia. El próximo tránsito de Venus (que será en 2012) no podrá observarse desde España, por lo que realmente será difícil tener otra oportunidad mejor en nuestra vida para poder observar un fenómeno de estas características.

Hace poco me comentaban que “siempre pasa algo especial en el cielo que sólo sucede cada mucho tiempo”: la oposición de Marte del año pasado era la mejor en 200 años, la lluvia de estrellas de las leónidas de 2001 no se volvería a repetir en al menos 33 años o la espectacularidad de los cometas Hale-Bopp o Hyakutake será irreplicable. Pero el tránsito de Venus es algo, en mi opinión, bastante excepcional. Científicamente hablando, la observación de los tránsitos de Venus en los (pocos) siglos pasados fueron de vital importancia para la comprensión del Universo en el que nos encontramos. ¿Por qué tanto revuelo por un “eclipse de Venus sobre el Sol”? Porque sólo así se ha podido conocer la distancia de la Tierra al Sol y la masa de éste. Sin estos datos, como iré desgranando a lo largo del presente artículo, la astrofísica actual no existiría.

Por supuesto que ya no tiene “utilidad práctica” inmediata observar un tránsito de Venus para los científicos actuales: se conoce con bastante exactitud la distancia mínima a este planeta por lo que, ¿para qué observarlo? ¿Qué interés tiene? (así de claro me lo dijo un compañero del IAC hace unos días). Desde el punto de vista divulgativo y educativo, tiene un valor enorme. Se puede aprender mucha astronomía, física y matemáticas estudiando un tránsito, siendo el objetivo final determinar la unidad astronómica y la masa del Sol midiendo los tiempos de contacto de Venus con el disco solar. Lo realmente increíble del tema es que los conocimientos para hacerlo, la base esencial, la tienen actualmente (bueno, se supone que deberían) los estudiantes de secundaria. Por ese motivo se han creado varios proyectos educativos internacionales dirigidos a estudiantes de secundaria y bachillerato, pero en los que también participan astrónomos aficionados, estudiantes de universidad y científicos a los que les gusta la divulgación. Posiblemente, el más importante de ellos es el organizado por el Observatorio Europeo Austral (European Southern Observatory, ESO). Recomiendo muy encarecidamente pasarse por la página de internet del **Proyecto Tránsito de Venus 2004 (VT-2004)**:

<http://www.vt-2004.org>

donde podréis obtener mucha información sobre el fenómeno para distintos niveles, material didáctico, fotos y animaciones. La única pega es que está en inglés, aunque en el fondo también sirve para “practicar idiomas”: el proyecto tiene el aliciente de que es necesaria la colaboración entre otros países del mundo para conseguir la distancia a Venus. No sirve de nada las medidas que consigan en un único lugar: es necesario comparar los tiempos con otras observaciones realizadas en otros lugares de la Tierra, contra más lejos mejor. Para el caso de observaciones en España, lo mejor es conseguir los datos de algún amigo en Australia. Para los que no os guste el inglés, podéis consultar la versión en español del proyecto, liderado por el **Planetario de Pamplona**:

<http://www.venus04.org/>

aunque algunos enlaces siguen estando en inglés. Incluso se espera poder seguir el tránsito vía-web para todos aquellos que no puedan escaparse a observarlo. Esta iniciativa también la realizarán otros parques científicos y universidades, como la Universidad de Barcelona y la Universidad Complutense de Madrid, quienes ya hicieron algo similar con el tránsito de Mercurio del 7 de mayo del año pasado. La Universidad de la Laguna, en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Canarias, también realizará la transmisión del tránsito de Venus por internet (actividad en la que me encuentro involucrado).

