

EL ECLIPSE TOTAL DE SOL DEL 11 DE JULIO DE 1991: ASPECTOS GENERALES

Walter Fernández^{1,2}
Daniel E. Azofeifa^{1,3}
José A. Villalobos¹

Resumen

El 11 de julio de 1991 ocurrió un eclipse total de Sol, el cual se pudo observar en casi todo el territorio de Costa Rica. El presente artículo explica en que consistió el fenómeno y describe las características principales de lo que se observó.

1. Condiciones para la ocurrencia de los eclipses de Sol

Para que ocurra un eclipse de Sol, la Luna debe estar alineada con el Sol y la Tierra y entre ellos.

Como esta circunstancia se puede dar en la fase de la Luna llamada "Luna Nueva", en principio se esperaría que un eclipse de Sol sucediera cada mes. Esto no ocurre así, ya que la órbita de la Luna está inclinada un ángulo de 5,2 grados con respecto al plano de la órbita de la Tierra (Figura 1a). Como consecuencia, durante la mayor parte del año, la Luna está fuera del plano de la órbita de la Tierra y por ello no puede suceder un eclipse (Figura 1b).

La Luna pasa a través del plano de la órbita de la Tierra dos veces cada mes, a través de los puntos A y B en la Figura 1a; la línea que conecta esos puntos se llama la "línea de nodos".

Conforme la Tierra y la Luna giran alrededor del Sol, el plano de la órbita de la Luna permanece prácticamente fijo en el espacio (la precesión del plano de la órbita de la Luna se puede despreciar para esta discusión) y, como consecuencia, la línea de nodos mantiene también una dirección fija. Dicha línea apunta hacia el Sol dos veces al año y es en estas ocasiones (las estaciones de eclipses) que un eclipse puede ocurrir (Figura 2).

¹ Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José.

² Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José.

³ Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Universidad de Costa Rica, San José.

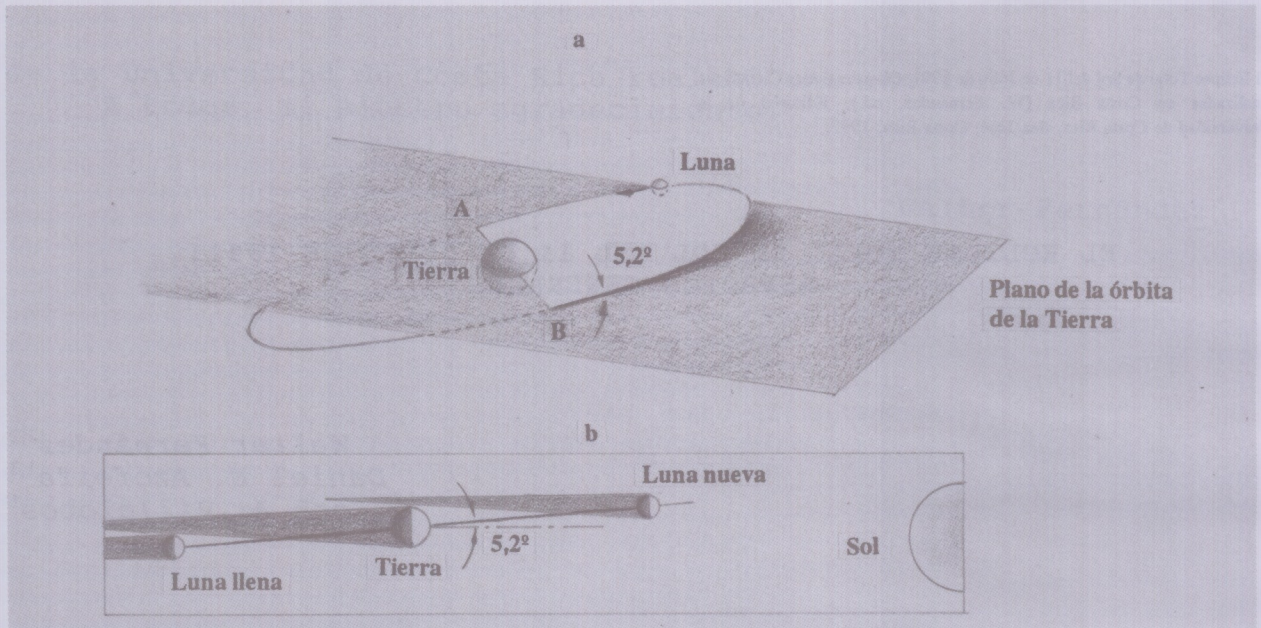


Figura 1. (a) Inclinación del plano de la órbita de la Luna con respecto al plano de la órbita de la Tierra. (b) Condiciones desfavorables para un eclipse. (Adaptada de Jastrow y Thompson, 1974).

La Luna y el Sol presentan aproximadamente el mismo tamaño aparente vistos desde la Tierra; aunque el Sol tiene un diámetro cerca de 400 veces más grande que la Luna, está también cerca de 400 veces más lejos. No obstante, los tamaños angulares aparentes de la Luna y el Sol varían ligeramente conforme cambian sus respectivas distancias a la Tierra.

La órbita de la Luna alrededor de la Tierra es una elipse; la distancia máxima entre la Tierra y la Luna (apogeo) es 406 697 kilómetros, y la distancia mínima (perigeo) es 356 410 kilómetros. Si un eclipse ocurre cuando la Luna está cercana a la Tierra, de tal forma que su diámetro aparente es lo suficientemente grande para bloquear todos los rayos del Sol, se da un "eclipse total de Sol".

En algún lugar de la Tierra, esta combinación de circunstancias ocurre, en promedio, una vez cada año y medio. Además, un eclipse total puede ser visto —en promedio— en el mismo lugar, solamente una vez cada 360 años (Jastrow y Thompson, 1974; Abell, 1982).

Debido a las perturbaciones de la órbita de la Luna, la línea de nodos se mueve gradualmente hacia el oeste en la eclíptica, completando un circuito completo en 18,6 años. Por esta razón, las estaciones de eclipses ocurren 20 días antes cada año.

El Sol no es una fuente puntual de luz, por lo cual la sombra proyectada por la Luna tiene dos partes: la umbra, que es la región de oscuridad dentro de la cual el Sol está oculto, y la penumbra, que es la región alrededor de la umbra donde sólo parte del Sol aparece oculto.

