

# ALGUNAS PRECISIONES Y CURIOSIDADES SOBRE LOS ECLIPSES DE SOL

**Pere Planesas Bigas**

*Observatorio Astronómico Nacional (IGN)*

Apartado 1143. E-28800 Alcalá de Henares

Reimpresión de un artículo publicado en la edición de 1999 del Anuario del Observatorio Astronómico publicado anualmente por el Instituto Geográfico Nacional de España. ISBN 84-7819-095-3.

## **Abstract**

The popular terminology about eclipses makes use of poorly defined words and expressions that lead to frequent confusion and lack of precision. Moreover, some of the concepts related to eclipses refer exclusively to those seen from the Earth's surface. Here we will attempt to generalize some of the concepts and to show how to name terrestrial solar eclipses depending on the geometry and on the location of the observer. Some extreme values and statistics are also provided.

## **Eclipses de Sol, en general y en particular**

Denominamos *eclipse de Sol* al fenómeno por el cual la luz del Sol es total o parcialmente ocultada a la vista de un observador (real o imaginario) por la interposición de un astro cercano entre el Sol y dicho observador. Esta es una definición muy general, más general que la que se encuentra en cualquier diccionario e incluso libros de astronomía, los cuales pecan de geocentrismo, como veremos a continuación. En tales libros se suele definir el eclipse de Sol como el que se da cuando la Luna oculta parcialmente el Sol, visto éste desde la Tierra. Obviamente, ello no tiene en cuenta a un observador en órbita, el cual ve eclipsarse el Sol cada hora y media, siendo en este caso la propia Tierra el astro que se interpone entre Sol y observador. Tampoco tiene en cuenta la situación que se da en la Luna, cuando ésta entra en la sombra de la Tierra: este fenómeno, que para un observador terrestre se denomina *eclipse de Luna*, para un hipotético observador lunar ¿qué otro nombre puede recibir sino el de *eclipse de Sol*? Aún más, no hay ninguna razón para limitar este fenómeno al sistema Tierra-Luna. En particular, un imaginario colonizador de cualquier gran luna joviana vería a menudo el Sol eclipsarse tras el enorme cuerpo gaseoso del planeta Júpiter. A mi parecer sería astronómicamente *incorrecto* no permitirles usar la expresión *eclipse de Sol* en tal situación, por mucho que se haya inventado para un fenómeno que primero hemos estudiado en la superficie de la Tierra.

Por supuesto todas las generalizaciones tienen sus matices y ésta no es una excepción. Obviamente, el fenómeno de eclipse es particularmente notorio e impactante cuando el Sol es ocultado totalmente o en su mayor parte. Ello obliga a exigir que el astro que oculta al Sol se encuentre cerca del observador, pues sólo así dicha ocultación puede ser notoria. Con esta matización de cercanía eliminamos los *tránsitos*, fenómenos por los cuales un observador ve pasar un planeta lejano frente al disco solar. Desde la Tierra podemos ver los tránsitos de Mercurio y de Venus, pero al encontrarse tan lejos de la Tierra, su disco resulta tan pequeño comparado con el del Sol que sólo se aprecia con instrumentos adecuados, no a simple vista.

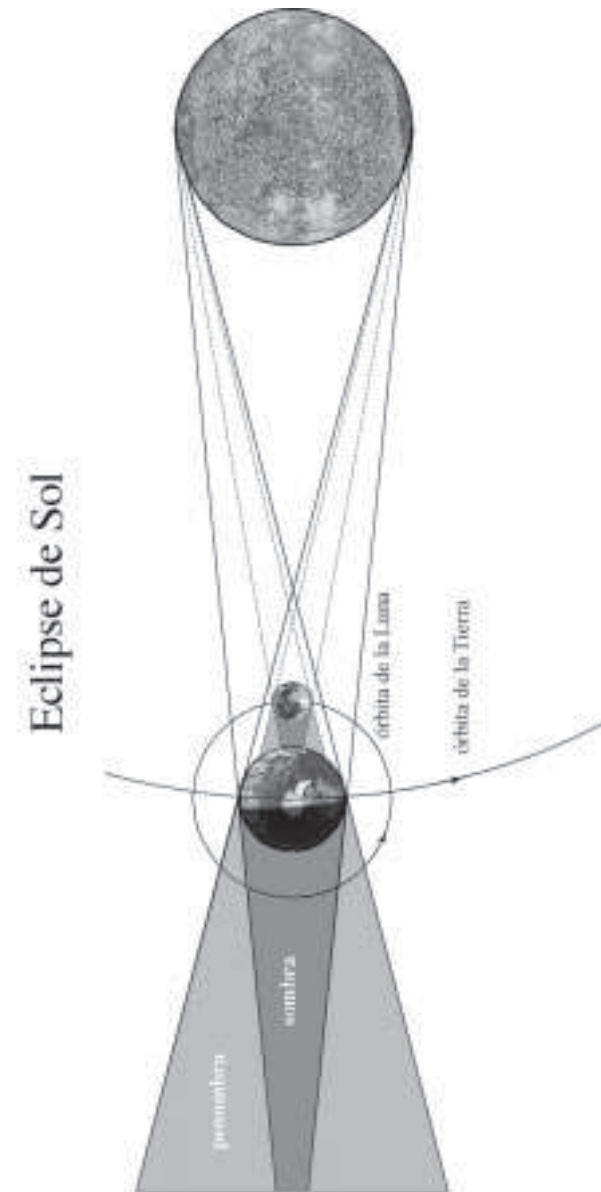
En la aclaración hecha en el párrafo anterior he hecho una matización adicional que puede haber pasado oculta al lector. Le remito a que lea de nuevo la frase que termina con . . . *ocultación puede ser notoria*. La palabra clave aquí es *puede*; es decir, no se exige que el fenómeno sea apabullante. Lo es cuando el disco solar es ocultado totalmente o en su mayor parte, pues ello hace notorio el fenómeno sin previo aviso. Pero ¿debemos darle al fenómeno otro nombre distinto a *eclipse* cuando se oculta sólo un pequeño porcentaje del Sol? Por el momento, nadie ha sugerido tal cosa y se viene llamando de igual manera el fenómeno tanto si el porcentaje de superficie solar ocultada es del 100% o del 0,1%. Sólo en aquellos lugares en que el Sol es eclipsado en su totalidad usamos un calificativo especial, y hablamos de eclipse **total**.