2. La rareza de un tránsito de Venus

Sólo se pueden observar pasos de planetas por delante del Sol cuando se encuentran más cerca de éste que la Tierra. Por lo tanto, sólo Mercurio y Venus pueden provocar tránsitos. Los de Mercurio son más frecuentes, cada siete años aproximadamente, porque el periodo de Mercurio alrededor del Sol es de sólo 88 días. El último sucedió el pasado 7 de mayo de 2003, El siguiente será el 8 de noviembre de 2006 pero tampoco será observable desde España. Los tránsitos de Venus son tan raros (4 cada 243 años) porque las órbitas de la Tierra y Venus no están en el mismo plano (tienen una diferencia de 3.4°): sólo cuando Venus se encuentra cerca de la eclíptica (el plano que forma la órbita de la Tierra en torno al Sol) puede producirse un tránsito. La física es la misma que los eclipses de Sol y de Luna: sólo cuando la Luna corta al plano de la eclíptica puede producirse un eclipse (¡qué lío de nombres!). El corte de ambos planos (eclíptica-órbita luna o eclíptica-órbita de Venus) se denomina línea de los nodos. Los nodos de la órbita de Venus se sitúan a principios de junio y de diciembre: únicamente cuando Venus tiene su conjunción (su punto más cercano al Sol, por lo tanto, corte con la eclíptica) en estos momentos tendremos un tránsito. Y como Venus tarda 225 días en darle una vuelta al Sol mientras que la Tierra lo hace en 365 días, haciendo las cuentas con todos los decimales (se deja como ejercicio) encontramos que suceden a pares: dos cada ocho años, esperamos 120 añitos de nada y tendremos otros dos tránsitos también separados en 8 años. El 6 de junio de 2012 será el próximo tras el que ahora nos ocupa, pero hasta diciembre de 2117 y diciembre de 2125 no ocurrirá la pareja siguiente (o avanza mucho la medicina o me temo que ninguno de nosotros llegaremos a entonces). La anterior pareja de tránsitos ocurrieron en diciembre de 1874 y diciembre de 1882 (*figura 1*).

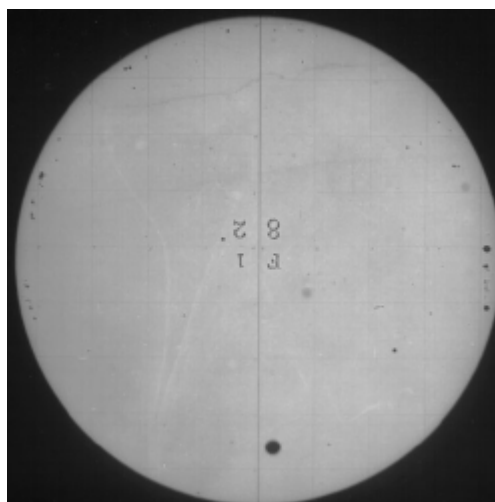


Figura 1. Tránsito de Venus del 6 de diciembre de 1882, observado por un grupo de científicos de Estados Unidos desde Santiago de Chile. Es una de las pocas fotografías que han sobrevivido de esta expedición. Recaltar el tamaño aparente de Venus sobre el disco solar

3. El paralaje

Es la herramienta básica para el cálculo y muy fácil de comprender. Hagamos un rápido experimento: extiende una mano y levanta un dedo a cierta distancia de tus ojos. Cierra el ojo izquierdo y fíjate en la posición que tiene tu dedo con respecto al fondo de la habitación. Ahora hazlo cambiando de ojo. ¿Qué ocurre? Sí, durante unos instantes no podrás evitar dejar de parpadear en un sentido y otro. El dedo parece desplazarse sobre el fondo. Midiendo el ángulo desplazado y sabiendo la distancia entre los dos ojos, por simple trigonometría se puede conseguir la distancia a tu dedo. Has hecho "paralaje" con tus ojos. Fíjate que si colocas el dedo más cerca tuya, el ángulo será mayor y a la inversa. A menor paralaje, mayor distancia.

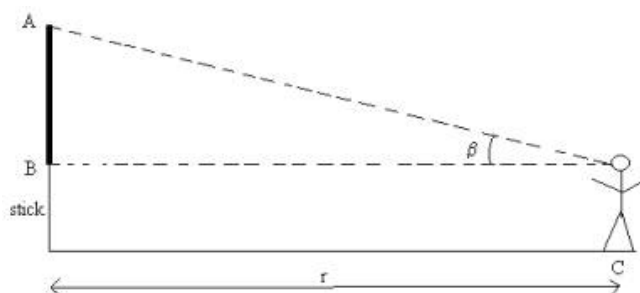


Figura 2. Diagrama típico para calcular la altura de un árbol mediante trigonometría

Es más común encontrar el problema siguiente en matemáticas. Un palo (o árbol, edificio, etc) tiene una altura AB (ver *figura 2*) con respecto a nuestra visual. Nosotros, C , estamos a una distancia r y medimos un ángulo b entre el extremo A y el punto B . Por trigonometría elemental (definición de tangente), sabemos la siguiente relación:

$$\tan b = \frac{\overline{AB}}{r}$$

por lo que la altura del palo será, despejando:

$$\overline{AB} = r \cdot \tan b$$

Imagínate ahora que A es una posición en la Tierra y B su antípoda (el punto diametralmente opuesto). La distancia AB será el diámetro de la Tierra. El punto C es Venus. Aplicando lo mismo que antes, tenemos que la distancia Venus mediante paralaje geocéntrico es:

$$r = \overline{AB} / b \quad (1)$$

donde hemos usado que para ángulos muy pequeños se puede aproximar directamente la tangente del ángulo por el propio ángulo, escribiendo el ángulo en radianes, ojo. ¿Y cómo sacamos la distancia de la Tierra al Sol? Usando la Tercera Ley de Kepler, que relaciona los periodos de las órbitas de los planetas con su distancia al Sol. Pero veámoslo más detenidamente. Si no te dan miedo los cálculos matemáticos sigue leyendo. Si no tienes ganas de pensar, salta directamente al punto 6.

