

Anuario del Observatorio Astronómico 2020

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

ANUARIO
DEL
OBSERVATORIO
ASTRONÓMICO
DE MADRID
PARA 2020

Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid / Instituto Geográfico Nacional. – Madrid (General Ibáñez de Ibero, 3. M–28003) : I. G. N., 1860. – .– 20 cm. – Publicación anual. NIPO: **162-19-028-06** – EAN: **8423434365200** – ISSN: **0373-5125**

1. Astronomía I. España. Instituto Geográfico Nacional. 52.

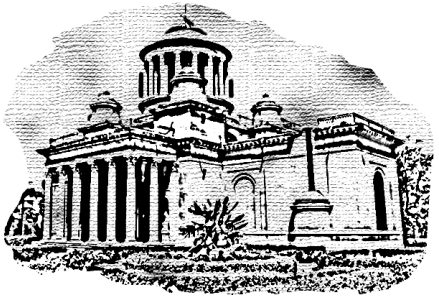
Programa editorial 2019
Depósito legal: **M.7.390-1958**
NIPO: **162-19-028-06**
EAN: **8423434365200**
ISSN: **0373-5125**
NIPO Digital: **798-20-023-3**
ISSN-e: **2660-5759**

Cubierta: Imagen de la sombra del agujero negro supermasivo en el centro de la radiogalaxia Messier 87, obtenida con el Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT). El EHT es un conjunto de telescopios distribuidos por todo el planeta, entre los que se encuentra el radiotelescopio de 30 metros de Pico Veleta (Granada) perteneciente al Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM), cuyo socio en España es el Instituto Geográfico Nacional. Esta imagen, la primera de un agujero negro, se presentó el 10 de abril de 2019 en una conferencia conjunta desde diferentes lugares del mundo.

Impreso en el INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
General Ibáñez deI bero, 3. 28003 MADRID

Ministerio de Fomento
Instituto Geográfico Nacional

ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID PARA 2020



POSICIONES GEOGRÁFICAS

REAL OBSERVATORIO DE MADRID

(Centro del piso de la rotonda del edificio Villanueva) [1]

Latitud ..... $40°24'30\overset{''}{.}0$
Longitud[2] ..... $-14^{m}45^{s}\overset{}{.}10$ ... $-03°41'16\overset{''}{.}5$
Altitud ..... 655,36 m

OBSERVATORIO DE YEBES

(Centro del radomo del radiotelescopio de 14 m)

Latitud ..... $40°31'31\overset{''}{.}2$
Longitud ..... $-12^{m}21^{s}\overset{}{.}15$ ... $-03°05'17\overset{''}{.}3$
Altitud ..... 931 m

ESTACIÓN DE OBSERVACIÓN DE CALAR ALTO

(Coordenadas del telescopio de 1,52 m)

Latitud ..... $37°13'27\overset{''}{.}1$
Longitud ..... $-10^{m}11^{s}\overset{}{.}59$ ... $-02°32'53\overset{''}{.}9$
Altitud ..... 2.165 m

[1] Estas coordenadas se refieren a la señal NP26 de la nivelación de precisión que enlaza el nivel medio del mar en Alicante y Madrid. Dicha señal es un clavo de bronce empotrado en el centro de la rotonda del "Edificio Villanueva", sede histórica del Real Observatorio de Madrid, y al nivel de su planta baja. Este punto es también el *datum* (punto fundamental) de la red geodésica española basada en el elipsoide de Struve.

[2] La longitud se considera positiva al Este y negativa al Oeste del meridiano que pasa por Greenwich.

PRÓLOGO

El 2019 ha sido un año muy productivo para los astrónomos del OAN que han seguido realizando contribuciones de gran relevancia en los temas que les son propios: formación estelar, estrellas evolucionadas y galaxias externas. Para llevar a cabo estos trabajos utilizan la instrumentación de primera línea a que tienen acceso: el gran radiotelescopio de 40 metros de Yebes, la Red Europea de Interferometría (EVN), los observatorios del IRAM y el gran interferómetro ALMA.

Uno de los mayores acontecimientos científicos del año, la obtención de la imagen de la sombra del agujero negro supermasivo en el centro de la radiogalaxia Messier 87 fue seguido muy de cerca desde el Observatorio. En este proyecto tanto el radiotelescopio de 30 metros del IRAM como el interferómetro ALMA jugaron un papel decisivo. Este Anuario incluye un artículo de divulgación en el que se recogen todos los detalles de este gran hito científico. Los otros dos artículos se refieren a nuestros orígenes cósmicos y a la historia del Anuario, que este año celebra su 160 aniversario.

El pasado 2 de julio tuvo lugar en Madrid la entrega de las prestigiosas Menciones Honoríficas que cada año otorga el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales. En esta XIX edición, el OAN fue distinguido con la Mención Honorífica a la Trayectoria Humanística, Social y Cultural, que fue concedida ex aequo junto al Cuerpo de Ingenieros Industriales del Estado. Según lo expresado por el jurado, el premio vino a reconocer en el Observatorio a "un centro puntero en investigación en Radioastronomía que realiza una labor innovadora contribuyendo de manera sobresaliente al estudio del universo." Fue un acto memorable que los astrónomos compartimos con los otros premiados y con las numerosas autoridades asistentes.