Por supuesto, sería posible generalizar aún más la definición de eclipse, no ciñéndonos a una única estrella, el Sol, sino considerando el caso de la ocultación de cualquier estrella por cualquier otro astro opaco que se interponga, esté cercano o no, como puede ser el caso de un planeta. Pero con ello llegamos a un concepto para el que ya hay un nombre específico, el de *ocultación*. Por ejemplo, se habla de ocultación de una estrella por la Luna, por un planeta o por un asteroide. El término *ocultación* es aún más general, pues se incluyen las ocultaciones de astros por el Sol: en este caso el Sol es el astro *ocultante*, no el ocultado. Así que más bien podemos decir que un eclipse de Sol es un caso particular de ocultación, en que la estrella brillante ocultada es el Sol y en que el astro que lo oculta está cerca del observador.

En fin, cabe citar el caso en que un astro brillante oculta otro astro brillante, como ocurre en las estrellas dobles denominadas *binarias eclipsantes*. El brillo total se ve disminuir cuando una pasa por delante de la otra para un cierto observador.

En lo que sigue, vamos a desarrollar la situación más clásica, la más familiar a los lectores, considerando sólo los eclipses de Sol que pueden ser vistos desde la superficie de la Tierra o muy cerca de ella, por ejemplo viajando en un avión, y en los que el astro que oculta el Sol es la Luna. En lo que sigue, siempre que usemos la palabra *eclipse* nos estaremos refiriendo a un eclipse de Sol en tales circunstancias. Si se trata de otro caso (por

ejemplo, de un eclipse de Luna), se hará notar explícitamente.



## Tipos de eclipse de Sol, según el observador

Popularmente los eclipses de Sol se dividen en eclipses totales, anulares y parciales. Esta es una clasificación que depende del lugar en que se encuentre el observador. Esta división es totalmente equívoca a la hora de describir el fenómeno completamente pues, como veremos enseguida, no se basa en una geometría particular del fenómeno, sino de su apreciación por parte de un observador dado. Como tal, resulta ser una división subjetiva, incompleta y equívoca; pero es la más popular.

Veamos cómo aprecia un observador dado cada uno de estos tipos de eclipses. Dirá que un eclipse es total cuando ve la Luna cubrir enteramente el disco del Sol. Sin embargo, otro observador situado mil kilómetros más al Norte o al Sur del anterior verá la Luna cubrir sólo parte del Sol, de manera que para él el eclipse será parcial. ¿Cómo debemos llamar a este eclipse? ¿Debemos dejar que cada uno lo llame como quiera? Esta es la práctica habitual, que genera no pocas confusiones. Para evitarlas puede ser conveniente separar la nomenclatura que utilizará el observador para explicar lo que ve y la nomenclatura que se utilizará para describir geoméricamente el fenómeno y que ha de permitir predecir lo que verá cada observador según donde se encuentre. Por ejemplo, podemos denominar al eclipse del ejemplo anterior: eclipse de sombra central total. Más abajo veremos qué información nos da cada una de las palabras (sombra, central, total), pero baste aquí decir que tal calificación basta para saber que tal eclipse se verá como total en algunas zonas y como parcial en otras.

Hay otro tipo común de eclipses muy popular, los eclipses anulares. Estos se dan cuando para un observador dado el disco de la Luna no llega a cubrir el disco del Sol, aun cuando sus centros estén bien alineados. Ello es debido a que la Luna se encuentra tal día más lejos de la Tierra que su distancia media y su disco parece menor, más pequeño que el del Sol (ver fig. 2). En estas circunstancias, tal observador privilegiado verá parte del disco solar brillando alrededor del disco de la Luna, apareciendo ésta pues rodeada de un anillo brillante. El calificativo *anular* proviene de esta visión del anillo luminoso. Por supuesto, otro observador que se encuentre centenares de kilómetros más al Norte o al Sur de aquél verá este eclipse como parcial.

Otros eclipses son vistos sólo como parciales, por lo que reciben este nombre. Sin embargo, hemos visto que la denominación *parcial* es usada también fuera de la zona (franja) donde se aprecia la totalidad de los eclipses totales o la zona donde se aprecia la anularidad de los anulares. De ahí la sorpresa cuando se dice que el eclipse total del 11 de agosto de 1999 en España se verá como parcial: ¿qué tipo de eclipse es pues?

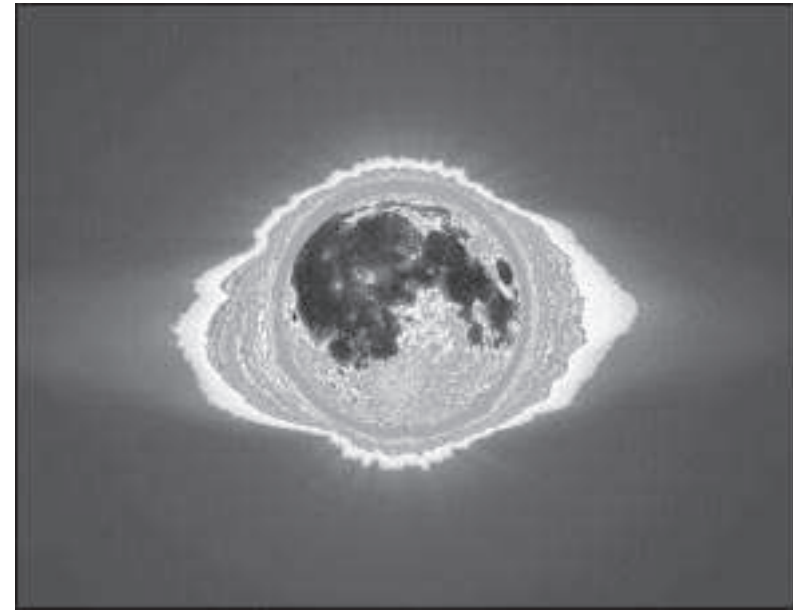


Figura 2: Esquema de un eclipse anular. El observador verá un anillo brillante alrededor del disco lunar (que en este esquema no se muestra oscurecido). La oscuridad no será total y no se verá la corona, por lo que resulta menos espectacular que uno total.

Por último, uno de cada veinte eclipses se manifiesta de las tres maneras: algunos lo verán como total, otros como anular y la mayoría como parcial. Se suelen llamar eclipses anular/total (o mixto) y no son conocidos popularmente, pues nadie lo ve como una combinación de varios: los que lo ven como total no lo verán como anular y viceversa. Este es el caso del eclipse de 17 de abril de 1912, que en el noroeste de España se vio como total, pero que en Venezuela se vio como anular.