4. Cómo calcular la distancia Tierra-Sol mediante un tránsito de Venus: Método sencillo

Supongamos dos observadores en la Tierra situados en dos posiciones, A y B, en el mismo meridiano (esto es, su longitud es la misma), pero a distinta latitud. Venus aparecerá como un disco sobre la cara del Sol en dos puntos distintos, A' y B', porque las líneas de visión de los observadores A y B son ligeramente diferentes. Juntando las dos observaciones realizadas exactamente a la misma hora (en Tiempo Universal) veremos de forma más clara el desplazamiento debido al paralaje (*figura 3*).

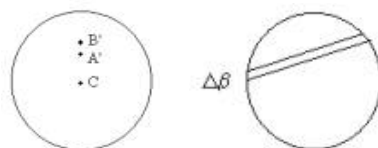


Figura 3: Dos observaciones simultáneas A' y B' del tránsito de Venus desde distintas latitudes de la Tierra nos mostrará un desplazamiento con respecto al centro del disco solar, C.

Dicho desplazamiento Δb es el paralaje a Venus

Sin embargo, la forma más clara para medir este desplazamiento (y que no necesitaría, en este caso particular, del conocimiento del tiempo) es conseguir el movimiento de Venus sobre el disco solar durante todo el tránsito. Conseguiríamos una línea recta como la que vemos en la *figura 4*. Superponiendo el disco del Sol, podemos encontrar el paralaje Δb entre las dos observaciones.



Figura 4. Recorrido del Mercurio sobre el disco solar durante el tránsito de 2003. La trayectoria del planeta será distinta para distintas latitudes (y longitudes).

Supongamos el plano definido por tres puntos: el centro de la Tierra, O, el centro del Sol, C, y el centro de Venus, V. Si los dos observadores están en el mismo meridiano en los lugares A y B, sus imágenes de Venus estarán en los puntos A' y B' del disco solar. En realidad, los centros de la Tierra, Venus y el Sol no están en el mismo plano (ver *figura 5*, pero este supuesto nos simplifica bastante el problema matemático. Los triángulos APV y BPC tienen el mismo ángulo en el punto P, por lo que la suma de los otros dos ángulos debe ser la misma en cada triángulo. Siguiendo la notación de la *figura 5*:

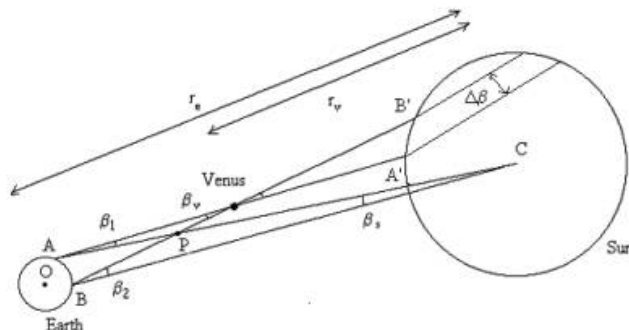


Figura 5. Esquema básico del problema matemático de un tránsito en las condiciones más sencillas.

$$b_v + b_1 = b_s + b_2,$$

por lo que

$$b_v - b_s = b_2 - b_1 = Db$$

Como hemos dicho, este Db mide la separación del paso de Venus sobre el Sol. La ecuación anterior también se puede escribir así:

$$Db = b_s ((b_v / b_s) - 1) \quad (2)$$

Ahora, tomemos que r_e es la distancia Tierra-Sol (la Unidad Astronómica), mientras que r_v es la distancia Venus-Sol. El paralaje de Venus, β_v , se puede escribir usando lo que hemos visto en la sección anterior (ecuación 1) así:

$$b_v = \frac{\overline{AB}}{r_{Tierra-Venus}} = \frac{\overline{AB}}{r_e - r_v}$$

donde hemos usado que la suma entre la distancia del Sol a Venus más la distancia de la Tierra a Venus es la distancia de la Tierra al Sol (sólo válido durante un tránsito y bajo las condiciones actuales porque los tres cuerpos están alineados). De la misma manera, tendremos la relación siguiente para el paralaje solar β_s :

$$b_s = \frac{\overline{AB}}{r_e} \quad (3)$$

por lo que dividiendo las dos últimas expresiones eliminamos la distancia entre A y B:

$$\frac{b_v}{b_s} = \frac{r_e}{(r_e - r_v)}$$

Substituyendo esto en (2) tenemos

$$\Delta b = b_s \left[\left(\frac{r_e}{(r_e - r_v)} \right) - 1 \right] = \frac{b_s r_v}{(r_e - r_v)}$$