En el 2020 celebramos el 150 aniversario del Instituto Geográfico Nacional. El Observatorio quedó incorporado a esta institución en el año 1904 y, desde entonces, esta relación nunca se ha interrumpido. Para contribuir a la celebración estamos organizando diversas actividades que se desarrollarán a lo largo del año próximo tanto en el IGN como en el Real Observatorio.

Rafael Bachiller
Director del Observatorio Astronómico Nacional

Octubre de 2019

CAMBIOS RESPECTO DE LAS EDICIONES PRECEDENTES

En esta edición del Anuario se han actualizado las tablas de los satélites. Mientras que en el año 2018 fue el planeta Júpiter el que aumento considerablemente su número de lunas, en el 2019 ha sido Saturno el que ha incrementado su número de satélites gracias a los descubrimientos realizados por Scott S. Sheppard, David C. Jewitt y Jan Kleyna. Este equipo anunció el 7 de octubre de 2019 el descubrimiento de veinte nuevas lunas que orbitan alrededor de Saturno, esto hace que el número total de satélites conocidos de Saturno ascienda a 82, superando en tres a los de Júpiter.

También se ha modificado la sección dedicada a la hora en España del capítulo Tiempos. El día 12 de septiembre de 2018, la Comisión Europea presentó una propuesta para poner fin a los cambios de hora. Actualmente el Parlamento Europeo está debatiendo eliminarlos a partir de 2021, aunque todavía no hay una decisión firme.

Por último, se ha actualizado la tabla de moléculas detectadas en el medio interestelar y circumestelar del cápitulo Tablas.

El texto ha sido procesado y maquetado con pdfLaTeX bajo Linux y las ilustraciones han sido realizadas con diversos programas de dominio público.

Información relativa al Observatorio Astronómico Nacional (OAN) puede ser obtenida a través de internet en http://astronomia.ign.es. En tal dirección electrónica se encuentran sucintas descripciones de las principales actividades y áreas de investigación científica del OAN, además de información al público relativa a efemérides astronómicas. También figura información sobre el Anuario y los artículos de divulgación publicados desde 1994.

La correspondencia sobre este Anuario debe ser enviada a:

Anuario del Real Observatorio de Madrid
Calle Alfonso XII, 3
28014 Madrid

La correspondencia relativa a los artículos de divulgación debe ser enviada directamente a sus autores.

María Sánchez Ramos.
Astrónoma.

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL (IGN)

Astrónomos del OAN a fecha de 1 de noviembre de 2019

Bachiller García, Rafael, *Director*

Alcolea Jiménez, Javier
Alonso Albi, Tomás
Bujarrabal Fernández, Valentín
Colomer Sanmartín, Francisco
Desmurs, Jean-François
Fuente Juan, María Asunción
García Burillo, Santiago
Gómez Garrido, Miguel
Querejeta Pérez, Miguel
Rioja Capellán, María José
Riviere Marichalar, Pablo
Sánchez Ramos, María
Santander García, Miguel
Soria Ruiz, Rebeca
Tafalla García, Mario
Tercero Martínez, Belén
Usero Villanueva, Antonio

DIRECCIONES POSTALES

Sede central:

Observatorio Astronómico Nacional (IGN)
Real Observatorio de Madrid
Alfonso XII, 3
28014 Madrid

Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS):

Centro de Desarrollos Tecnológicos (IGN)
Observatorio de Yebes
Apartado 148
19080 Guadalajara

Sede en el campus de la Universidad de Alcalá:

Observatorio Astronómico Nacional
Centro de Investigaciones Geográficas y Astronómicas
Apartado 112
28803 Alcalá de Henares

Observatorios con participación del IGN en España:

Estación de Observación de Calar Alto
Observatorio Astronómico Nacional
Apartado 793
04080 Almería

Observatorio de Pico Veleta
Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM)
Avenida Divina Pastora, 7 (núcleo central)
18012 Granada

Índice temático

Fenómenos astronómicos:
- Resumen 13
- Visibilidad de los planetas 18
- Ocultaciones por la Luna 33
- Fenómenos día a día 37
- Eclipses de Sol y de Luna 63

Calendarios y tiempos:
- Calendarios 83
- Tiempos 101
  - Escalas de tiempo 97
  - Husos horarios 106
  - Tablas de tiempos 112

Efemérides astronómicas:
- El Sol:
  - Datos solares 127
  - Efemérides 132
  - Fórmulas, ortos, ocasos, etc 146
- La Luna:
  - Datos lunares 159
  - Efemérides 163
  - Fórmulas, ortos, ocasos, etc 177
- Los planetas:
  - Datos planetarios 184
  - Efemérides de los planetas 190
  - Fórmulas, ortos, ocasos, etc 206
- Satélites naturales:
  - Datos de los satélites 213
  - Satélites de Júpiter 232
  - Tabla de equivalencias para distancias 238
- Objetos menores del sistema solar:
  - Planetas enanos 240
  - Asteroides 249
  - Cometas 263
  - Meteoros y lluvias de meteoros 268
- Efemérides estelares:
  - Estrella Polar 271
  - Mínimos de Algol y β Lyr 276
  - Máximos de variables tipo Mira 277

Catálogos:
- Constelaciones 282
- Estrellas: 292
  - Brillantes 297
  - Dobles 302
  - Variables 305
- Relación entre magnitud y brillo 309
- Conversión de distancias en la Vía Láctea 310
- Vía Láctea:
  - Características de la Vía Láctea 312
  - Cúmulos estelares 314
  - Nebulosas 316
  - Catálogo de Messier de objetos difusos 321
- Objetos extragalácticos 325