Es instructivo ver cómo diferentes configuraciones de los astros implicados en los eclipses dan lugar a tipos distintos de eclipses. Para poder estudiarlas conviene hacer una sucinta descripción de sus movimientos relativos y de la magnitud de tales movimientos.

## Movimientos de la Tierra y la Luna

### *La geometría del problema*

La Tierra describe una órbita muy aproximadamente elíptica alrededor del Sol, con una excentricidad de entre las menores entre los planetas

del sistema solar ( $e = 0,01671$ ). La distancia media entre Tierra y Sol es de unos 149,6 millones de kilómetros, siendo las distancias extremas aproximadamente un 1,67% menor o mayor que tal cantidad. En particular, la distancia mínima entre el centro de la Tierra y el del Sol a lo largo de los siglos XX y XXI es 147083000 km y la distancia máxima es 152112000 km. Los afelios y perihelios de la Tierra son muy estables, variando en menos de 30000 km en todo este periodo. El tiempo promedio que tarda la Tierra en dar una vuelta alrededor del Sol es de 365 días 5 horas y 49 minutos, tiempo que denominamos *año trópico* y es el intervalo de tiempo que se trata de aproximar con calendarios solares como el que nosotros usamos.

### Planos de las órbitas de la Tierra y la Luna

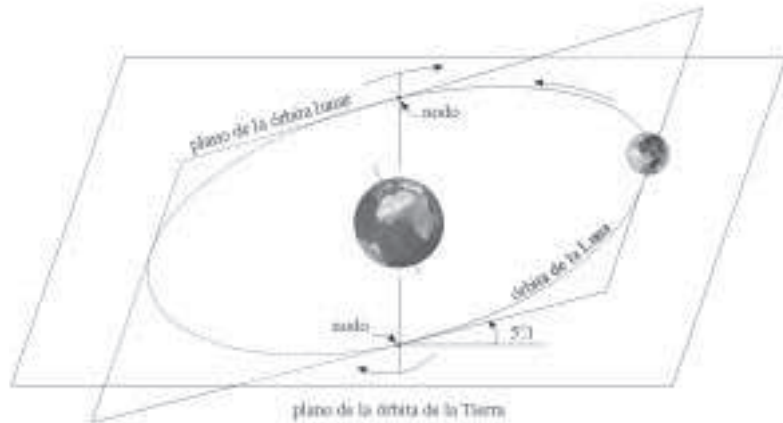
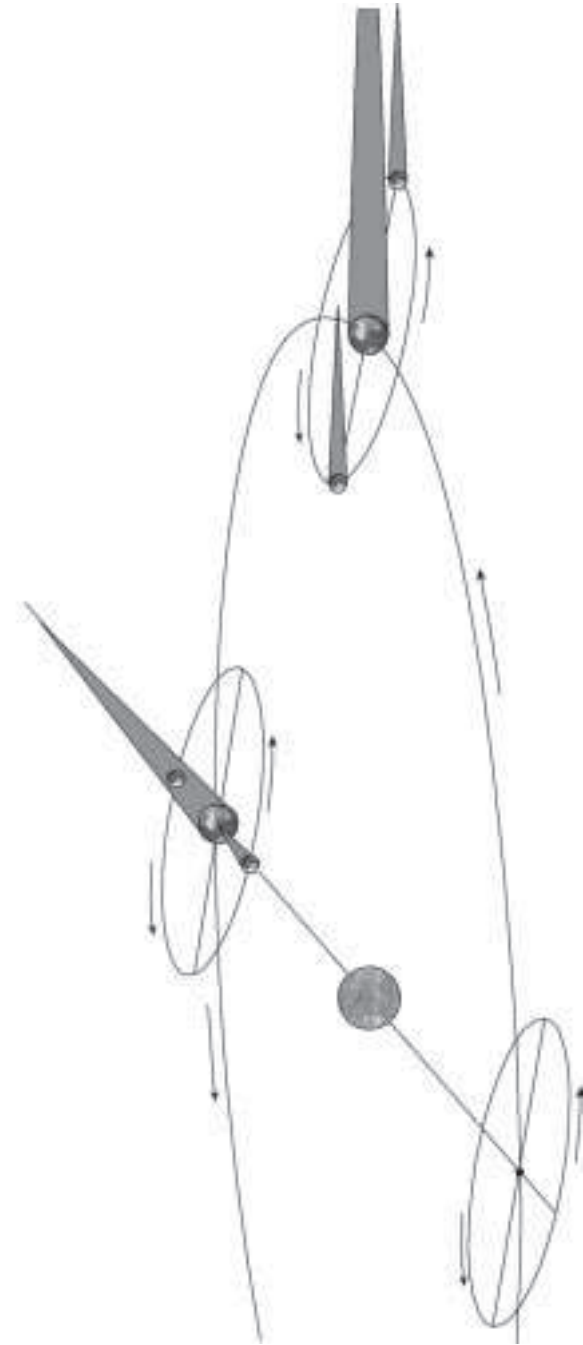


Figura 3: Posición relativa del plano de la órbita de la Tierra y el de la órbita de la Luna, con indicación de la línea de los nodos y su retrogradación. La inclinación de la órbita lunar varía a lo largo de su trayectoria, alcanzando un valor máximo de  $5^{\circ}3$  en los nodos.

Figura 4: Cuando la línea de los nodos de la órbita lunar se dirige al Sol y la Luna es nueva, la sombra de la Luna cae en la Tierra y hay eclipse de Sol. En cualquier otro caso, la sombra de la Luna no incide sobre la Tierra.

### Órbitas de la Tierra y la Luna



La Luna describe una órbita aproximadamente elíptica ( $e \simeq 0,0549$ ) alrededor de la Tierra. La distancia media entre el centro de la Tierra y el de la Luna es de 384 400 km, siendo las distancias extremas aproximadamente un 5,5% menor o mayor que tal cantidad. En particular, las distancias mínima y máxima entre sus centros a lo largo de los siglos XX y XXI son 356 375 y 406 712 km.