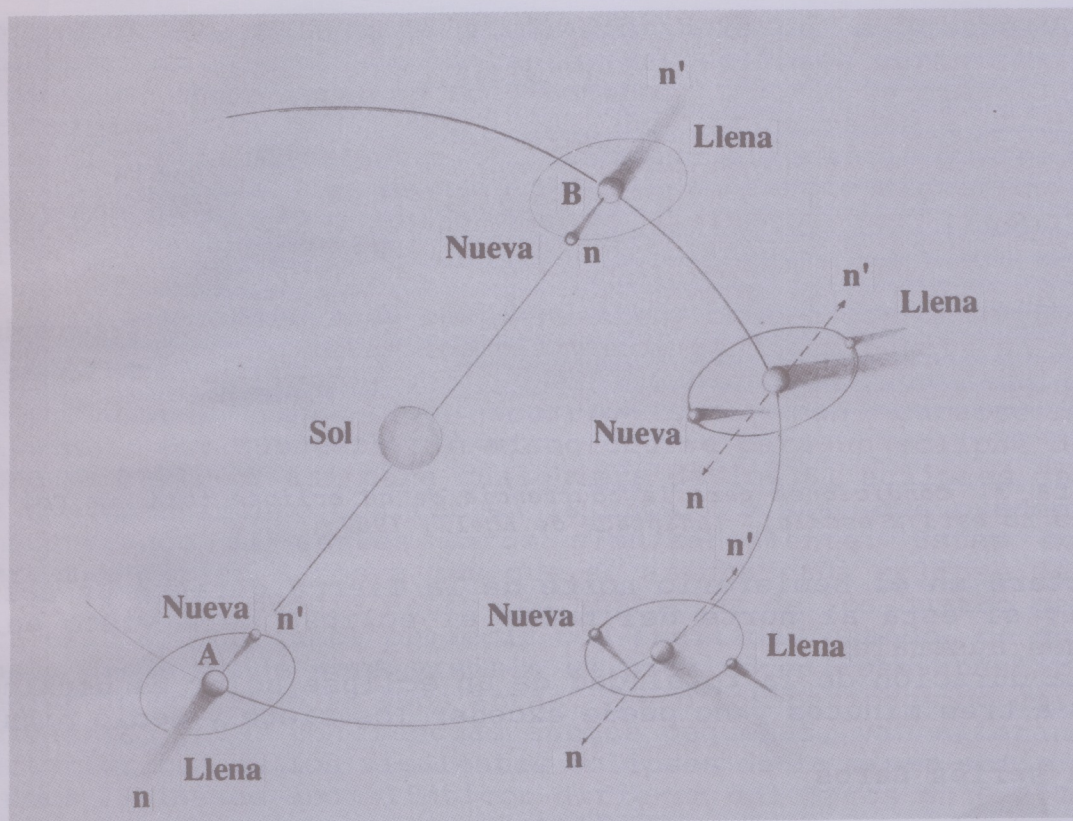


Figura 2. Las estaciones de los eclipses ocurren dos veces por año (puntos A y B), cuando la línea de nodos $n-n'$ apunta hacia el Sol. Los eclipses no ocurren en otras ocasiones. (Adaptada de Abell, 1982).

Un eclipse total de Sol sucede cuando la umbra de la sombra de la Luna alcanza la superficie de la Tierra (Figura 3). Dentro del área pequeña cubierta por la umbra de la Luna (marcada con X en la Figura 3) no se ve el Sol (eclipse total). Por otro lado, en el área de la penumbra, sólo parte del Sol es eclipsado por la Luna (eclipse parcial).

Conforme la Luna se mueve hacia el este en su órbita, la Tierra también rota hacia el este. Considerando esto, se encuentra que el movimiento de la sombra, relativo a la Tierra, es de unos 2000 kilómetros por hora en el Ecuador, y es mayor en latitudes más altas.

La umbra de la Luna se desplaza en la superficie de la Tierra a lo largo de una banda delgada, que se llama la "trayectoria de totalidad del eclipse". El ancho de esta trayectoria es, en general, de unos 250 kilómetros cerca del Ecuador y es un poco mayor en latitudes altas. La penumbra se puede extender a unos 3200 kilómetros, a ambos lados de la trayectoria del eclipse.

Como la Tierra y la Luna son cuerpos finitos, no es necesario que la última se encuentre exactamente en el nodo para que se produzca un eclipse; basta que esté en sus cercanías. Si la Luna está ligeramente desplazada al sur del nodo, su sombra se

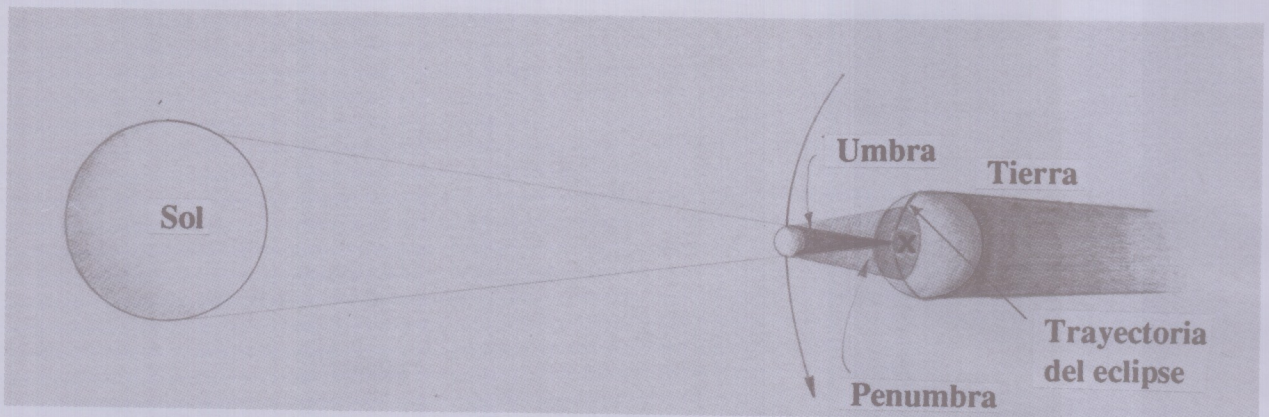


Figura 3. Condiciones para la ocurrencia de un eclipse total de Sol (la figura no está a escala). (Adaptada de Abell, 1982).

proyectará en el hemisferio norte de la Tierra durante un eclipse de Sol; si está al norte del nodo, el eclipse será visto en las regiones australes.

La duración de la totalidad de un eclipse solar es usualmente de dos a tres minutos y no puede exceder los siete y medio minutos.

2. Las series Saros

Para entender que es un Saros se deben recordar las siguientes definiciones:

- a) Mes sinódico o lunación: es el intervalo de tiempo entre dos Lunas Nuevas o dos Lunas Llenas consecutivas (es igual a 29,53 días).
- b) Mes nódico: es el intervalo de tiempo entre dos pases consecutivos de la Luna por el mismo nodo (es igual a 27,21 días).
- c) Mes anomalístico: es el intervalo de tiempo entre dos pases consecutivos de la Luna por su perigeo o apogeo (es igual a 27,55 días).
- ch) Año tropical: período de traslación de la Tierra alrededor del Sol (es igual a 365,24 días).

Existe un intervalo de tiempo que es a la vez, casi exactamente, un múltiplo entero común de los cuatro períodos. A este período se le llama un Saros y es igual a 6 585,321 días.

Un Saros corresponde a 18,03 años, a 223 meses sinódicos (esta es la unidad base), a 242 meses nódicos y a 239 meses anomalísticos (Ottewell, 1979). En años calendario, un Saros es equivalente a 18 años y 10,321 o 11,321 o 12,321 días, dependiendo de cuantos años bisiestos existan en esos 18 años. Esta coincidencia significa que los eclipses separados por este intervalo de tiempo ocurrirán cuando la Luna está en la misma fase, en las cercanías del mismo

nodo, aproximadamente a la misma distancia de la Tierra y en la misma época del año. Por lo tanto, los eclipses serán similares. Por ejemplo, ambos serán de Sol, totales, tendrán la misma duración y ocurrirán en la misma época del año, exactamente a 11 días de diferencia de la fecha anterior. La mayor diferencia ocurre debido a que el número de días es 11 y 1/3. Este tercio significa que la Tierra habrá dado un tercio más de vuelta y, por lo tanto, el eclipse será visible en lugares desplazados 120° de longitud respecto al anterior.

Esta coincidencia es sorprendente y ocurre con una diferencia no mayor de 5 horas entre los distintos períodos. Así, si en 1972 ocurrió un eclipse con una combinación particular de características, en 1990 ocurrió otro con características similares. Por supuesto, lo mismo ocurre para un eclipse de 1973 y otro de 1991. Y así para cualquiera de los 81 eclipses de Sol y Luna que normalmente ocurren en 18 años. O sea, que pueden estar transcurriendo 81 series Saros simultáneamente. Estas son las diferentes series Saros a las que se asigna cada eclipse de Sol.

Si la coincidencia entre los múltiplos de los cuatro períodos fuera exacta, podríamos predecir con facilidad cuando, de que tipo y hasta desde donde será visible el próximo eclipse, bastaría con estudiar lo ocurrido 18 años atrás. Pero los períodos no coinciden exactamente, y las diferencias aunque pequeñas, van alterando las características de los siguientes eclipses de la misma serie Saros. Así como 239 meses anomalísticos difieren del Saros en 0,217 días, la distancia Tierra-Luna variará ligeramente y, por lo tanto, la duración de los eclipses siguientes. También, y más importante, 242 meses nódicos difieren de un Saros en 0,036 días, lo que hace que el siguiente eclipse en esa serie Saros ocurra con la Luna desplazada ligeramente con respecto a la posición anterior cerca del nodo. Esto significa que el centro del eclipse se proyectará a una zona de la Tierra con latitud ligeramente diferente. Se toma como primer eclipse de una serie Saros al que ocurre cuando la Luna se encuentra a la mayor distancia permitida del nodo para que ocurra un eclipse, lo que significa que la sombra de la luna apenas toca la superficie de la Tierra en las cercanías de uno de los polos. Pero por la diferencia mencionada, el siguiente eclipse de la serie ocurrirá con la Luna más cerca del nodo y será visible más hacia el Ecuador. Así, después de aproximadamente 75 eclipses en esa serie, la Luna estará a la mayor distancia del nodo permitida, pero en la dirección opuesta, y la serie llegará a su fin. Esto significa que si una serie se inicia con un eclipse visible desde el Polo Sur, los siguientes serán visibles más hacia el norte. Los intermedios de la serie lo serán en las cercanías del Ecuador y los últimos en las regiones árticas. Típicamente una serie Saros contiene de 70 a 85 eclipses y se extiende entre 1244 y 1514 años.