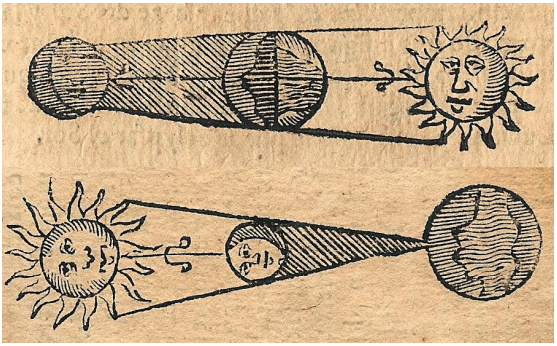
La Tierra:
- Datos físicos, geodésicos y cartográficos: 343
  - Elipsoides de referencia 343
  - Posiciones geográficas de ciudades 346
  - Posiciones geográficas de observatorios 348

Tablas complementarias:
- Corrección de coordenadas astronómicas:
  - Tablas y fórmulas de precesión 354
  - Fórmulas de nutación y aberración 357
- Corrección de refracción atmosférica 358
- Tablas de constantes físicas y astronómicas 360
- Interpolación numérica 362
- Moléculas interestelares 366

Artículos de divulgación:
- El Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid
  por *Pere Planesas* 373
- Nuestros orígenes cósmicos
  por *Belén Tercero* 403
- Fotografiando agujeros negros
  por *Pablo de Vicente* 429

Indice alfabético 455

FENOMENOS ASTRONOMICOS



FENÓMENOS ASTRONÓMICOS

En esta sección figuran: un resumen de las efemérides y fenómenos astronómicos más relevantes del año, una lista mes a mes de diversos fenómenos astronómicos junto con un mapa celeste mostrando el aspecto del cielo tras anochecer, y, finalmente, una descripción de los eclipses de Sol y de Luna que tendrán lugar durante el año.

CONVENIOS

Tanto en esta sección como en el resto del ANUARIO se han utilizado los siguientes convenios:

- La **escala de tiempos** usada para dar los **instantes** y las **fechas** de todas las efemérides es la escala de **Tiempo Universal** (UT1), salvo si se indica otra.
- Con respecto a las **coordenadas geográficas**, la **latitud** se considera positiva al Norte y negativa al Sur del ecuador terrestre, tomando valores entre -90° y $+90^\circ$. La **longitud** está referida al meridiano de Greenwich; se considera **positiva** al **Este** y negativa al Oeste de dicho meridiano, tomando valores entre -180° y $+180^\circ$ o entre -12^h y $+12^h$.

El argumento de algunas de las ecuaciones depende del **día juliano**, el cual se considera referido al meridiano de Greenwich y a la escala de Tiempo Universal. Para este año es válida la relación:

$$\text{día juliano} = 2458848{,}5 + \text{día del año} + \text{TU}/24^h$$

Efemérides y fenómenos astronómicos relevantes durante el año

Inicio de las estaciones

El inicio de las estaciones viene dado, por convenio, por los instantes en que la longitud eclíptica aparente del Sol toma unos determinados valores. Tales instantes corresponden a cuando el Sol culmina a una altura máxima o mínima sobre el horizonte (solsticio de verano y de invierno, respect.) y a cuando las duraciones del día y de la noche coinciden, salvo efectos de refracción (equinoccios de primavera y de otoño). El día del mes en que se inicia una determinada estación puede encontrarse, a lo sumo, en cuatro fechas distintas. En la tabla siguiente se indican los inicios de las estaciones más prematuros y más tardíos en este siglo y el anterior.

Fechas extremas de inicio de las estaciones

Siglo	Año	Primavera Marzo	Verano Junio	Otoño Setiembre	Invierno Diciembre
XX	2000	$20^{d}\,07^{h}35^{m}$	$21^{d}\,01^{h}48^{m}$	$22^{d}\,17^{h}28^{m}$	$21^{d}\,13^{h}37^{m}$
(1901-2000)	1903	$21^{d}\,19^{h}15^{m}$	$22^{d}\,15^{h}05^{m}$	$24^{d}\,05^{h}44^{m}$	$23^{d}\,00^{h}21^{m}$
XXI	2096	$19^{d}\,14^{h}03^{m}$	$20^{d}\,06^{h}31^{m}$	$21^{d}\,22^{h}55^{m}$	$20^{d}\,20^{h}46^{m}$
(2001-2100)	2003	$21^{d}\,01^{h}00^{m}$	$21^{d}\,19^{h}10^{m}$	$23^{d}\,10^{h}47^{m}$	$22^{d}\,07^{h}04^{m}$

La duración de las estaciones apenas varía de un año a otro. En la tabla siguiente se indican los días de permanencia en cada estación para este año.

Perihelio y afelio

El instante de mayor acercamiento entre el Sol y la Tierra se denomina perihelio y se da entre los días 1 y 5 de enero. El mayor acercamiento al Sol en este siglo se dará el 5 de enero de 2020. El instante de mayor alejamiento se denomina afelio y se da entre los días 2 y 7 de julio. El mayor alejamiento del Sol en este siglo se dará el 4 de julio de 2019.