La órbita de la Luna está inclinada algo más de  $5^\circ$  con respecto del plano de la órbita terrestre. Si no estuviera inclinada habría un eclipse solar en cada luna nueva. Tarda en promedio 27 días 5 horas y 5 minutos (un *mes draconítico*) en cruzar este plano dos veces seguidas en sentido ascendente hacia el Norte eclíptico, lo que tiene lugar por el llamado *nodo ascendente*, o en sentido descendente, por el *nodo descendente*. Cuando la Luna pasa por uno de estos dos nodos tenemos a los tres astros en un mismo plano, el plano de la órbita de la Tierra, que es conocido también como *plano de la eclíptica*. Este segundo nombre proviene del hecho que tal circunstancia es condición necesaria para que se produzca un eclipse. Pero no es suficiente. Es necesaria porque sólo cuando la Luna pasa cerca de estos nodos puede ocurrir que Sol, Tierra y Luna queden prácticamente alineados y se dé un eclipse, o sea que la sombra de uno caiga sobre el otro. El eclipse será de Sol o de Luna dependiendo de cómo estén ordenados: los eclipses de Sol son aquéllos en que la Luna queda entre el Sol y la Tierra. En tal momento la luna es nueva. El tamaño y movimiento de los dos astros es tal que en cada paso por el nodo se da un eclipse de Sol, por lo que hay como mínimo dos eclipses solares al año.

#### *Eclipses a pares*

Es muy común que cuando en uno de los nodos (ascendente o descendente) se da un eclipse de Sol, en el siguiente nodo (descendente o ascendente) se dé uno de Luna, y viceversa. Cuando ello ocurre decimos que los dos eclipses *se acompañan*. Los pasos de la Luna entre sucesivos nodos se dan cada medio mes draconítico, o sea cada 13 días y medio. Este es el mínimo intervalo de tiempo entre dos eclipses sucesivos, uno de Sol y otro de Luna.

Todo lo anterior se puede describir de otra manera alternativa. El plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol y el de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra se cortan en una línea, que llamamos *línea de los nodos*, y que pasa por el centro de la Tierra. Cuando el Sol y la Luna se encuentran en las cercanías de uno de los nodos se puede dar el eclipse de Sol. Aproximadamente seis meses después, cuando el Sol y la Luna se encuentran en las cercanías del otro nodo, se dará otro eclipse de Sol. Esto es lo que ocurre todos los años, en que se dan al menos dos eclipses de Sol. Dado que la Luna y la Tierra tienen un tamaño considerable, no es imprescindible que los tres astros estén “exactamente” alineados para que el eclipse se dé en algún lugar de la Tierra. Por ello puede haber más de

dos eclipses de Sol al año. Como veremos a continuación, el máximo que se puede dar es cinco, aunque ello ocurre muy raramente.

#### *Los eclipses adelantan*

Se podría pensar que, dado que las órbitas se repiten con precisión “astronómica”, los eclipses se darán todos los años en el mismo momento y en la misma secuencia. Ello no es así debido a que las órbitas **no se repiten**: el representar la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol o la de la Luna alrededor de la Tierra como una elipse es sólo una aproximación, adecuada para algunas necesidades, pero no es una representación “exacta” de la realidad. La órbita de la Tierra alrededor del Sol se ve perturbada por la atracción gravitatoria de los demás planetas y la de la propia Luna. La órbita de la Luna alrededor de la Tierra se ve perturbada muy fuertemente por la atracción del Sol, por la falta de esfericidad de la Tierra, por acción de los demás planetas, e incluso por las mareas que la propia Luna produce en la Tierra. Consecuencia de todo ello es que la órbita de la Luna varía fuertemente. Por ejemplo, la excentricidad de su órbita varía entre 0,0448 y 0,0650.

Una de las mayores variaciones que sufre la órbita de la Luna es el desplazamiento hacia “atrás” (retrogradación) de la línea de los nodos, de manera que el Sol no tarda un año en alinearse dos veces seguidas por el mismo nodo. En sólo 6798 días la línea de los nodos da una vuelta entera ( $360^\circ$ ). Ello significa que se adelanta unos  $19^\circ$  por año, o sea unos 19 días por año dado que el Sol se mueve a casi  $1^\circ/\text{día}$ . Por tanto el Sol pasa por un mismo nodo cada 346 días, en lo que se denomina el *año eclíptico* (de 346,62005 días). Las dos épocas de eclipses en un mismo año se encuentran separadas por unos 173 días y, por lo tanto, se adelantan unos 19 días de un año respecto del precedente.

Es evidente que cada cierto número de años, en un año dado se podrán dar tres épocas de eclipses. Si se da un eclipse de Sol en los primeros días del año, se dará otro a finales de junio o principios de julio y otro a finales de diciembre. Dado que en cada una de estas ocasiones se puede dar un par de eclipses de Sol separados un mes, llegamos a la conclusión de que en un año se pueden llegar a ver hasta 5 eclipses de Sol, el último del tercer par ya caería en el año siguiente dado que:  $173 + 173 + 30 = 376$ , duración mayor que los 365 días del año. La última vez que ello ocurrió fue en 1935.

#### **Tamaños del Sol y la Luna**

Se podría pensar que los discos del Sol y la Luna siempre tienen el mismo tamaño angular, pero no es así. El hecho de que la órbita de la Tierra sea elíptica, aunque con una pequeña excentricidad (es decir, es casi circular, pero no del todo), hace que en una época del año el disco solar se vea un poco más grande que seis meses más tarde. Así, a principios de año el disco solar se ve alrededor de un 3% mayor que a principios de julio.



Con la Luna se produce un efecto similar, aunque más pronunciado al ser su órbita más elíptica: el tamaño de la Luna puede variar en más de un 16% para un mismo observador en distintos momentos.

El diámetro medio de la Luna es de unos 3476 km, o sea una fracción 0,2725 del diámetro ecuatorial terrestre. La Unión Astronómica Internacional (UAI) recomienda usar, desde 1982, la fracción  $k = 0,2725076$ . Ello corresponde a un perfil medio de la Luna, en el que hay montañas y valles, por lo que para el cálculo de eclipses de Sol algunos autores prefieren usar un valor menor, que corresponda a un hipotético perfil sin montañas y así obtener una mejor predicción para las circunstancias del eclipse, especialmente en los bordes de la franja de totalidad o la duración de la totalidad para eclipses muy cortos. Fred Espenak, del JPL, utiliza  $k = 0,272281$ , lo que corresponde a un perfil 1,4 km más bajo. Jean Meeus utiliza un valor algo menor ( $k = 0,272274$ ) para el cálculo de las circunstancias de sombra.