El eclipse de Sol del 11 de julio de 1991 fue el número 36 de la serie Saros 136 que se inició en el año 1360, con un eclipse parcial visto desde las cercanías del Polo Sur. Por ser uno de los intermedios de la serie, fue visible en las cercanías del Ecuador.

Según Rao (1989), los números de las series fueron introducidos por van den Bergh (1955). La serie Saros 136 ha producido eclipses totales bastante largos, pues ocurren cuando la Luna está cerca del perigeo y el Sol cerca del afelio. Entre los eclipses de esta serie está el de 1919, llamado "el eclipse de Einstein" porque permitió comprobar una de las predicciones de la Teoría de la Relatividad; el del 20 de junio de 1955, que es el de más larga duración en los últimos ocho siglos, con 7 minutos y 8 segundos de totalidad (Light, 1972). Esta serie Saros producirá todavía 28 eclipses totales más y terminará en el año 2622, con el eclipse número 71 que será observado desde Siberia Central (Rao, 1989).

3. Algunos aspectos de la estructura del Sol

Antes de describir la apariencia de un eclipse total de Sol, es conveniente tener presente algunos conceptos de la estructura solar.

El Sol es una estrella típica. Tiene un núcleo central muy caliente (una temperatura de cerca de 15 millones de kelvins), donde la fusión de hidrógeno en helio libera una gran cantidad de energía.

Desde el núcleo, la energía se transfiere por radiación (proceso de emisión y reabsorción de fotones) a través del 70% del radio del Sol (486 500 kilómetros). A esta distancia del centro del Sol, la temperatura disminuye a aproximadamente un millón y medio de kelvins y la opacidad es muy grande. Como consecuencia, el proceso de convección (circulación del fluido debida a gradientes fuertes de temperatura) es más eficiente para transferir la energía en el restante 30% del radio (208 500 kilómetros).

En la "fotosfera" —la capa superficial del Sol, donde la temperatura promedio es cercana a los 5800 kelvins— la energía se emite al espacio, a una razón de $3,827 \times 10^{26}$ watts.

En la zona de convección, la interacción de los movimientos convectivos con la rotación diferencial (un término que enfatiza el hecho de que diferentes regiones del Sol rotan a velocidades diferentes) hace que campos magnéticos débiles se amplifiquen, creando otros fuertes que suben a la superficie (Noyes, 1990).

Los campos magnéticos dentro del Sol, se manifiestan en la fotosfera a través de las manchas solares (con su ciclo de 11 años) y de las regiones magnéticas activas que las acompañan.

Sobre la fotosfera (superficie del Sol) está la atmósfera solar, constituida por dos capas: la "cromosfera" y la "corona". La cromosfera, que tiene un espesor de unos cinco mil kilómetros, se llama así por su color rojo (emisión fuerte de luz roja a 656,3 nanómetros); su temperatura varía desde un valor mínimo de cerca de 4500 kelvins en su base a cerca de 8500 kelvins en su tope.

A temperaturas superiores a 8500 kelvins, el hidrógeno está ionizado y no emite mucha energía; la luz roja desaparece y el gas no se enfría eficientemente. Debido a esto y a otros mecanismos (Ulmschneider *et al.*, 1991), la temperatura aumenta abruptamente,



Figura 4. Secuencia de nueve fotografías del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991. Nótese el relámpago rojo de la cromosfera en la antepenúltima fotografía y las protuberancias solares en la penúltima. Las fotografías fueron tomadas por Ricardo Valverde Volio en Playa Esterillos, Costa Rica, usando un telescopio de 20,32 cm de diámetro f/5,6, un filtro de Mylar y película ASA 100.

a más de un millón de kelvins, en un intervalo muy corto llamado la "la zona de transición".

Sobre esta zona de transición, la corona se alarga dentro del espacio interplanetario. Su resplandor nacarado resulta de la difusión de la luz solar por los electrones que han sido despojados de sus átomos, como consecuencia de la alta temperatura.

Debido a la rarificación de la corona, su presión no es lo suficientemente grande para resistir los campos magnéticos, los cuales forzan el gas a adaptarse a su estructura.

Los campos magnéticos pueden almacenar una energía libre considerable que, en principio, puede liberarse abruptamente si los campos se relajan intempestivamente a un estado de energía más bajo.

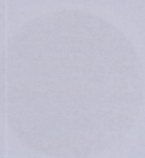


Figura 5. Secuencia de ocho fotografías (en las siguientes cuatro páginas) del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991. Nótese las protuberancias solares en la totalidad, así como las manchas solares en las fases parciales. Las fotografías fueron tomadas por George Braddock en Playa Penca, Costa Rica. Usó una cámara Nikon con un telescopio de 8 cm de diámetro f/15 y película Kodacolor Gold 100; el tiempo de exposición fue de 1/125 s para las fotografías tomadas en las fases parciales (donde se utilizó un filtro solar Thousand Oak, Tipo II), de 1 s para la que muestra la corona solar en mayor extensión (14:05 HL) y de 1/2 s para la fotografía donde se observan las protuberancias solares (14:06 HL).



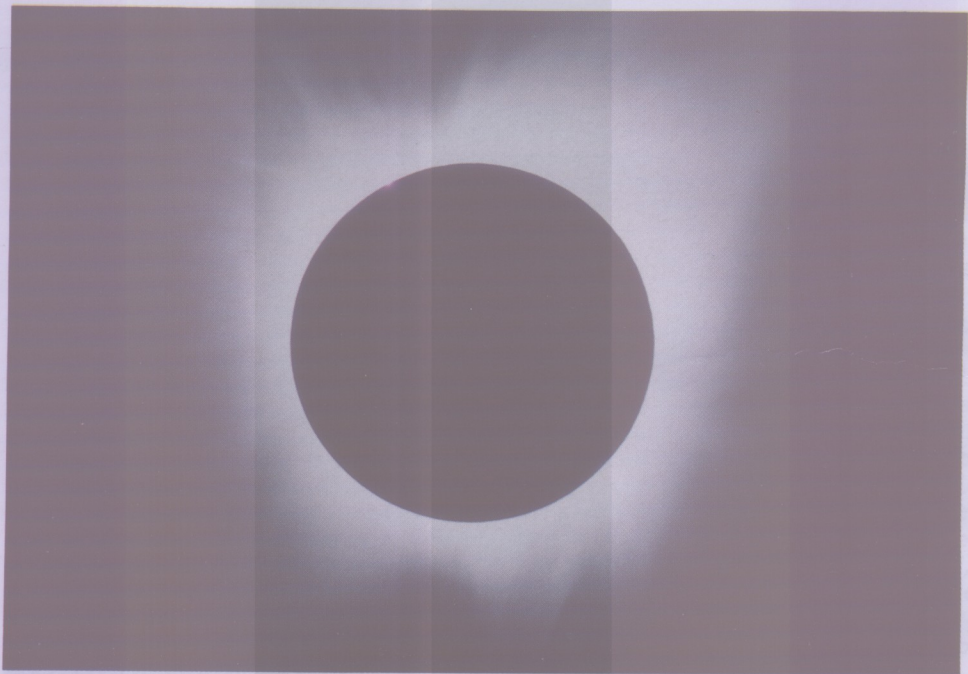
12:48 HL (18:48 TMG)