Fases de la Luna

El inicio de las fases de la Luna viene dado, por convenio, por los instantes en que la longitud eclíptica geocéntrica del Sol y de la Luna difieren en unos ángulos dados (0°, 90°, 180°, 270°). Cuando coinciden se da la Luna Nueva, instante en el cual en ocasiones se produce un eclipse solar. Cuando difieren en 180° se da la Luna Llena, instante en el cual en ocasiones se produce un eclipse lunar.

Efemérides y fenómenos astronómicos relevantes en 2020

Inicio de las estaciones

Hemisferio boreal	Fecha y hora en Tiempo Universal (TU)	Hemisferio austral	duración en días
Primavera	20 de marzo a las 03^h50^m	Otoño	92,75
Verano	20 de junio a las 21^h44^m	Invierno	93,66
Otoño	22 de setiembre a las 13^h31^m	Primavera	89,86
Invierno	21 de diciembre a las 10^h02^m	Verano	88,98

Órbita de la Tierra

Perihelio (distan. mínima)	5 de enero a las 07^h TU	0,983246 ua
Afelio (distan. máxima)	4 de julio a las 12^h TU	1,016694 ua

ua = unidad astronómica = 149 597 870 km

Fases de la Luna

Luna nueva				Cuarto crec.				Luna llena				Cuarto meng.			
mes	*día*	*h*	*m*	*mes*	*día*	*h*	*m*	*mes*	*día*	*h*	*m*	*mes*	*día*	*h*	*m*
				Ene	03	04	45	Ene	10	19	21	Ene	17	12	58
Ene	24	21	42	Feb	02	01	42	Feb	09	07	33	Feb	15	22	17
Feb	23	15	32	Mar	02	19	57	Mar	09	17	48	Mar	16	09	34
Mar	24	09	28	Abr	01	10	21	Abr	08	02	35	Abr	14	22	56
Abr	23	02	26	Abr	30	20	38	May	07	10	45	May	14	14	03
May	22	17	39	May	30	03	30	Jun	05	19	12	Jun	13	06	24
Jun	21	06	41	Jun	28	08	16	Jul	05	04	44	Jul	12	23	29
Jul	20	17	33	Jul	27	12	33	Ago	03	15	59	Ago	11	16	45
Ago	19	02	42	Ago	25	17	58	Set	02	05	22	Set	10	09	26
Set	17	11	00	Set	24	01	55	Oct	01	21	05	Oct	10	00	40
Oct	16	19	31	Oct	23	13	23	Oct	31	14	49	Nov	08	13	46
Nov	15	05	07	Nov	22	04	45	Nov	30	09	30	Dic	08	00	37
Dic	14	16	17	Dic	21	23	41	Dic	30	03	28				

Eclipses

Fecha	Astro	Tipo	Visibilidad
Ene 10	Luna	penumbral	Europa, África, Asia y Australia
Jun 05	Luna	penumbral	Europa, África, Asia y Australia
Jun 21	Sol	anular	África, sureste Europa y Asia
Jul 05	Luna	penumbral	Sur y oeste de Europa, África y América
Nov 30	Luna	penumbral	Asia, Oceanía, Pacífico y América
Dic 14	Sol	total	Pacífico, Sudamérica, Antártida y Atlántico

En 2021 habrá dos eclipses de Sol y dos de Luna El próximo eclipse solar visible en España tendrá lugar el día 10 de junio de 2021

Mercurio

Máximas elongaciones												
Este			Oeste			Este			Oeste			
Feb	10	18°,2	Mar	24	27°,8	Jun	4	23°,6	Jul	22	20°,1
Oct	1	25°,8	Nov	10	19°,1						

Órbita	
Conjunción superior	Ene 10, May 4, Ago 17, Dic 20
Estacionario	Feb 16, Jun 17, Oct 14
Conjunción inferior	Feb 26, Jul 1, Oct 25
Estacionario	Mar 9, Jul 12, Nov 3
Perihelio	Feb 12, May 10, Ago 6, Nov 2
Afelio	Mar 27, Jun 23, Set 19, Dic 16

Brillo máximo (magnitud V)		
Ene	11	−1,3
May	5	−2,4
Ago	16	−2,0
Dic	20	−1,1

Mercurio será ocultado por el Sol en su conjunción del 4 de mayo. El próximo tránsito de Mercurio por delante del Sol se producirá el 13 de noviembre de 2032.

Venus

Órbita		
Máxima elongación Este	Mar 24	46°,1
Estacionario	May 13	
Conjunción inferior	Jun 3	0,288 ua
Máximo acercamiento a la Tierra	Jun 3	0,28858 ua
Estacionario	Jun 24	
Máxima elongación Oeste	Ago 13	45°,5
Perihelio	Mar 20, Oct 30	
Afelio	Jul 10	

Brillo máximo (magnitud V)		
May	2	−4,8
Jul	5	−4,7

El próximo tránsito de Venus por delante del Sol se producirá el 11 de diciembre de 2117.