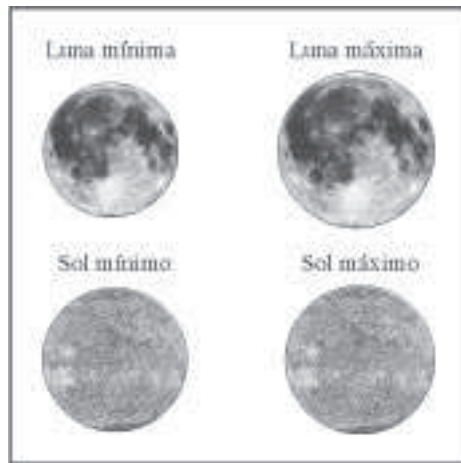


Figura 5: Tamaño angular máximo y mínimo del Sol y la Luna vistos desde algún punto de la Tierra.

El tamaño (diámetro) angular mínimo se dará cuando la Luna se encuentre lo más lejos posible de la Tierra (apogeo), obteniéndose:  $29' 22'' 8$ . El tamaño máximo se dará cuando la Luna se encuentre lo más cerca posible de la Tierra (perigeo) y el observador la tenga en su cénit (o sea, a la distancia hay que descontar un radio terrestre), con lo que se obtiene:  $34' 05'' 5$ .

El diámetro medio del Sol es de 1 392 000 km, 109 veces el de la Tierra y 400 veces el de la Luna. Su tamaño angular mínimo se dará cuando la Tierra

se encuentre en el punto más lejano de su órbita (afelio), obteniéndose:  $31' 27'' 7$ . El tamaño máximo se da en el perihelio:  $32' 32'' 0$ .

Si el tamaño angular máximo de la Luna fuera menor que el tamaño angular mínimo del Sol no tendríamos eclipses totales, pues la Luna nunca podría cubrir todo el disco solar. Los eclipses se verían como parciales o como anulares. Estos últimos, los anulares, se producen gracias a que el tamaño mínimo de la Luna es menor que el tamaño máximo del Sol. Si la Luna fuera un 10% mayor o se encontrara más cerca de la Tierra en el mismo porcentaje, nunca tendríamos eclipses anulares, viéndose todos como parciales o totales. En resumen, gracias a que la Luna tiene un diámetro entre 3208 y 3849 km, en la actualidad disfrutamos de eclipses totales y anulares. En tiempos remotos la Luna se encontraba más cerca de la Tierra, de la que se aleja unos pocos centímetros al año. Una extrapolación al pasado permite estimar que empezó a haber eclipses anulares durante el Proterozoico Superior. Una extrapolación al futuro muestra que seguirá habiendo eclipses totales en los próximos seiscientos millones de años.

### Cono de sombra

La longitud y apertura del cono de sombra de la Luna depende de la distancia relativa entre Luna y Sol. Cuando Luna y Sol están más cerca entre sí (o sea, cuando coinciden la Luna en el apogeo y la Tierra en el perihelio) el cono de sombra tiene una longitud de 367 224 km y una apertura de  $32' 32'' 4$ . Dado que la distancia típica entre Tierra y Luna en tales circunstancias es de 405 500 km e incluso puede llegar a 406 720 km, resulta que el cono de sombra no llega a la superficie de la Tierra por más de treinta mil kilómetros. En el caso extremo, queda a 33 100 km del punto en cuyo cénit está la Luna.

Cuando Luna y Sol están más separados entre sí (Luna en perigeo y Tierra en afelio) el cono de sombra tiene una longitud de 379 866 km y una apertura de  $31' 27'' 4$ . En este caso el cono de sombra rebasa ampliamente la posición de la Tierra que, al encontrarse en el perigeo, típicamente se halla a unos 363 300 km de la Luna, pudiendo incluso encontrarse a sólo 356 375 km. En este caso, el extremo del cono de sombra de la Luna sobrepasa el centro de la Tierra en más de veinte mil kilómetros, pudiendo llegar a 23 500 km. Si en tales circunstancias algún punto de la Tierra ve eclipse total con la Luna en su cénit, la anchura de la franja de totalidad será máxima, siendo ésta de  $(23 500 + 6 378) \times \tan(31' 27'' 4) = 273$  km. Por supuesto, si los lugares donde el eclipse es total no tienen la Luna en su cénit, efectos de proyección hacen que la anchura de la franja de totalidad sea mayor, pudiendo superar los mil kilómetros cuando ésta se encuentra en las regiones polares de la Tierra, como fue el caso del eclipse de Sol del 22 de agosto de 1979. El cono de antisombra puede llegar a tener una

anchura de 313 km para quien vea el eclipse en el cénit y de 374 km para quien lo vea en el horizonte.

Al comparar (figura 6) las distancias extremas de 33 100 y 23 500 km se deduce que debe haber más eclipses anulares que totales, pues la más probable es que el cono de sombra no alcance la Tierra. Incluso si se añaden los eclipses mixtos a los totales, al comparar las distancias de 33 100 y 29 900 km vemos que los eclipses anulares seguirán siendo mayoría. Para valores numéricos, véase la sección **Estadísticas**.

En cuanto al cono de penumbra, su anchura para la posición de la Tierra es de unos 7 000 km, aproximadamente el doble del diámetro lunar, con unos valores mínimo y máximo de 6 753 y 7 345 km.

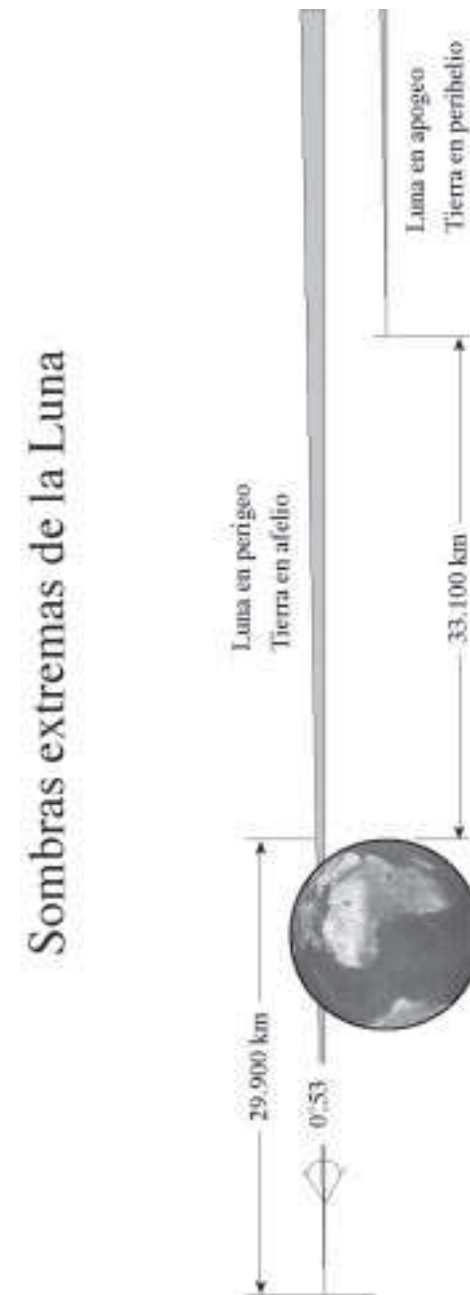
### Tipos de eclipse de Sol, según la geometría

Vamos ahora a ver qué configuraciones del Sol y la Luna hacen que veamos un tipo u otro de eclipse.