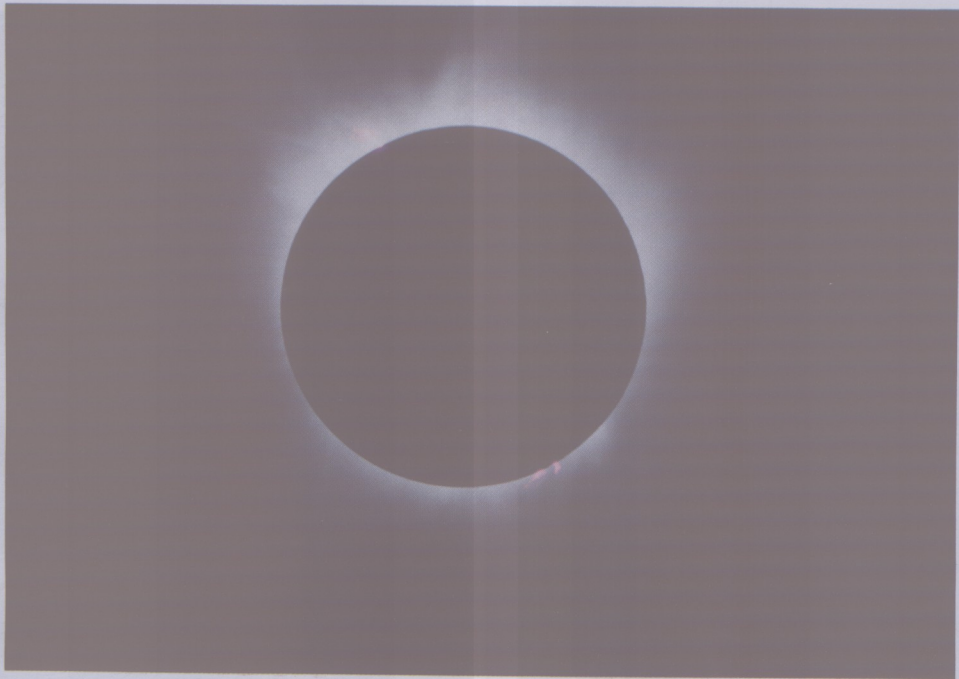
13:15 HL (19:15 TMG)



13:44 HL (19:44 TMG)



14:05 HL (20:05 TMG)



14:06 HL (20:06 TMG)



14:30 HL (20:30 TMG)



14:59 HL (20:59 TMG)



15:18 HL (21:18 TMG)



Figura 6. Imágenes del Sol, con forma de creciente, proyectadas en el suelo a través de las hojas de los árboles, durante la fase parcial del eclipse total del 11 de julio de 1991. La fotografía fue tomada por José A. Villalobos en Filadelfia (Finca El Escarbadero), Guanacaste, Costa Rica.

En el caso de los campos magnéticos solares, la liberación de energía explica las explosiones violentas en la atmósfera que se conocen como "protuberancias solares"; una de ellas puede liberar una energía equivalente a 1000 millones de explosiones termonucleares de un megatón y puede expulsar 10.000 millones de toneladas de material al espacio interplanetario (Noyes, 1990).

Hay lugares donde la corona no está confinada por los campos magnéticos y es libre de expandirse hacia afuera (estos son los llamados "huecos coronales"). En estos lugares, mucho de la energía se utiliza para acelerar los gases de partículas cargadas hacia el espacio (el llamado "viento solar").

4. La apariencia de un eclipse total de Sol

El comienzo de un eclipse solar es el "primer contacto", cuando la Luna justo empieza a eclipsar el Sol. Luego sigue la "fase parcial", durante la cual el Sol va siendo ocultado por la Luna. Una o dos horas después del primer contacto, ocurre el



Figura 7. Secuencia de seis fotografías, durante la segunda mitad de la totalidad del eclipse del 11 de julio de 1991, que muestra como el horizonte se aclara progresivamente conforme la sombra de la Luna se va desplazando. Las fotografías fueron tomadas por Pablo Ortega en Playa del Coco, Costa Rica. Usó un lente de 50 mm con un dispositivo "ojo de pescado" (120 grados de cobertura), película ASA 200 y el tiempo de exposición fue de aproximadamente 3 s para cada fotografía. Debido a la larga exposición, la luz de la corona oculta el disco lunar.

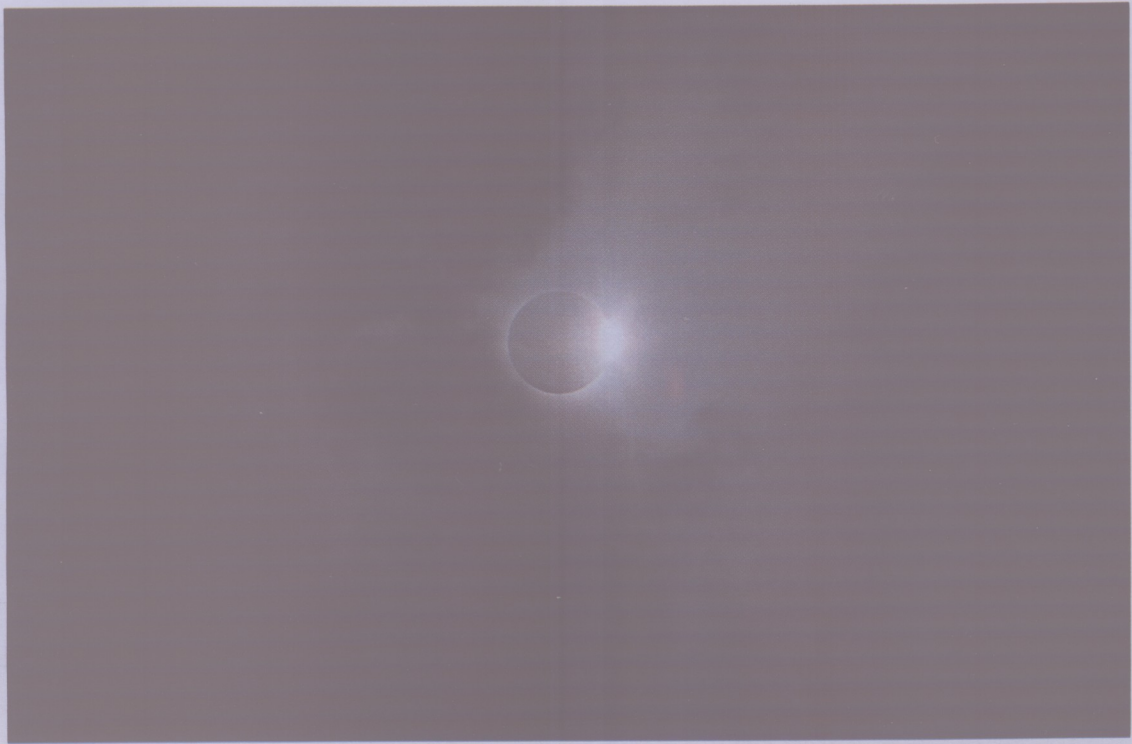


Figura 8. *Fotografía del "anillo de diamante" observado en el eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991. La fotografía fue tomada por Sigurd Pérez en Playa del Coco, Costa Rica.*

"segundo contacto", que es el instante donde comienza la totalidad. La fase total del eclipse finaliza con el "tercer contacto", que es cuando el Sol empieza a ser descubierto por la Luna. Después del tercer contacto, la fase parcial se repite en orden inverso hasta llegar al "último contacto", que es el momento cuando la Luna justo descubre por completo al Sol. Las Figuras 4 y 5 muestran secuencias de fotografías para el eclipse del 11 de julio de 1991.

En la ausencia de un eclipse, dentro de la sombra proyectada en el suelo por un grupo de árboles, se pueden observar superficies luminosas pequeñas de forma elíptica, causadas por la luz que pasa entre las hojas. Si se intercepta alguna de estas áreas luminosas, con una lámina de papel colocada a un ángulo recto con los rayos, su forma es circular; las áreas luminosas son imágenes del Sol. Como consecuencia, durante las fases parciales de un eclipse, un gran número de imágenes del Sol, con forma de creciente, son proyectadas en el suelo a través de las hojas de los árboles (Figura 6).