Marte

Órbita		
En nodo descendente	Feb 1	
Perihelio	Ago 3	1,381 ua
Estacionario	Set 9	
Oposición	Oct 13	0,419 ua
Máximo acercamiento a la Tierra	Oct 6	0,41492 ua
Estacionario	Nov 15	
En nodo ascendente	Dic 2	
Estaciones en el hemisferio Norte:		
Equinoccio de otoño	Abr 8	
Solsticio de invierno	Set 2	

Brillo máximo (magnitud V)		
Oct	13	−2,7

Planetas exteriores

Planeta	Estacionario	Oposición	Estacionario	Conjunción	Estacionario
Júpiter			May 14^d18^h	Jul 14^d08^h	Set 13^d00^h
Saturno		Ene 13^d15^h	May 11^d09^h	Jul 20^d22^h	Set 29^d03^h
Urano	Ene 11^d07^h	Abr 26^d09^h	Ago 15^d17^h	Oct 31^d15^h	
Neptuno		Mar 08^d13^h	Jun 23^d18^h	Set 11^d20^h	Nov 29^d09^h

Planeta	Distancia media al Sol (ua)	Brillo medio en magnitudes	Constelaciones recorridas
Júpiter	5,4	−1,9	Sagitario/Capricornio
Saturno	10,1	+0,4	Sagitario/Capricornio
Urano	19,9	+5,8	Aries
Neptuno	29,9	+7,9	Acuario

Saturno será ocultado por el Sol en su conjunción superior del día 13 de enero y estará en nodo descendente el 13 de febrero.

El 26 febrero Júpiter estará en nodo descendente.

Los días 15 y 21 de julio se producirán los máximos acercamientos anuales de Júpiter y Saturno a la Tierra, alcanzando unos diámetros de $47''.6$ y $18''.5$, respectivamente.

El próximo paso de la Tierra por el plano de los anillos de Saturno tendrá lugar el 23 de marzo de 2025, siendo la inclinación media de sus anillos en 2020 de 22°.

Entrada del Sol en los signos del zodíaco (TU)

Acuario	Ene	20^d	14^h	55^m	Leo	Jul	22^d	08^h	37^m
Piscis	Feb	19^d	04^h	58^m	Virgo	Ago	22^d	15^h	45^m
Aries	Mar	20^d	03^h	50^m	Libra	Set	22^d	13^h	31^m
Tauro	Abr	19^d	14^h	46^m	Escorpio	Oct	22^d	23^h	00^m
Géminis	May	20^d	13^h	49^m	Sagitario	Nov	21^d	20^h	41^m
Cáncer	Jun	20^d	21^h	44^m	Capricornio	Dic	21^d	10^h	03^m

El zodíaco es una banda de la esfera celeste de 18° de anchura centrada en la eclíptica. Esta se divide convencionalmente en doce partes iguales denominadas *signos* que corresponden a arcos de 30° de longitud. Los signos se designan por el nombre de la constelación con la que aproximadamente coincidían cuando fueron definidos, hace más de dos mil años, actualmente existe un desfase de unos 30° con su posición verdadera. Más de la mitad de tales constelaciones tiene nombre de animal, de ahí la denominación *zodíaco* dada a tal banda.

Visibilidad de los planetas brillantes en 2020

Planeta	En el crepúsculo matutino			En el crepúsculo vespertino		
Mercurio		–		Ene 24	–	Feb 20
	Mar 6	–	Abr 22	May 12	–	Jun 19
	Jul 13	–	Ago 10	Ago 27	–	Oct 14
	Nov 1	–	Dic 4		–	
Venus		–		Ene 1	–	May 28
	Jun 10	–	Dic 31		–	
Marte	Ene 1	–	Oct 15	Oct 11	–	Dic 31
Júpiter	Ene 9	–	Jul 19	Jul 7	–	Dic 31
Saturno	Ene 30	–	Jul 26	Jul 12	–	Dic 31
Urano		–		Ene 1	–	Mar 30
	Jun 5	–	Nov 6	Oct 23	–	Dic 31

En la tabla anterior se indican las fechas para las cuales los planetas cuya magnitud sea inferior a 6 resultan visibles antes de la salida (orto) del Sol, o bien después de la puesta (ocaso) del Sol. Se han descartado aquellas fechas para las cuales el planeta considerado está excesivamente cerca del Sol y aquéllas para las cuales el planeta no es suficientemente brillante como para ser visible (a ojo) en el cielo parcialmente iluminado del crepúsculo. Se ha considerado una latitud media en el hemisferio norte terrestre.

En las dos figuras de la página siguiente se representa la altura sobre el horizonte de cada uno de los planetas visibles, en el instante de los crepúsculos civiles, para los diversos meses del año y a la latitud de Madrid. Se dice que el crepúsculo civil empieza o acaba cuando el centro del disco solar se encuentra 6° por debajo del horizonte del lugar. En tal momento se llegan a ver a simple vista los astros de magnitud 1 o más brillantes, como son Venus, Júpiter y, en ciertas épocas, Marte y Saturno, además de algunas estrellas.

En el año 2020 Mercurio será visible en diversas ocasiones antes de amanecer, como se indica en la tabla y en las ilustraciones siguientes. El brillo es mayor hacia el final de cada uno de los periodos, lo que hace más favorable la observación. Será también visible en varias épocas en el crepúsculo vespertino, siendo su brillo mayor al principio de cada periodo.