Despejando el paralaje solar:

$$\mathbf{b}_s = \Delta \mathbf{b} \left(\frac{r_e}{r_v} - 1 \right) \quad (4)$$

Recuerda que $\Delta \mathbf{b}$ sigue siendo la separación entre las dos líneas. Podemos calcular el cociente r_e / r_v usando la **Tercera Ley de Kepler**: los períodos de revolución (T) al cuadrado entre el semieje mayor (r) al cubo de un planeta es una constante:

$$\frac{T_{\text{planeta}}^2}{r_{\text{planeta}}^3} = cte$$

(La constante tiene que ver con la masa del Sol, despreciando la masa del planeta. En realidad es: $cte = \frac{4p^2}{G(M_{\text{sol}} + m_{\text{planeta}})}$, siendo G el valor de la constante de gravitación, pero esto es un resultado de la Ley de Gravitación Universal de Newton). Igualando para los casos de Venus y la Tierra:

$$\frac{T_e^2}{r_e^3} = \frac{T_v^2}{r_v^3}$$

Observacionalmente, sabemos que los períodos de revolución de la Tierra y Venus en torno al Sol son 365.25 días (un año) y 224.7 días, respectivamente. Por lo tanto

$$\left(\frac{r_e}{r_v} \right)^3 = \left(\frac{T_e}{T_v} \right)^2 = \left(\frac{365.25}{224.7} \right)^2$$

Haciendo el calculillo, queda $r_e / r_v = 1.38248$. Introducimos este valor en la expresión del paralaje solar (4) y operamos, quedando:

$$\mathbf{b}_s = 0.38248 \Delta \mathbf{b}$$

Finalmente, usando la definición de paralaje (3), tenemos de forma directa la distancia de la Tierra al Sol, la tan ansiada Unidad Astronómica:

$$r_e = \frac{\overline{AB}}{0.38248 \Delta \mathbf{b}} \quad (5)$$

Por lo tanto, conociendo la distancia entre A y B y midiendo el paralaje tenemos resuelto el problema. Suponiendo que los dos puntos están en el mismo meridiano pero a latitudes j_1 y j_2 , siendo R el radio de la Tierra y usando la *figura 6* podemos ver que cualquiera de los dos triángulos rectángulos que aparecen al dividir el triángulo isósceles RAB cumple que

$$\text{sen}((j_1 + j_2) / 2) = (\overline{AB} / 2) / R$$

por lo que la distancia entre A y B será

$$\overline{AB} = 2R \text{sen}((j_1 + j_2) / 2) \quad (6)$$

Pero cuidado: esta expresión sólo es válida si los observadores están en distinto hemisferio. Si la observación ocurre en el mismo hemisferio, los ángulos j_1 y j_2 deben restarse. El método también es válido para dos posiciones en longitudes suplementarias (tomando los dos ángulos

con signo positivo, su suma vale 180° porque, en realidad, están en el mismo meridiano, pero entonces el ángulo que debe estar dentro del seno en (6) sería

$$j = (90 - j_1) + 90 + j_2$$

Por ejemplo, en el caso de España (más particular, Córdoba $j_1 = -4.2^\circ$) serviría este método utilizando medidas en la isla Norte de Nueva Zelanda ($j_2 = -175.8^\circ$), pero desgraciadamente el tránsito de 2004 no es visible desde esa posición.

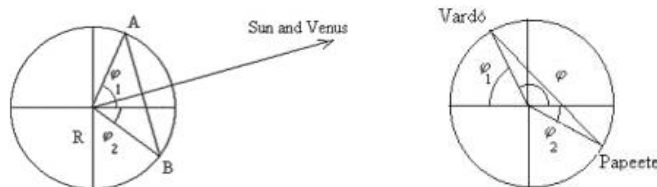


Figura 6. Diagrama para calcular la distancia entre las posiciones A y B de la Tierra, supuestamente situadas en el mismo meridiano (longitud) pero a distinta latitud. El diagrama de la izquierda es válido sólo para observaciones en distintas latitudes a la misma longitud y cumple la ecuación (6). El diagrama de la derecha, representando los lugares que se indican en el ejemplo 1, tiene una configuración distinta porque aunque las observaciones están en el mismo meridiano, se sitúan en longitudes suplementarias.