Los eclipses de Sol pueden ser de *sombra* y de *penumbra*. Son de sombra aquéllos en que el cono de sombra o su prolongación (a veces llamada cono de antisombra) incide en la superficie terrestre, y son de penumbra aquéllos en que sólo el cono de penumbra (ver fig. 1) incide sobre la Tierra. Los eclipses de penumbra se ven siempre como eclipses parciales. Los de sombra a su vez se dividen en centrales y no centrales. En los centrales el eje del cono de sombra de la Luna cruza la superficie de la Tierra, es decir son aquéllos en que desde algún punto de la Tierra se ven alineados el centro del disco solar y el de la Luna. Si la sombra alcanza la superficie de la Tierra en todo su recorrido, el eclipse es total (propriadamente: eclipse de sombra central total); si la sombra no la alcanza en ningún punto de su recorrido, el eclipse es anular (propriadamente: eclipse de sombra central anular); y si sólo la alcanza en algún tramo de su recorrido, se habla de eclipse anular/total (propriadamente: eclipse de sombra central anular/total). En este último caso el eclipse es total para aquéllos que lo ven cerca de su mediodía y anular para quienes lo ven tras la salida o hacia la puesta del Sol.

En los extremos Norte y Sur de la Tierra, o sea en las regiones árticas y antárticas, se dan unos tipos especiales de eclipses. Puede ocurrir por ejemplo que el eje del cono de sombra cruce la superficie de la Tierra, pero que no todo el cono de sombra dé sobre la superficie de la Tierra. Es decir, puede tratarse de un eclipse de sombra central pero sin límite Norte o sin límite Sur en la franja de totalidad o anularidad. No se les suele dar un nombre especial, aunque se suele indicar tal peculiaridad de alguna manera en algunos catálogos detallados.

Figura 6: Posiciones extremas del cono de sombra lunar.



En estas regiones se dan también eclipses de sombra no centrales. Estos son aquellos en que el cono de sombra de la Luna roza la superficie de la Tierra, pero el eje de sombra mismo no pasa por ella. Corresponden a un caso más extremo que el descrito en el apartado anterior y pueden ser total o anular. En 1957 se dieron uno de cada tipo.

Los ejemplos de cada tipo más próximos a la actualidad son:

- Eclipse de penumbra: 5 febrero 2000
- Eclipse de sombra central total: 11 agosto 1999
- Eclipse de sombra central anular: 16 febrero 1999
- Eclipse de sombra central anular/total: 8 abril 2005
- Eclipse de sombra central sin límite Norte: 21 mayo 2003 (anular)
- Eclipse de sombra central sin límite Sur: 28 febrero 2044 (anular)
- Eclipse de sombra no central total: 2 noviembre 1967
- Eclipse de sombra no central anular: 29 abril 2014

Un caso muy poco frecuente es el de un eclipse que empieza siendo total y acaba siendo anular o viceversa. Jean Meeus sugiere que tal es el caso del eclipse del 3 de noviembre de 2013, aunque otros autores no están de acuerdo con tal predicción.

La observación de los eclipses de sombra no centrales, y en menor medida los centrales sin límite Norte o Sur, es complicada por las regiones (árticas, antárticas) donde se producen y por las incertidumbres debidas a la refracción atmosférica, que afectará mucho y de manera impredecible al darse el eclipse muy cerca del horizonte. Tal es el caso del eclipse del 29 de abril del 2014.

### Duración de los eclipses

Esta es otra expresión confusa. Para un observador dado puede significar al menos dos intervalos de tiempo muy distintos: (1) el tiempo transcurrido desde que ve el disco lunar entrar en el solar hasta que se sale completamente de él, y (2) el tiempo que dura la fase de totalidad o de anularidad, si es que las aprecia en tal lugar y para tal eclipse. En el primer caso se está hablando de unas pocas horas, en el segundo de unos pocos minutos. Estas son las duraciones que podríamos denominar *locales*, pues atañen a un observador dado, pero no nos informan mucho del eclipse en su globalidad.

Podemos denominar duraciones *generales* las referidas al fenómeno en su globalidad. En este caso entenderemos por duración total del eclipse

al tiempo que transcurre desde que en algún lugar de la Tierra se ve por primera vez el disco lunar empezar a cubrir el solar hasta que, varias horas después y en otro lugar muy distinto de la Tierra, se ve por última vez el disco lunar salir completamente del solar. Estos dos instantes se denominan *inicio y fin del eclipse general*. La duración máxima de un eclipse en estas condiciones es de 6<sup>h</sup>15<sup>m</sup>, que sólo se puede alcanzar cuando el Sol está en el apogeo.

En el caso de eclipses de tipo total o anular, la duración de tal fase suele tomar más relevancia que la duración de todo el fenómeno. Dicha duración depende, una vez más, de la situación de un observador dado. Por ello, en las efemérides se da la duración de la fase de totalidad o de anularidad en distintos puntos de la franja donde se da tal fase. En los catálogos normalmente se da la duración máxima que tal fase alcanza en tal franja y se la suele denominar simplemente *duración de la totalidad/anularidad*, sobreentendiéndose que se refiere a la duración máxima para este eclipse dado.