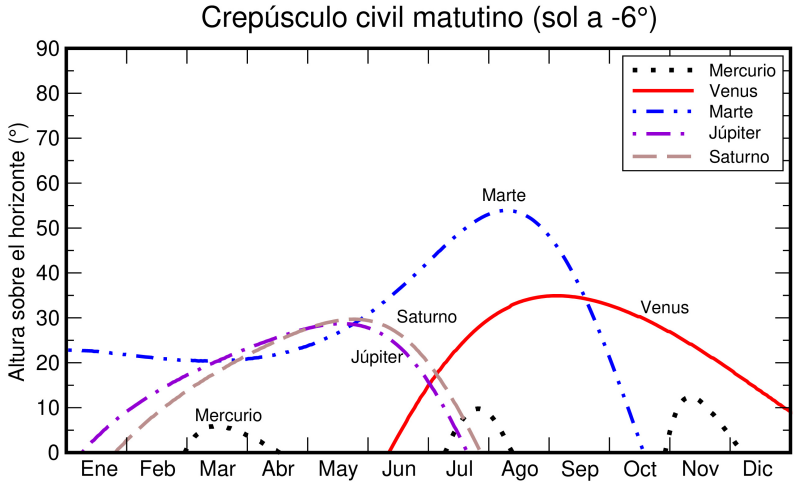
Venus se verá como lucero vespertino desde el principio del año hasta junio y como astro matutino de mediados de junio hasta finales de año. Alcanzará su brillo máximo los primeros días de mayo y de julio.

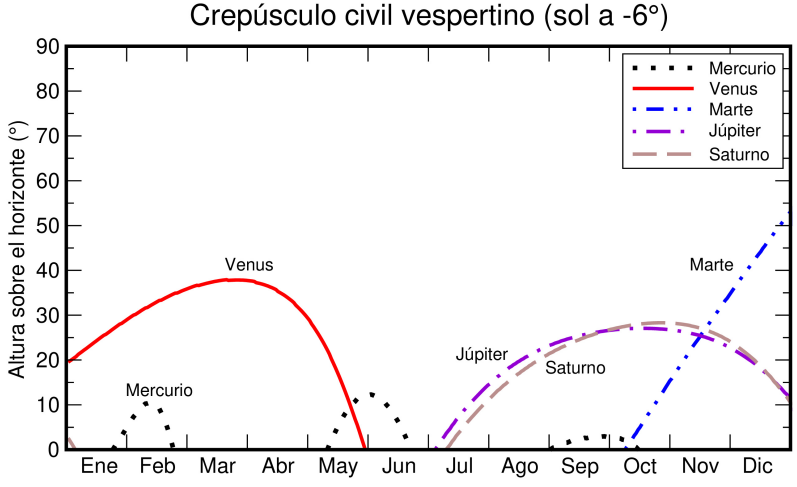
Marte será visible al amanecer desde principios de año hasta mediados de octubre y al anochecer de mediados de octubre a finales de año, alcanzando su máximo brillo a mediados de octubre.

Júpiter será visible al amanecer de mediados de enero a julio, durante la

primera quincena de julio se verá toda la noche, pasando a verse al atardecer hasta finales de año.

Saturno será visible al amanecer desde febrero hasta mediados de julio, durante la segunda quincena de julio se verá toda la noche, pasando a verse al atardecer hasta finales de diciembre. La inclinación media de sus anillos será de 22°.





Visibilidad de los planetas mes a mes

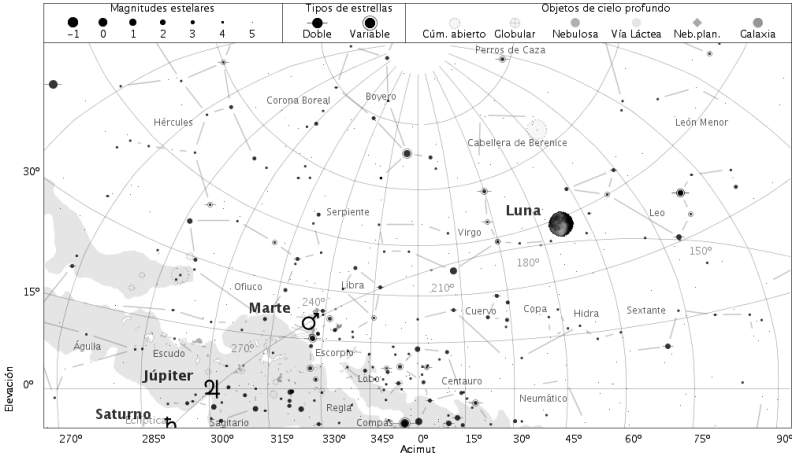
Enero	Al amanecer serán visibles Marte y, desde mediados de mes, Júpiter. Al atardecer es visible Venus.
Febrero	Marte, Júpiter y Saturno lucirán por la mañana. Venus y Mercurio serán visibles al atardecer.
Marzo	Mercurio, Marte, Júpiter y Saturno serán visibles al amanecer, Venus al atardecer.
Abril	Marte, Júpiter, Saturno y, hasta mediados de mes, Mercurio lucirán por la mañana. Venus seguirá siendo visible al atardecer.
Mayo	Marte, Júpiter y Saturno siguen luciendo por la mañana. Venus y, desde mediados de mes, Mercurio al atardecer.
Junio	Marte, Júpiter, Saturno y, desde mediados de mes, Venus serán visibles al amanecer. Mercurio será visible al atardecer hasta mediados de mes.
Julio	Venus, Marte y, desde mediados de mes, Mercurio serán visibles al amanecer. Saturno será visible al amanecer, pasando a ser visible toda la noche a mediados de mes. Júpiter será visible toda la noche hasta mediados de mes, pasando a ser visible por la tarde.
Agosto	Venus, Marte y, hasta mediados de mes, Mercurio serán visibles al amanecer. Júpiter y Saturno se verán al atardecer.
Septiembre	Venus y Marte seguirán siendo visibles al amanecer, Saturno, Júpiter y Mercurio al atardecer.
Octubre	Venus y, hasta mediados de mes, Marte se verán al amanecer. Júpiter, Saturno y, desde mediados de mes, Marte serán visibles al atardecer.
Noviembre	Mercurio y Venus serán visibles al amanecer. Marte, Júpiter y Saturno serán visibles al atardecer.
Diciembre	Venus es visible al amanecer. Marte, Júpiter y Saturno se verán al atardecer.