Como última nota al método, apuntar que la mejor forma para medir $\Delta\beta$ es superponiendo en un papel el disco del Sol y las dos observaciones. Si el diámetro del disco es D, tendremos la proporción siguiente:

$$\frac{\Delta b}{30'} = \frac{\overline{A'B'}}{D}$$

Recuerda que $\Delta\beta$ debe medirse en radianes y no en grados, por lo que lo anterior quedaría así:

$$\Delta b = \frac{p}{360} \frac{\overline{A'B'}}{D} \quad (7)$$

Ejemplo 1:

Este método se usó para el tránsito de 1769. Usando las observaciones de dos equipos, uno en **Bardo** (Laponia) y otro en **Papeete** (Tahití) con latitudes $j_1 = 70^\circ 21' N$ y $j_2 = 17^\circ 32' S$ y longitudes suplementarias, se midió que si se proyectaba el disco solar con un tamaño de 70 mm, el paralaje entre ambas posiciones (la diferencia entre las líneas de las trayectorias de Venus en cada lugar) era de 1.5mm. Con estos datos, se encontró que la Unidad Astronómica era de $r_e = 157$ millones de kilómetros. ¿Te salen las cuentas?

5. Un método más preciso y más complicado, pero también aproximado

No nos pararemos a demostrarlo, lo tomaremos como acto de fe. Definiendo el paralaje medio solar, p_0 , como el ángulo subtendido desde el centro del Sol por el radio ecuatorial de la Tierra, R, cuando la distancia entre ambos es exactamente una unidad astronómica, a (recuerda que las órbitas de los planetas son elípticas),

$$\text{sen } p_0 = \frac{R}{a},$$

Mejorando el diagrama de la Figura 5, se puede llegar, tras muchos cálculos, a la expresión:

$$[A(\cos j_1 \cos I_1 - \cos j_2 \cos I_2) + B(\cos j_1 \text{sen} I_1 - \cos j_2 \text{sen} I_2) + C(\text{sen} j_1 - \text{sen} j_2)] p_0 = -\frac{dD}{dt} \Delta t_i$$

donde j representa la latitud y I la longitud de los dos puntos (1 y 2) desde donde se efectúan las observaciones y Dt_i representa la diferencia de tiempos de uno de los contactos (el contacto con índice i). Los parámetros A , B , C y dD/dt están tabulados para cada contacto. Los indico en la *tabla 1*. La expresión anterior se conoce como **Método de Delisle**, pero se puede obtener una similar teniendo en cuenta los tiempos entre varios contactos (**Método de Halley**):

$$\left[\begin{array}{l} (A_i + A_j)(\cos j_1 \cos I_1 - \cos j_2 \cos I_2) + \\ (B_i + B_j)(\cos j_1 \sin I_1 - \cos j_2 \sin I_2) + \\ (C_i + C_j)(\sin j_1 - \sin j_2) \end{array} \right] p_0 = -\frac{dD}{dt} \Delta T_{(i_1-j_1)-(i_2-j_2)}$$

i y j son los índices relacionados con los contactos. Por ejemplo, $i=2$ y $j=3$ representan justo el segundo y tercer contacto, siendo Dt la diferencia de tiempo del tránsito interno de Venus. Y que conste que esto sigue siendo un método aproximado. Para hacerlo de forma precisa se tienen que tener en cuenta todavía más parámetros, como que las órbita elípticas de la Tierra y Venus cambian debido a interferencias gravitatorias entre otros cuerpos, que la Tierra es en realidad el sistema Tierra-Luna o que existen los movimientos adicionales de precesión y nutación.

Descripción del contacto	A	B	C	dD/dt "/min
Primer contacto exterior (índice 1)	2.2606	-0.0194	1.0110	-3.0846
Primer contacto interior (índice 2)	2.1970	0.2237	1.1206	-2.9394
Último contacto interior (índice 3)	-1.0929	-1.1376	1.9090	2.9391
Último contacto exterior (índice 4)	-0.9799	-1.3390	1.8383	3.0842

Tabla 1: Parámetros necesarios para los cálculos según los métodos de Halley y Delisle. Sólo son válidos para el tránsito de Venus del 8 de junio de 2003.