Por otra parte, cabe preguntarse cuál es el mayor valor que puede alcanzar dicha duración máxima para todos los eclipses de un mismo tipo. La mayor duración de la totalidad de un eclipse de sombra central total es de 7 min 31 seg. Sin embargo, muy pocos eclipses superan los 7 minutos de duración, ello ocurre en promedio una vez por siglo. El último eclipse que los superó fue el de 30 de junio de 1973, que duró 7 min 4 seg, y el próximo en superarlos será el de 25 de junio del 2150, que durará 7 min 14 segundos. El de mayor duración en todo el periodo examinado por Mucke y Meeus es el de 16 de julio de 2186, que durará 7 min 29 seg. Estos eclipses rara vez ocurren fuera de los meses de mayo, junio y julio, pues es cuando el Sol está más lejos de la Tierra (Tierra en afelio); en tal circunstancia, si la Luna está cerca de su perigeo, la diferencia de tamaños es grande y la Luna tarda más en recorrer tal distancia, siendo precisamente este tiempo la duración de la totalidad. Estos eclipses se dan a latitudes bajas. A la latitud de Madrid la duración máxima es de unos seis minutos y medio.

La duración máxima de la fase de anularidad en un eclipse anular es mayor, pudiendo alcanzar los 12 min 30 seg. Es raro que se superen los 12 minutos de duración. La última vez fue el 24 de diciembre de 1973 y no habrá otro en los próximos 500 años. (En una exploración rápida de los eclipses anulares futuros, hasta el de 14 de enero del 3080 no he encontrado uno que pudiera alcanzar los 12 minutos.) Tan grandes duraciones se dan con la Tierra en el perihelio, o sea a principios o finales de año.

Cada año se dan entre 2 y 5 eclipses de Sol. Lo menos que se puede dar son dos eclipses de penumbra, como ocurrió en 1996 y volverá a ocurrir en 2004. Años con cinco eclipses de Sol son muy raros, el último fue 1935 el próximo será en 2206 y habrá que esperar otro medio milenio, hasta 2709, para que ocurra otra vez.



## Magnitud de los eclipses

Se llama magnitud de un eclipse solar a la fracción máxima de diámetro solar cubierta por la Luna. En los eclipses parciales, la magnitud se expresa con un número mayor que 0 y menor que 1. Cuando el disco lunar llega a cubrir exactamente el disco solar se dice que la magnitud es 1 y cuando el tamaño de la Luna, por hallarse ésta cerca de su perigeo, excede el del Sol se obtiene una magnitud mayor que 1. La magnitud máxima es de 1,083. Consecuencia de esta definición es que los eclipses totales tienen una magnitud mayor o igual a 1, mientras que los eclipses parciales y anulares tienen una magnitud menor que 1.

No hay que confundir la magnitud de un eclipse solar con el oscurecimiento del disco solar. La magnitud indica una fracción de diámetro (una longitud) mientras que por oscurecimiento se entiende la fracción de superficie solar ocultada. La relación entre magnitud y oscurecimiento es compleja, pues depende también de los tamaños angulares de Luna y Sol. Para la tabla orientativa que sigue se han considerado dichos tamaños iguales. Obsérvese que el oscurecimiento siempre es una cantidad numérica menor que la magnitud.

Magnitud	Oscurecimiento	Magnitud	Oscurecimiento
0,1	0,04	0,6	0,50
0,2	0,10	0,7	0,62
0,3	0,19	0,8	0,75
0,4	0,28	0,9	0,87
0,5	0,39	1,0	1,00

## Estadísticas

En el *Canon of Solar Eclipses* de Hermann Mucke y Jean Meeus (segunda edición, 1992) se dan datos acerca de todos los eclipses solares desde el año -2003 (2004 a. de C.) y el año 2526. El primero se produjo el 27 de febrero de -2003 (2004 a. de C.) y el último tendrá lugar el 7 de octubre de +2526. En este periodo de 4530 años se producirán un total de 10774 eclipses de Sol, a una media de 2,37 eclipses por año. De ellos, 6886 (64%) serán centrales y 3888 serán penumbrales.

- Eclipses de penumbra: 3795 (35,2%)
- Eclipses de sombra: 6979 (64,8%)
  - Centrales: 6886 (63,9%)
    - \* Totales: 2867 (26,6%)
    - \* Anulares: 3507 (32,5%)

- \* Mixtos (anular/total): 512 (4,8%)
- No centrales: 93 (0,86%)
  - \* Total no central: 28 (0,26%)
  - \* Anular no central: 65 (0,60%)

Las estadísticas por siglo reflejan los siguientes valores:

Siglo	Años	Eclipses centrales	Eclipses penumbrales	Número total de eclipses
XIX	1801 a 1900	155	86	242
XX	1901 a 2000	145	78	228
XXI	2001 a 2100	144	77	224
XXII	2101 a 2200	151	79	235
XXIII	2201 a 2300	156	91	248
XXIV	2301 a 2400	160	88	248
XXV	2401 a 2500	153	81	237

Ello arroja un número medio de eclipses por siglo de  $237 \pm 10$ , con un número medio de eclipses centrales de  $152 \pm 6$ . En promedio se da un eclipse total cada 1,6 años. Sin embargo la probabilidad de ver su fase de totalidad en un lugar dado de la Tierra es muy baja: la anchura típica de la franja de totalidad es de unos 200 km y su longitud típica es de 12000 km, por lo que la franja de totalidad cubre típicamente una fracción 1/200 de la superficie terrestre. Estadísticamente se puede decir que se necesitan unos 200 eclipses para cubrir toda la Tierra y, dado que se dan uno cada 1,6 años, en un lugar determinado se verá la totalidad cada  $\sim 300$  años. De ahí el interés de desplazarse para ver un eclipse total cuando se da relativamente cerca.

## Eclipses de Sol visibles como totales o anulares en Europa

El siglo pasado se despidió con un par de eclipses totales de Sol. La franja de totalidad del eclipse del 28 de mayo de 1900 cruzó la península ibérica y concentró en España multitud de astrónomos de todo el mundo.

Durante los siglos XX y XXI habrá un total de 452 eclipses de Sol. A *grosso modo* se puede decir que un tercio de estos eclipses son eclipses de penumbra, por lo que son vistos como parciales, y el resto son de sombra, casi todos centrales, por lo que son vistos como totales o anulares en alguna zona de la superficie terrestre, mientras que en las demás zonas son vistos como parciales. Esto es lo que ocurre con el eclipse del 11 de agosto de 1999: este es un eclipse central que es visto como total en una franja que se extiende por el centro de Europa, Turquía y sudoeste asiático, mientras que es visto como parcial en extensas regiones que rodean tal franja, como es el caso de España.