Urano en general sólo es visible con ayuda de instrumentos, como unos prismáticos o un pequeño telescopio.

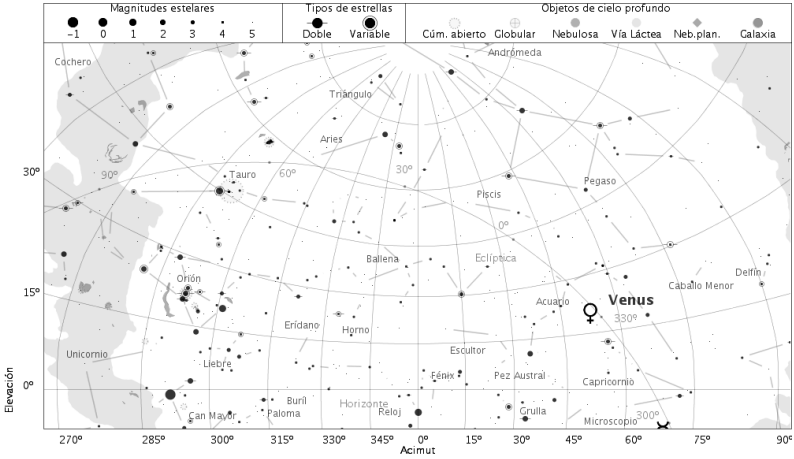
En las páginas siguientes se muestra el aspecto del cielo nocturno meridional en Madrid para el día 15 de cada mes, con indicación de la posición de los planetas visibles a la hora indicada. Esta corresponde a aproximadamente una hora antes de la salida del Sol o una hora después de la puesta del Sol, según corresponda. Se trata de instantes cercanos al crepúsculo naútico, en que la noche es oscura salvo por la posible presencia de la Luna.

La proyección utilizada es la estereográfica y el área del cielo mostrada corresponde a la mitad meridional, cubriendo 180° en acimut. El acimut 0° (centro de la figura) corresponde al Sur, el acimut 270° (izquierda) al Este y el acimut 90° (derecha) al Oeste.