Ejemplo 2:

Supongamos que dos observadores registran estos datos:

- Ciudad nº1 : **Antananarivo** ($f_1 = 18^\circ 52' S$ y $?_1 = 47^\circ 30' E$)
 Hora del segundo contacto (índice 2) : $t_2 = 5h 35m 30s UT$.
 Hora del tercer contacto (índice 3) : $t_3 = 11h 8m 4s UT$
 Duración observada del tránsito (interno): 5h 32m 34s.
- Ciudad nº2 : **Helsinki** ($f_2 = 60^\circ 08' N$ y $?_2 = 25^\circ 03' E$)
 Hora del segundo contacto (índice 2) : $t_2 = 5h 38m 38s UTC$
 Hora del tercer contacto (índice 3) : $t_3 = 11h 2m 20s UT$
 Duración observada del tránsito (interno): 5h 23m 42s.

Usando el método de Delisle para el segundo contacto se obtiene que el paralaje medio solar es $p_0 = 8.945'$, mientras que con el método de Halley se obtiene $p_0 = 8.822'$. ¿Eres capaz de hacerlo tú? ¿Cuál es entonces el valor de la Unidad Astronómica? Recuerda que longitudes al Este son negativas.

6. Equipo a usar

Los métodos de observación de un tránsito son los mismos que los usados normalmente al observar el Sol o un eclipse. Os remito directamente al artículo anterior de Gema Araujo o a consultar su estupenda página web:

<http://astrosurf.com/obsolar>

El más seguro es la proyección de la imagen en una pantalla blanca. Este procedimiento puede hacerse incluso con unos prismáticos. Colocando una cartulina blanca a cierta distancia, podemos dibujar el disco del Sol e ir anotando directamente la posición de Venus según se va moviendo delante del astro-rey. Es algo muy simple, con cualquier instrumento se puede hacer. Esta técnica tiene la ventaja añadida de que varias personas pueden ver a la vez el tránsito. Dos recomendaciones adicionales: colocar un ocular de poco aumento, para que tengamos el disco del Sol completo y tapar cada poco tiempo la entrada de luz en el objetivo: la concentración de luz puede romper alguna lente (os aseguro que muchas lentes morirán ese día, al igual que ocurre durante los eclipses).

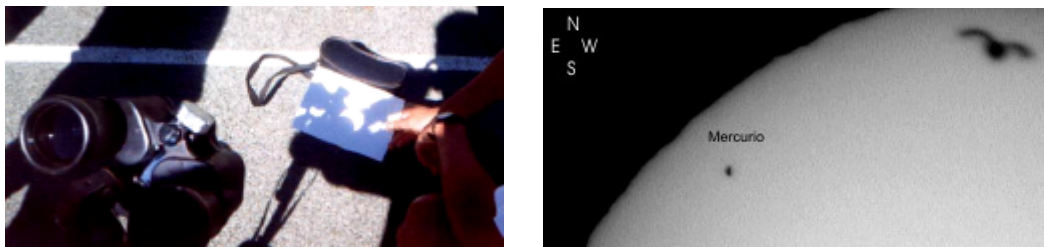


Figura 7. Dos ejemplos de observación solar. A la izquierda, proyección en una pantalla blanca y usando unos prismáticos del eclipse de sol del 11 de agosto de 1999, por Lola Morales y Ángel López. Es el método más sencillo, ¡pero practica antes!. A la derecha, imagen obtenida por Gema Araujo del tránsito de Mercurio del 7 de mayo de 2003, a las 9:54 T.U., usando un telescopio refractor de 60 mm de abertura, sin seguimiento, un filtro Mylar colocado en el objetivo y una webcam. Se cruzó un pájaro.

Aún hay que ser más precavido si lo que usamos es un filtro colocado en el ocular del telescopio: es una técnica peligrosa, sobre todo porque suelen ser los que vienen con telescopios que no son de calidad y estallan muy pronto.

No obstante, la opción actualmente más extendida entre astrónomos aficionados es usar un filtro Mylar delante del telescopio, sobre todo si vamos a usar algún instrumento (cámara de fotos, CCD, cámara digital o webcam) para recoger los datos.

Algunas recomendaciones adicionales son: decide pronto el equipo definitivo que vas a usar (combinación de filtro+telescopio+ocular+cámara) y la técnica que emplearás. Comprueba que tienes todo lo necesario semanas antes. Ensaya durante varios días la obtención de datos, no lo dejes todo para el último día para que no haya desagradables sorpresas de última hora. Y ten en hora el reloj para medir los contactos.

Una última curiosidad: como el diámetro aparente de Venus será de cerca de un minuto de arco (1/32 parte del disco solar, aproximadamente), podremos verlo también a simple vista, siempre que usemos las gafas de seguridad oportunas (las mismas que se usan para ver eclipses). Aún estás a tiempo de conseguirlas o hacerte unas utilizando una lámina de Mylar (las de tamaño A4 cuestan unos 30 €, pueden salir unas 16 gafas con este tamaño).