Unos minutos antes de la totalidad, el cielo y el paisaje se oscurecen notablemente y toman extraños colores, ya que la luz solar que llega proviene sólo de las capas más altas de la

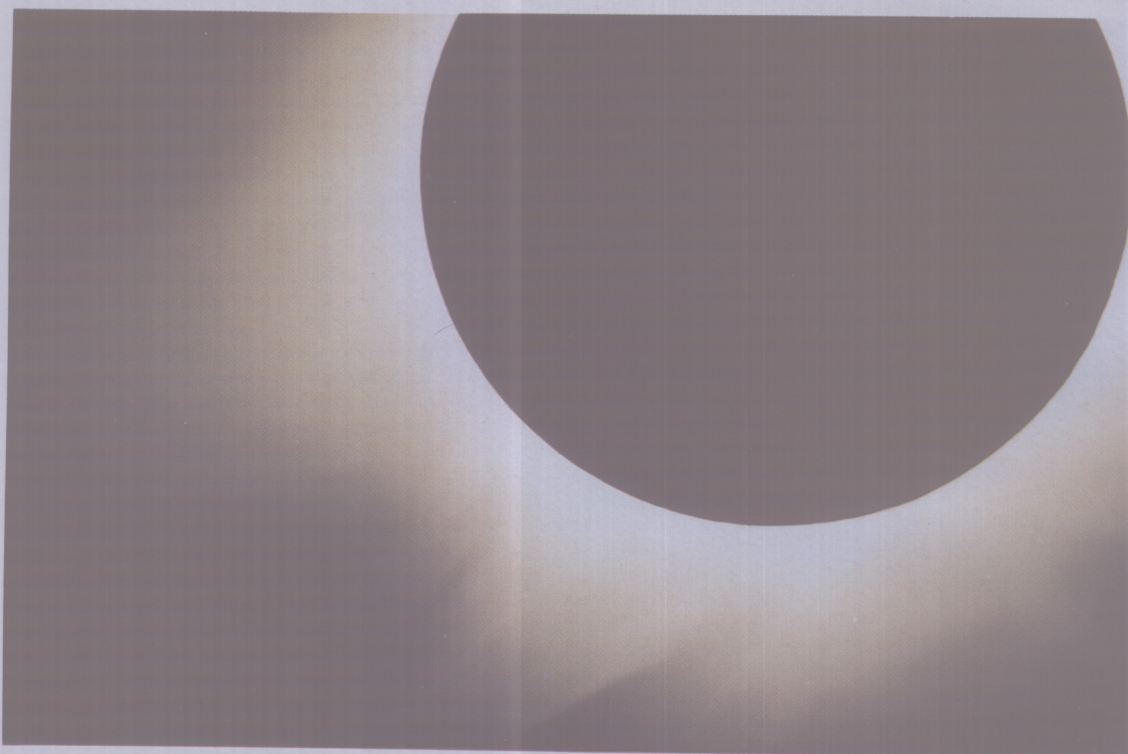


Figura 9. Fotografía de la corona solar durante el eclipse total del 11 de julio de 1991. La fotografía fue tomada por Manuel Ortega en Playa del Coco, Costa Rica. Usó un telescopio reflector Celestron de 20,32 cm de diámetro $f/10$, película ASA 100 y el tiempo de exposición fue de $1/2$ s.

atmósfera solar. La Figura 7 muestra una secuencia de fotografías, durante la totalidad del eclipse del 11 de julio de 1991, donde se puede observar el efecto del desplazamiento de la sombra de la Luna en la claridad del horizonte.

Cuando la oscuridad empieza a ser apreciable, ciertas plantas se cierran y algunos animales se comportan como si empezara la noche. Por ejemplo, en el eclipse del 11 de julio de 1991, en los lugares donde se encontraban los autores (Santa Cruz y Filadelfia, Guanacaste), llegaron bandadas de pericos y los mosquitos salieron en un número grande.

Cerca de un minuto antes y después de la totalidad, aparecen unas bandas ondulantes (oscuras y claras) que se desplazan en la superficie de la Tierra; su ancho es de unos 2 cm y están separadas entre sí unos 20 cm. Estas bandas —que fueron observadas en varios lugares de Costa Rica— posiblemente son debidas a efectos de refracción causados por la turbulencia en la atmósfera terrestre (Codona, 1986, 1991).

Justo antes de la totalidad, las únicas partes visibles del Sol son aquellas que quedan descubiertas por el perfil irregular de

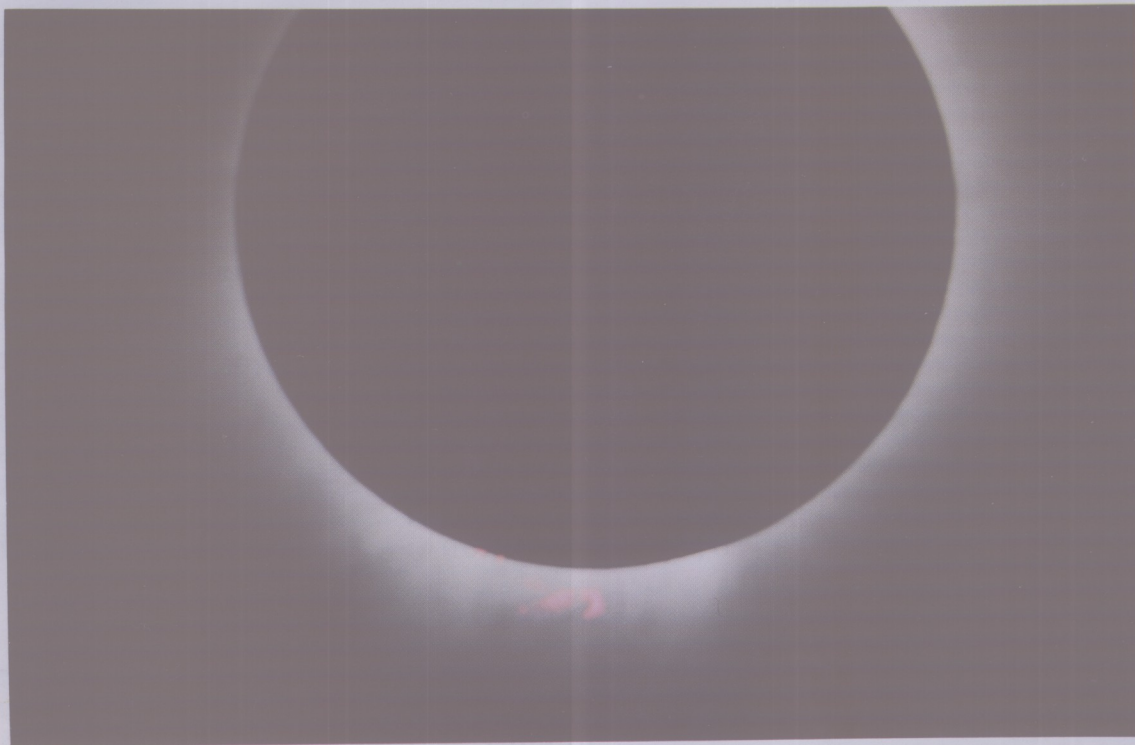


Figura 10. Fotografía de la corona solar durante el eclipse total del 11 de julio de 1991. Obsérvese, en la parte inferior, las protuberancias solares. La fotografía fue tomada por Manuel Ortega en Playa del Coco, Costa Rica. Usó un telescopio reflector Celestron de 20,32 cm de diámetro f/10, película ASA 100 y el tiempo de exposición fue de 1/60 s.

la Luna (los valles más bajos); este fenómeno se conoce como "perlas de Baily". El último destello de luz solar, a través de un valle lunar, se conoce como el "anillo de diamante" (Figura 8).

Al comienzo y final de la totalidad, un observador entrenado o sagaz puede ver un creciente (segmento de arco) muy delgado de luz roja (como un relámpago) en las partes del borde del Sol donde justo ocurren el segundo y tercer contactos, respectivamente (Figura 4). Este relámpago rojo, que desaparece en unos dos segundos, proviene de la parte inferior de la cromosfera.

Durante toda la totalidad, que puede durar varios minutos, la corona se hace visible (Figuras 4, 5 y 9), extendiéndose hacia afuera del Sol. Bajo condiciones ordinarias, la corona no es visible debido a que es unas 500 000 veces menos luminosa que la fotosfera. Algunas veces, se pueden observar "protuberancias solares", especialmente si la actividad solar es máxima, como en el eclipse del 11 de julio de 1991 (Figuras 4, 5 y 10).