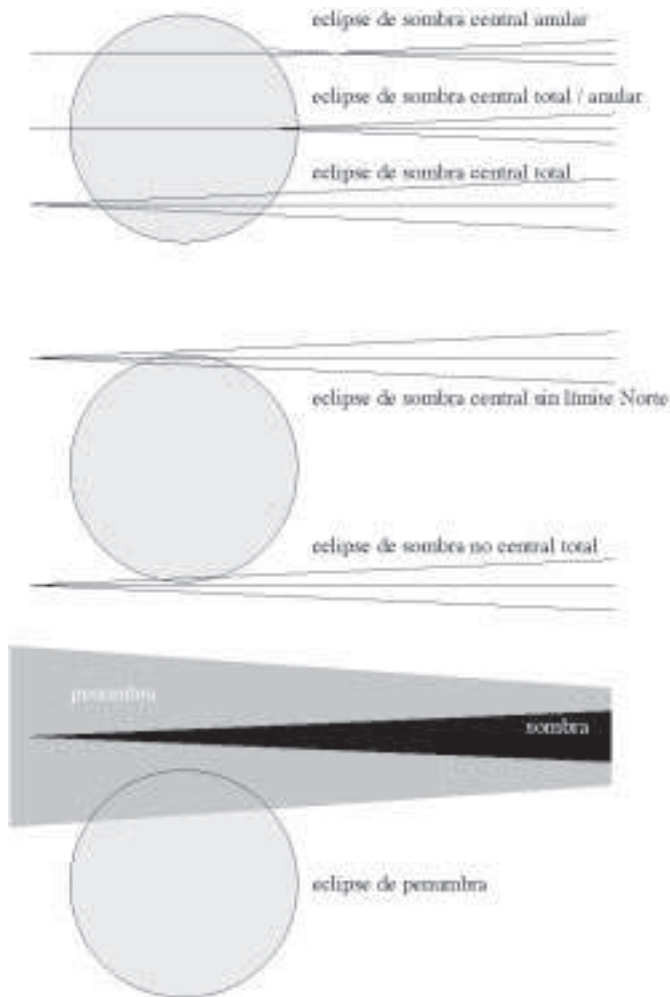


Figura 7: Posición del cono de sombra en los distintos casos de eclipse solar. (La abertura del cono ha sido exagerada para mayor claridad, como en diagramas precedentes.)

A lo largo del siglo XX ha habido 7 eclipses de Sol visibles como totales en Europa y 5 visibles como anulares. Este siglo se despedirá con cuatro eclipses parciales de Sol, dos de ellos en un mismo mes: 1 y 31 de julio. El cuarto se dará el día de Navidad.

#### *Eclipses vistos como totales en Europa a lo largo del siglo XX:*

- 30 agosto 1905, máximo del eclipse en España, único país europeo que cruzó.
- 17 de abril de 1912, máximo del eclipse frente a las costas de Portugal, cruzó el noroeste de la península ibérica, parte de centroeuropa y Rusia. En algunas zonas se vió como anular.
- 21 agosto 1914, máximo del eclipse en Rusia, tras cruzar la península Escandinava.
- 29 junio 1927, cruzó Inglaterra y la península escandinava, máximo del eclipse en el Océano Artico.
- 19 junio 1936, visible en el sur de Grecia, su máximo se da en Siberia Central.
- 9 julio 1945, máximo en el Océano Artico, cruzó la península Escandinava, Finlandia y Rusia.
- 15 febrero 1961, cruzó Francia, Italia y los Balcanes, con máximo en Rusia, al norte del Mar Muerto.
- 22 julio 1990, se inició en Finlandia y rozó el norte de Rusia, máximo en el extremo oriental de Siberia.
- 11 agosto 1999, cruzará Europa Central, máximo en Rumanía, cerca de Bucarest.

#### *Eclipses vistos como anulares en Europa a lo largo del siglo XX:*

- 11 de noviembre de 1901, inicio del eclipse total en Sicilia, no cruzó la Europa continental.
- 8 abril 1921, cruzó el norte de Escocia y la costa norte de Noruega, máximo del eclipse frente a la costa Noruega.
- 20 junio 1954, máximo frente a la costa noruega, cruzó la península Escandinava y Rusia.
- 20 mayo 1966, cruzó el sur de Grecia, máximo en la costa turca.
- 29 abril 1976, máximo en el Mediterráneo, rozó el sur de Grecia y la isla de Creta.

*Eclipses visibles como totales en Europa en la primera mitad del siglo XXI:*

- 29 marzo 2006, cruzará el sureste europeo por Georgia y Kajastán, con máximo en Libia.
- 12 agosto 2026, máximo cerca de Islandia, cruzará la mitad norte de España.
- 2 agosto de 2027, rozará el sur de la península ibérica, máximo en Egipto.

*Eclipses visibles como anulares en Europa en la primera mitad del siglo XXI:*

- 31 mayo 2003, máximo cerca de Islandia, visible en Islandia, Groenlandia y norte de Escocia. Dado que la sombra llega a la Tierra pasando “por encima” del polo Norte, la sombra se moverá de Este a Oeste, lo contrario a lo habitual. La anchura de la franja de anularidad superará los 4000 km.
- 3 octubre 2005, cruzará la península ibérica, máximo en Sudán. Madrid, situada cerca del centro de la franja de anularidad, gozará de un largo eclipse anular, de más de 4 minutos.
- 26 enero 2028, máximo en Brasil, acabará en España.
- 1 junio 2030, cruzará el sur de Grecia y Rusia, máximo en Siberia.
- 21 junio 2039, máximo en las islas del Artico frente a Canadá, cruzará Escandinavia, Finlandia y acabará en Rusia.

*Eclipses visibles como totales o anulares en algún punto de la península ibérica en los siglos XX y XXI: 5 totales y 5 anulares.*

- 30 agosto 1905: total.
- 17 abril 1912: total.
- 3 octubre 2005: anular.
- 12 agosto 2026: total.
- 2 agosto 2027: total.
- 26 enero 2028: anular.
- 12 setiembre 2053: total.

- 5 noviembre 2059: anular.
- 13 julio 2075: anular.
- 27 febrero 2082: anular.

*Eclipses visibles como totales o anulares en Canarias en los siglos XX y XXI: 1 total y 1 anular.*

- Total: 2 octubre de 1959.
- Anular: 7 febrero 2092.

### **Bibliografía**

- H. Mucke y J. Meeus, 1992, *Canon of Solar Eclipses –2003 to +2526*, ed. Astronomisches Büro, Viena
- F. Espenak, 1987, *Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035*. ed. NASA (RP1178) y Sky Pub. Corp.
- P.K. Seidelmann, 1992, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, ed. University Science Books, California
- P. Couderc, 1971, *Les éclipses*, ed. PUF, París