7. ¿Cómo hacer las observaciones?

Lo primero que tenemos que tener claro es el lugar en el que vamos a observar el tránsito. Necesitamos las coordenadas geográficas de la latitud y longitud para que nuestros datos sean de utilidad. Existen varias formas de conseguir estos datos:

- Lo tradicional, esto es, usando mapas cartográficos de la zona y fijar con la máxima precisión posible la longitud y la latitud. El problema principal es que, al menos que usemos mapas con alta resolución y sepamos determinar realmente nuestra posición, el error en nuestras coordenadas será relativamente grande.
- Una buena opción, sobre todo si vamos a hacerlo desde un pueblo o ciudad, es consultar la página web <http://www.heavens-above.com>. Este lugar contiene una sorprendente y precisa base de datos de ... ¡más de dos millones de localidades! de todo el mundo. Como curiosidad, la aldea "Medinilla del Campo" (provincia de Córdoba) aparece listada.

- Aunque, por supuesto, lo más cómodo es tener un GPS (Sistema de Posicionamiento Global, Global Positioning System), llevarlo con nosotros y leer los valores que aparecerán en la pantalla. Es muy útil, además, porque nos proporciona el tiempo con total precisión. Como aviso, no olvides las pilas de repuesto.

Por otro lado, debemos equiparnos de un reloj con precisión de, al menos, 1 segundo puesto en hora en Tiempo Universal. El paso de Hora Civil (tiempo local) a Tiempo Universal no es complicado: sólo hay que restar dos horas, en horario de verano y en la Península. Para Canarias, hay que restar una hora al tiempo que marca nuestro reloj. Podemos conseguir el tiempo local con los boletines diarios de RNE, con las páginas de teletexto de TVE, llamando al número 093 de Telefónica o consultado alguna página oficial en internet, como la siguiente dirección del Observatorio Naval de Estados Unidos (USNO):

<http://tycho.usno.navy.mil/what1.html?rwin=UTC>

Una vez instalado el instrumento de observación (telescopio o prismáticos), bien protegidos para la observación solar, y con nuestro reloj en TU, debemos tomar los tiempos de los contactos. Como ya hemos comentado antes, desde España sólo se pueden observar el tercer y el cuarto contacto, esto es, el momento en el que Venus deja el disco solar. El tercer contacto ocurrirá aproximadamente a las 11h 06m TU y la salida definitiva de Venus será a las 11h 25m TU (para la Península, en Canarias sumar 1m 30s a estos tiempos). Indicamos las efemérides calculadas para Córdoba por nuestro compañero Javier Rojano en la *tabla 2*. También es muy recomendable ir dibujando el recorrido del Sol sobre una pantalla (en caso de que no hagamos imágenes con otros dispositivos), indicando con la mayor precisión posible la hora (insisto: en Tiempo Universal) de cada posición. En este sentido, el uso de webcams o cámaras con soporte digital será muy útil para obtener una imagen final del recorrido del planeta, superponiendo mediante técnicas digitales y tratamiento de imagen las mejores tomas que consigas (como en la *Figura 4*). Otra observación: aunque el ordenador o la cámara te grabe la hora en cada imagen, es altamente recomendable que escribas en papel el tiempo que marca tu reloj (en T.U.) en cada momento.

Tabla 2: Efemérides del Tránsito de Venus del 8 de junio de 2004 para Córdoba.

	UT			A.P.	Alt	Dif.		Corrns
	h	m	s			A	B	
Primer Contacto	05	20	31	118	4	0.2	-1.6	No observable
Segundo Contacto	05	40	13	121	7	-0.4	-1.2	No observable
Mínima distancia al centro solar	08	24	7	167	39			
Tercer Contacto	11	05	58	213	69	-2.6	-7.0	
Cuarto Contacto	11	25	10	216	72	-3.0	-6.3	

Semidiámetro de Venus = 28.9" = 0.482'

Distancia mínima al centro solar = 638.6" = 10.643'

Semidiámetro del Sol = 945.4" = 15.76'