En la totalidad, los planetas brillantes y algunas estrellas se hacen también visibles. Durante la fase total del eclipse del 11 de julio, se observaron muy bien los planetas brillantes, Venus y Júpiter, lo mismo que Mercurio y Marte, claramente

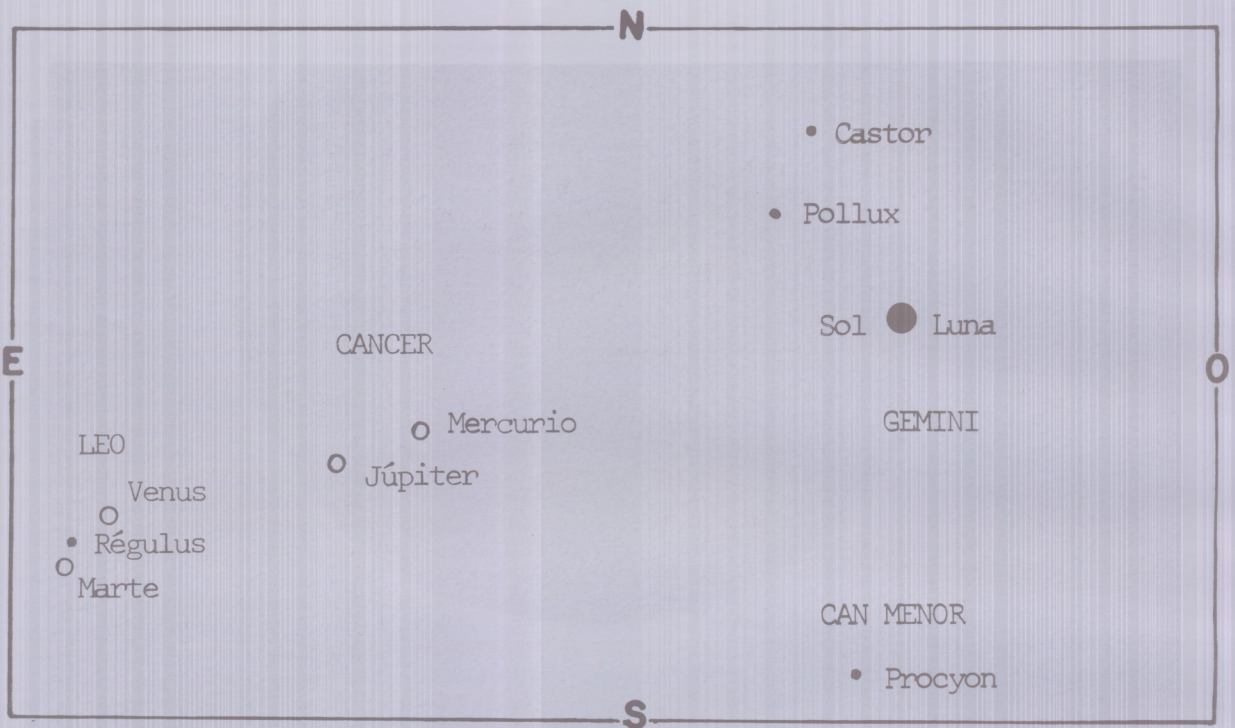


Figura 11. Representación esquemática de los planetas y estrellas que fueron visibles durante el eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991. Nótese que el oeste y el este están invertidos, como es usual en los mapas estelares.

alineados a lo largo de la eclíptica, hacia el este del Sol y la Luna. Las estrellas más brillantes de la constelación de Gémini (Castor y Pollux) en la que ocurrió el eclipse también pudieron observarse, y dependiendo de la claridad del cielo, algunos observadores cuidadosos también distinguieron a la estrella Procyon en el Can Menor y a la estrella Régulus en Leo, muy cerca de Venus y Marte (Figura 11).

5. La trayectoria y cronología del eclipse del 11 de julio de 1991

El eclipse total de Sol del jueves 11 de julio de 1991, cuyas características astronómicas principales aparecen en el Cuadro 1 y su trayectoria en la Figura 12, se inició cerca de Hawaii, cruzó el mar hacia el este, continuando luego por la costa de México, América Central, Colombia y Brasil (Espenak, 1987; Meeus et al., 1966; Rao, 1989). La Figura 13 muestra una imagen, obtenida por un satélite meteorológico, de la sombra del eclipse, cuando ésta se encontraba al oeste de la Península de Baja California.

En Costa Rica (Figura 14), el eclipse cubrió casi todo su territorio. La línea central de la umbra del eclipse ingresó cerca de la playa del Coco y en su viaje hacia el sureste pasó entre

Cuadro 1. Algunas características astronómicas del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991

Tiempo de la conjunción geocéntrica
 en ascensión recta: 11 de julio, 19 h 6 min, 8,116 s TU
 Día Juliano : 2448449,297
 Constelación : Gemini (grados de Delta Geminorum)

Sol

Ascensión recta : 7 h 22 min 12.8 s
 Declinación : +22° 5' 48",5
 Latitud celeste : 0°,00011
 Longitud celeste : 108°,983179
 Distancia a la Tierra : 1,016626 u.a.
 Semidiámetro : 15' 43",9
 (Afelio de la Tierra) : 06/07, 15h (1,016626 u.a)

Luna

Ascensión recta : 7 h 22 min 12.5 s
 Declinación : +22° 5' 32",75
 Latitud celeste : 0°,00436
 Longitud celeste : 108°,982791
 Distancia a la Tierra : 357.728 km
 Semidiámetro : 16' 42",2
 Perigeo : 11/07, 10h (357.599 km)
 Saros : 136 (36/71)

Circunstancias del eclipse

	TU	Longitud	Latitud
1. Contacto	16:28:44,1	160° 58,88'	+12° 31,8'
2. "	17:21:38,4	174 34,8	+12 28,2
3. "	20:50:25,9	46 11,4	-12 59,4
4. "	21:43:21,6	59 47,4	-12 55,2

Eclipse central al mediodía local

Hora : 19:06:02,4 TU
 Longitud : 105° 12',6 Latitud : +21° 58',9
 Duración : 6 min 53,2 s Ancho : 258,0 km
 Altitud : 88°,2 Azimut : 304°,7
 Magnitud : 1,0800 Gamma : -0,0044

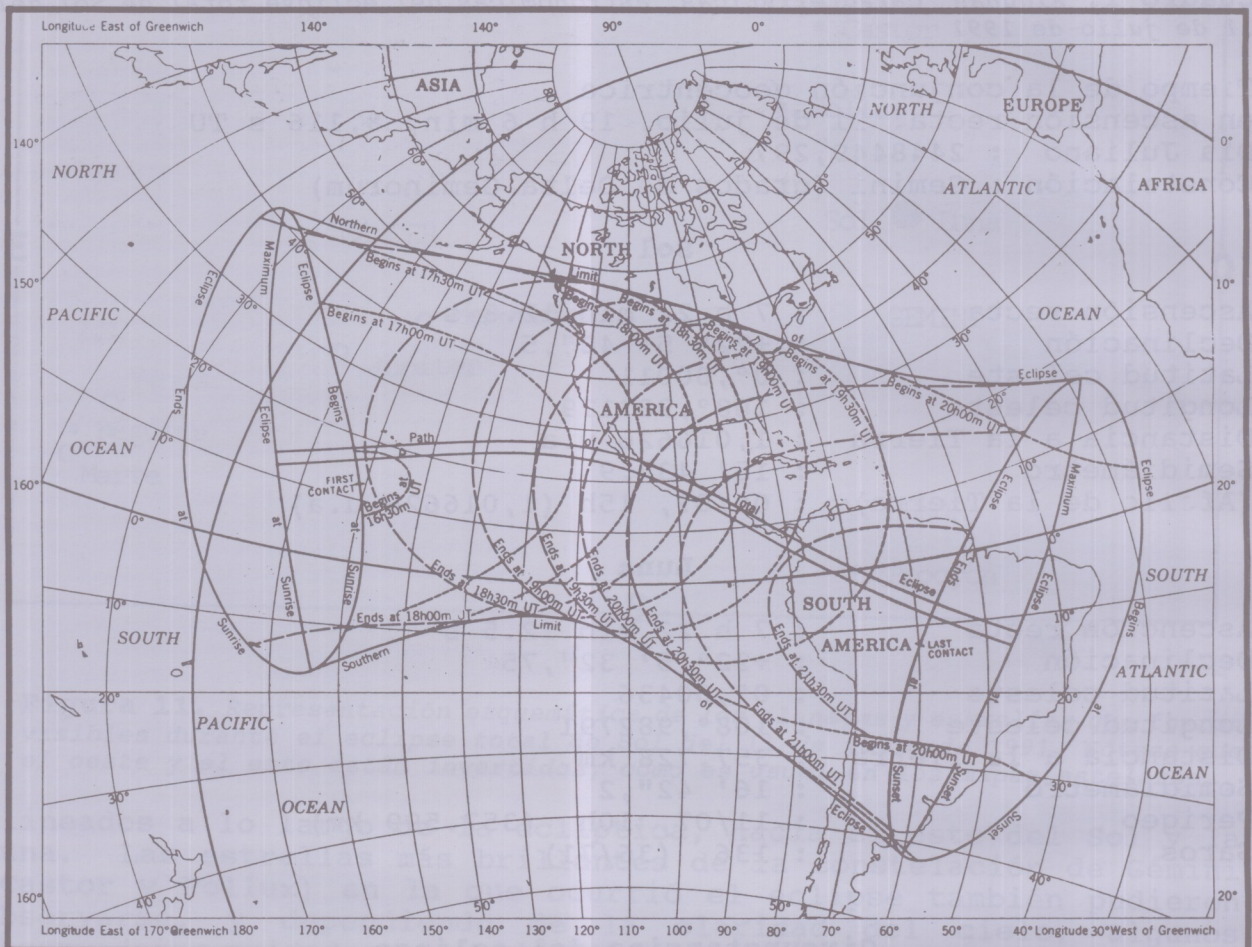


Figura 12. Trayectoria y cronología del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991. (Tomada de *The Astronomical Almanac for the Year 1991*; U.S. Government Printing Office, Washington D.C., and Her Majesty's Stationary Office, London).

Filadelfia y Belén en Guanacaste, continuando sobre el borde oriental del Golfo de Nicoya (cerca de Puntarenas) y a lo largo de la costa del Pacífico (Parrita, Quepos, Puerto Cortés y Golfito).

La trayectoria de la totalidad tuvo un ancho de cerca de 250 kilómetros; 125 kilómetros a cada lado de la línea central de la umbra (área entre las líneas exteriores a trazos en la Figura 5). Más lejos de esa distancia, y hasta unos 3200 kilómetros a ambos lados de la línea central, el eclipse fue observado como un eclipse parcial.

A lo largo de la línea central de la umbra, la totalidad en Costa Rica tuvo una duración promedio de cinco y medio minutos. En Peñas Blancas (en la frontera norte del territorio nacional), el

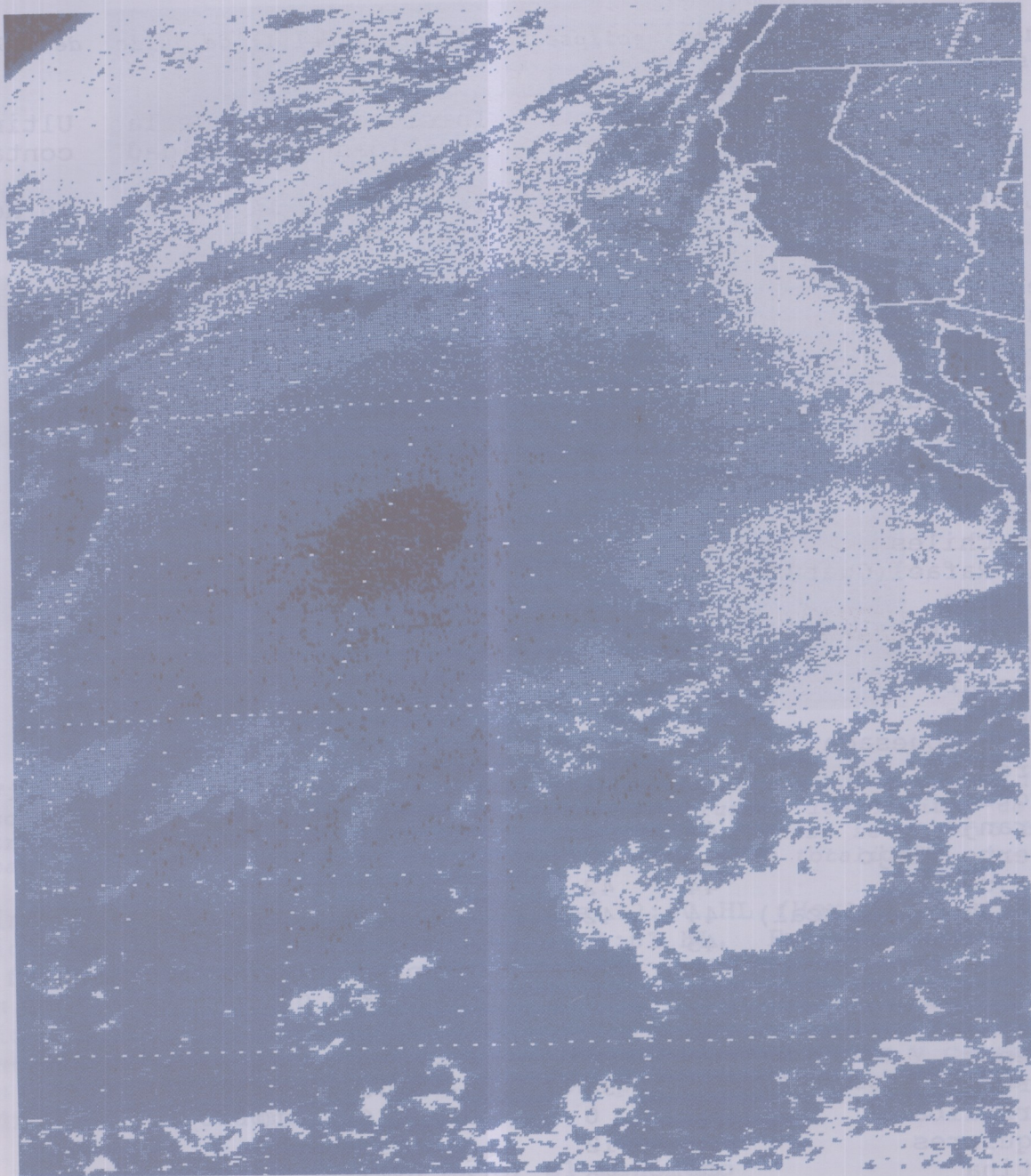


Figura 13. Imagen de la sombra del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991, tomada por el satélite GOES. La sombra se localiza sobre el Océano Pacífico al oeste de la Península de Baja California, México. Los colores son falsos para hacer resaltar la umbra (el área más oscura) y la penumbra a su alrededor. (Cortesía del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica).