8. Epílogo: La aventura de la Astronomía

La primera vez que se observó un tránsito de Venus fue en 1639, pero no fue hasta el tránsito de 1761 cuando se intentó determinar la Unidad Astronómica con ellos. La idea la propuso **Sir Edmond Halley** en 1716, precisamente usando el método cuyos resultados hemos visto en el apartado 5, pero fue **Jean-Nicolas Delisle** quien hizo el primer cálculo del paralaje usando las observaciones de 1761 y 1769. Pero los lugares seleccionados para conseguir los mejores resultados estaban localizado en lugares remotos (Pacífico Sur, Centroamérica, Siberia, Norteamérica o en Índico) y los viajes para llegar a ellos duraban años. En el siglo XVIII viajar era realmente peligroso, no sólo por las tormentas que se podían encontrar en mitad del océano sino por las continuas guerras entre países. Por ejemplo, en el Océano Índico Francia e Inglaterra se encontraban en disputa, costándole un disgusto al astrónomo francés **Guillaume de Gentil**. Después de muchas vicisitudes por aquellas zonas, saltando de isla a isla durante

más de 10 años, no pudo tomar medidas del tránsito de 1761 (lo observó desde un barco) y ni siquiera pudo ver el de 1769 (se nubló justo durante todo el tránsito). El pobre astrónomo se encontró al volver a Francia que lo habían dado por muerto, su esposa se había casado con otro hombre, sus bienes habían sido confiscados y su plaza en la Academia de Ciencias. Afortunadamente al final se reconoció el valor de su aventura, se casó con una mujer rica, publicó un diario de su viaje en el que también recogía muchos aspectos antropológicos y naturalistas y fue readmitido en la Academia.

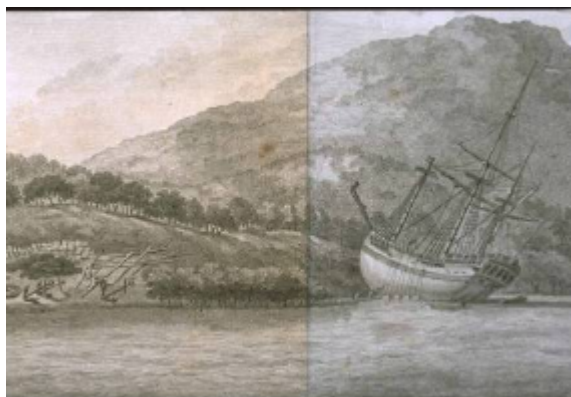


Figura 8. Expedición del capitán Cook a Tahití en 1769, donde se consiguieron observaciones del tránsito de Venus.

Delisle consiguió finalmente los datos de 151 observadores distintos en 77 lugares del mundo, derivando que la distancia al Sol era de 153 millones de kilómetros, un 1% más que el valor real. No hemos mencionado otro problema que, por sí solo, llevaría otro extenso artículo: el cálculo de la longitud del lugar de observación, algo que va íntimamente ligado a la medida del tiempo. La latitud es relativamente fácil (es la altura de la polar sobre el horizonte, más o menos), pero la longitud no es, en absoluto, algo trivial. Se debían tener un reloj que marcara la hora del meridiano cero (de ahí salió el Tiempo Universal del meridiano de Greenwich), pero los relojes de entonces se atrasaban o adelantaban y, como eran normalmente de péndulo, variaban mucho en las travesías oceánicas. Los astrónomos debían llegar varios años antes del tránsito sólo para determinar con observaciones precisas la longitud del lugar.

La medida del tiempo y la medida de las distancias astronómicas han sido uno de los mayores retos de la Ciencia. Conociendo la Unidad Astronómica se pudo medir todo el Sistema Solar, desarrollándose la complicada teoría de órbitas que se tiene hoy. Pero es más. Con la distancia Tierra-Sol como base, usando paralaje heliocéntrico, se puede calcular la distancia a las estrellas más cercanas. Este valor es usado, a la vez, para determinar distancias de objetos más lejanos, como cúmulos estelares. Las distancias proporcionadas a cúmulos son la base de los métodos de distancia a estrellas cefeidas y a supernovas de tipo Ia. Observando supernovas y cefeidas en galaxias distantes conseguimos la Ley de Hubble, que mide la expansión del Universo. Con ésta hemos podido determinar el tamaño del Universo y la edad del mismo. Sin los tránsitos de Venus habríamos tenido las cosas bastante más difícil.

No obstante, los tránsitos están en los últimos años muy de moda, pero ya no en nuestro sistema solar, sino tránsitos de estrellas, enanas marrones o incluso exoplanetas en torno a estrellas cercanas. Los estudios de este tipo de tránsitos son de vital importancia para conocer la masa de los cuerpos que participan, ayudando a encontrar planetas aptos para soportar algún tipo de vida. Como veis, la investigación aún no ha acabado. Es más, estamos empezando ahora.

Sólo queda esperar que el tiempo meteorológico no nos haga una mala pasada el próximo 8 de junio. Disfruta de este acontecimiento único.

Ángel Rafael López Sánchez

Astrofísico Residente del Instituto de Astrofísica de Canarias
Presidente de la Agrupación Astronómica de Córdoba

angelrls@yahoo.es