Cuadro 2. Cronología del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991 en Costa Rica (Hora Local)

Lugar	Primer contacto		Inicio de totalidad		Fin de la totalidad		Ultimo contacto	
	12 horas min	s	14 horas min	s	14 horas min	s	15 horas min	s
Peñas Blancas	39	42	1	6	5	48	16	48
La Cruz	39	48	1	0	6	6	16	54
Filadelfia	40	9	1	42	7	24	17	48
Liberia	41	0	1	48	7	18	17	42
Santa Cruz	41	6	2	0	7	42	18	6
Bagaces	41	30	2	18	7	42	18	0
Nicoya	41	36	2	24	8	0	18	18
Upala	41	36	2	42	7	0	17	42
Cañas	42	0	2	12	8	6	18	18
Los Chiles	42	6	3	48	6	24	17	48
San Rafael (Guatuzo)	42	18	3	6	7	48	18	12
Tilarán	42	18	2	54	8	12	18	18
Las Juntas	42	36	3	0	8	30	18	36
Puntarenas	43	18	3	36	9	12	19	6
Miramar	43	24	3	42	9	12	19	0
Esparza	43	42	3	54	9	24	19	12
Ciudad Quesada	43	48	4	12	9	12	19	0
Zarcero	44	0	4	18	9	18	19	12
Orotina	44	6	4	12	9	42	19	24
Naranjo	44	12	4	24	9	30	19	18
Puerto Viejo	44	30	5	30	8	30	19	6
Alajuela	44	42	4	42	10	0	19	36
Santiago (Puriscal)	44	42	4	42	10	6	19	42
Heredia	45	0	5	0	10	0	19	42
Parrita	45	12	5	6	10	36	20	6
San José	45	12	5	6	10	12	19	48
Guápiles	45	24	6	0	9	24	19	36
Quepos	45	36	5	24	1	54	20	18
Cartago	45	36	5	30	0	30	20	0
Turrialba	46	0	6	6	10	24	20	6
Siquirres	46	12	6	54	9	42	20	0
Matina	46	48	7	42	9	30	20	12
San Isidro	46	48	6	18	11	42	20	48
Limón	47	30	8	53	9	34	20	30
Puerto Cortés	47	48	7	12	12	36	21	24
Buenos Aires	47	54	7	12	12	24	21	18
Bribri	48	30	8	42	11	18	21	12
Golfito	49	6	8	6	13	30	22	6
San Vito	49	12	8	12	13	30	22	0
Ciudad Neily	49	30	8	24	13	48	22	18
Paso Canoas	49	54	8	42	14	6	22	30



Figura 14. Trayectoria del eclipse total de Sol del 11 de julio de 1991 sobre Costa Rica. Las dos líneas exteriores fueron los límites de la trayectoria de la totalidad. Afuera de ellas el eclipse se observó como parcial. La línea del medio fue la línea central de la totalidad.

primer contacto ocurrió cerca de las 12:40 HL (Hora Local) y el inicio de la totalidad cerca de las 14:01 HL. En Paso Canoas (en la frontera sur de Costa Rica), el primer contacto ocurrió cerca de las 12:50 HL (unos 10 minutos más tarde que en Peñas Blancas) y el inicio de la totalidad tuvo lugar cerca de las 14:09 HL. El último contacto ocurrió cerca de las 15:17 HL en Peñas Blancas y cerca de las 15:23 HL en Paso Canoas. Datos para varias localidades se indican en el Cuadro 2.

6. Lugares donde se observó mejor el fenómeno

Las perspectivas de observación del fenómeno dependieron, por supuesto, de las condiciones atmosféricas en el lugar de observación. En Costa Rica, pudo ser observado con varios grados de claridad en casi todo su territorio. Las condiciones más propicias (nubosidad y pluviosidad bajas) se dieron, según lo previsto, en el Pacífico seco y el Valle Central, especialmente en la parte central de Guanacaste.

7. Otros eclipses en Costa Rica

El territorio costarricense ha sido escenario de eclipses de Sol y de Luna en varias oportunidades.

Quizás el eclipse total de Sol más espectacular por su duración, ancho, recorrido y hora de ocurrencia, es el del 11 de julio de 1991. Le sigue el del 10 de abril de 1698, que ocurrió a la una de la tarde, con un ancho de 198 km a ambos lados de la línea central y una duración de 5,2 minutos. Luego está el del 3 de enero de 1908 que ocurrió al ponerse el Sol y sólo pudo observarse desde el extremo sur de la Península de Nicoya. Quizás algunos recuerden el agradable espectáculo de un eclipse anular en la mañana del 24 de diciembre de 1973.

En lo que queda del siglo, el eclipse más cercano a nuestro territorio ocurrirá el 26 de febrero de 1998. Vendrá por el Pacífico atravesando las islas Galápagos, Colombia y Venezuela y saldrá al Atlántico. En Costa Rica se observará como parcial, con 82% de oscurecimiento del Sol.

En el siglo XXI no se prevee ningún eclipse total de Sol por nuestro territorio, pero se darán once con grado de oscurecimiento mayor del 50%, y al menos tres que sobrepasan el 90%: el 14 de diciembre de 2001, el 8 de abril de 2005 y el 7 de febrero de 2092.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a George Braddock, Manuel Ortega, Pablo Ortega, Sigurd Pérez y Ricardo Valverde Volio, por haberles proporcionado fotografías para ilustrar este artículo; los créditos correspondientes se especifican en las descripciones de las reproducciones.

También se agradece al propietario de la Finca El Escarbadero (Filadelfia, Guanacaste), por la hospitalidad brindada durante el período de observación.

La Sra. Ana Isabel Rojas colaboró amablemente con el mecanografiado del manuscrito y el Sr. Luis Alfaro con la confección de algunas figuras.

Referencias

- Abell, G.O. *Exploration of the Universe*. Saunders College Publishing, Philadelphia, 721 pp. (see page 148), 1982.
- Codona, J.L. The scintillation theory of eclipse shadow bands. *Astron. Astrophys.*, 164, 415-427, 1986.
- Codona, J.L. The enigma of shadow bands. *Sky & Telescope*, 81(5), 482-487, 1991.
- Espenak, F. *Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035*. Sky Publishing Corporation, Cambridge, Massachusetts, 278 pp., 1987.
- Jastrow, R., y M.H. Thompson. *Astronomy: Fundamentals and Frontiers*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 519 pp., 1974.
- Light, E.S. Total solar eclipses of great duration. *J. Roy. Astron. Soc. Canada*, 66, 261, 1972.
- Meeus, J., C.C. Grosjean y W. Vanderleen. *Cannon of Solar Eclipses*. Pergamon Press, Oxford, 1966.

- Noyes, R.W. The sun. En *The New Solar System* (J.K. Beatty and A. Chaikin, eds.), Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press, Cambridge, pp. 15-28, 1990.
- Ottewell, G. *Astronomical Companion*. Published by the author, at the Department of Physics, Furman University, Greenville, South Carolina, 73 pp., 1979.
- Rao, J. *Your Guide to the Great Total Solar Eclipse of 1991*. Sky Publishing Corporation, Cambridge, Massachusetts, 128 pp., 1989.
- Ulmschneider, P., E.R. Priest y R. Rosner, eds. *Mechanisms of Chromospheric and Coronal Heating*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1991
- van den Bergh, G. *Periodicity and Variations of Solar (and Lunar) Eclipses*, 2 vols. Tjeenk Willink, Haarlem, The Netherlands, 1955.

Adrián Solano

Se midió la duración de la fase total del eclipse de Sol del 11 de julio de 1991, desde la Finca El Escarabadero en Guanacaste, por medio de los cambios en la intensidad luminosa del Sol ocurridos durante el evento. Se tomó como criterio que la fase total (segundo contacto) se inicia cuando la intensidad luminosa decae a menos de 0,001% de la luminosidad usual del Sol y termina (tercer contacto) cuando recupera esta fracción de la luminosidad. El tiempo medido para la totalidad fue de 5 min y 41,8 s. Mediante un modelo sencillo del eclipse se explica el posible origen de la diferencia entre el tiempo medido y el esperado para la totalidad.

Introducción

La medición precisa de la duración de un eclipse de Sol es importante, pues permite confirmar el tamaño del radio medio de la Luna (Rao 1989).

La duración observada de un eclipse depende fundamentalmente de las distancias Tierra-Sol y Tierra-Luna, que determinan los tamaños aparentes del disco solar y del disco lunar. El eclipse del 11 de Julio de 1991 ocurrió a sólo 5 días del afelio de la Tierra y a 2 horas del perigeo de la Luna (Almanaque Astronómico de 1991, referido en este artículo como A.A.91). Esto significa que el Sol presentaba en ese momento un tamaño aparente cercano al máximo posible, mientras que el tamaño aparente de la Luna fue casi mínimo posible. Esto hizo que la totalidad en este eclipse fuera muy larga, de hecho éste ha sido uno de los de más larga duración en los últimos siglos (Rao 1989, pág. 16).

Para un observador dentro de la llamada franja de totalidad,

Departamento de Física, Universidad de Costa Rica, San José.
 Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Universidad de Costa Rica, San José.