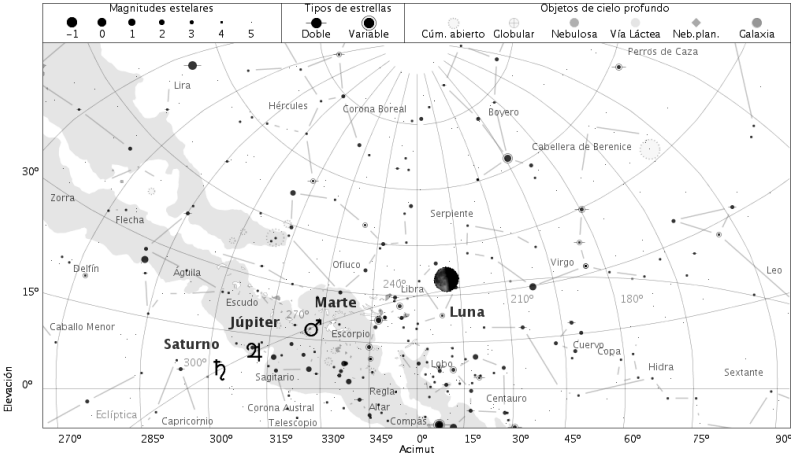
15 de enero de 2020, a las 6:45 TU



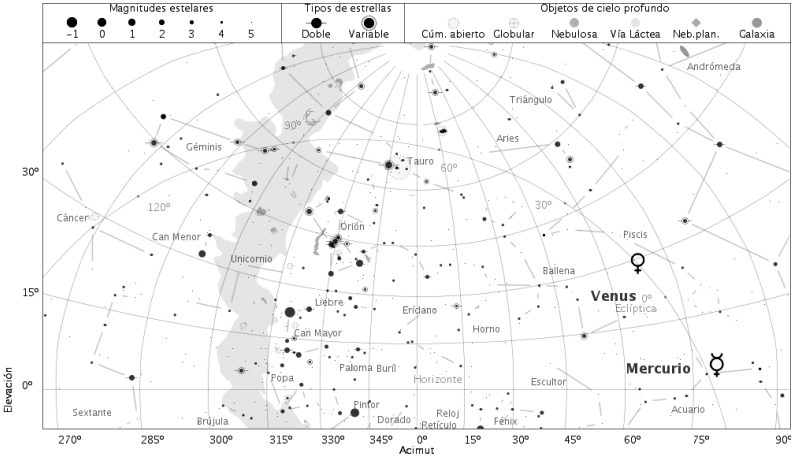
15 de enero de 2020, a las 18:15 TU



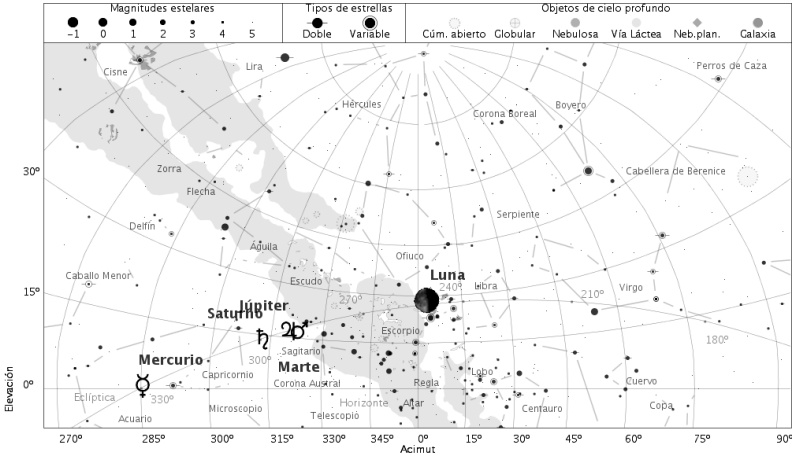
15 de febrero de 2020, a las 6:15 TU



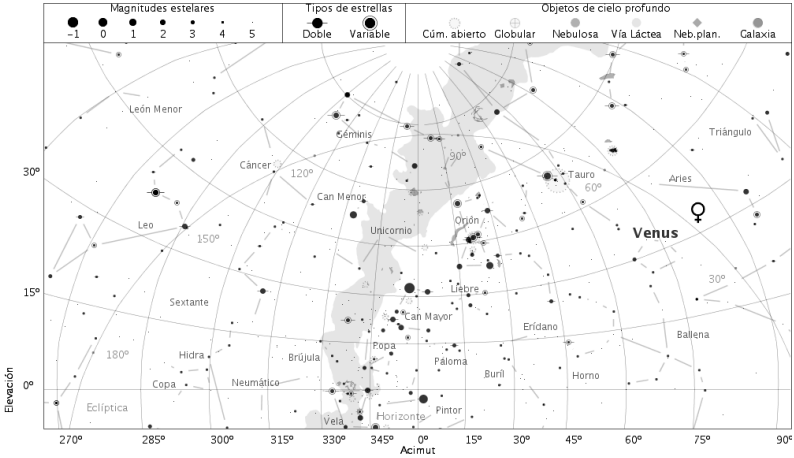
15 de febrero de 2020, a las 18:45 TU



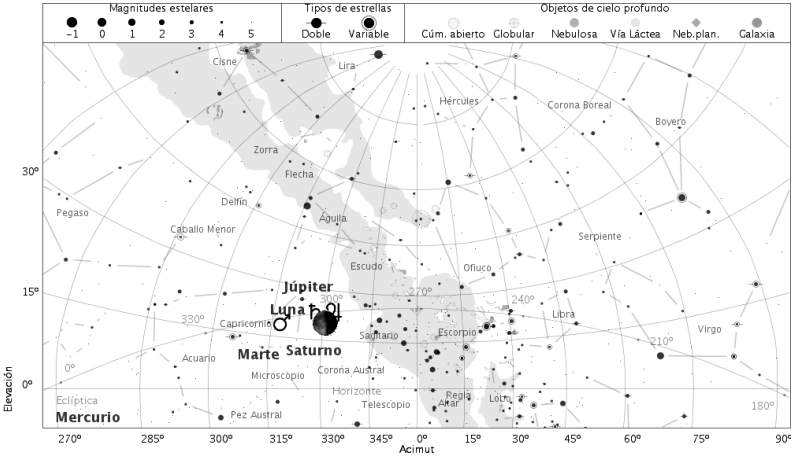
15 de marzo de 2020, a las 5:30 TU



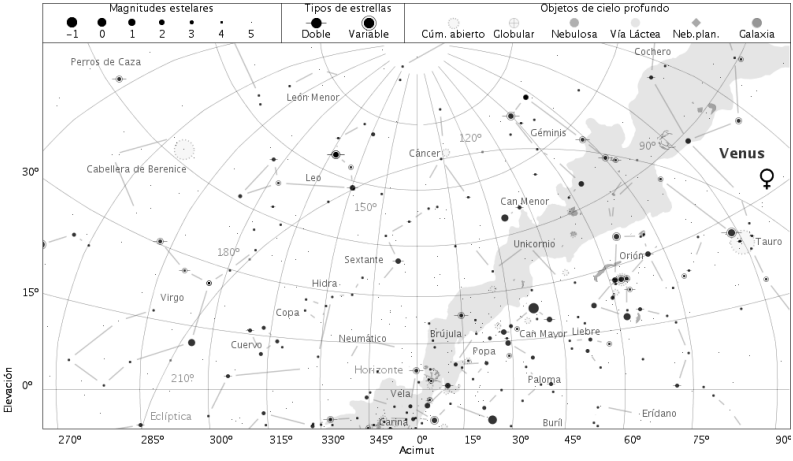
15 de marzo de 2020, a las 19:15 TU



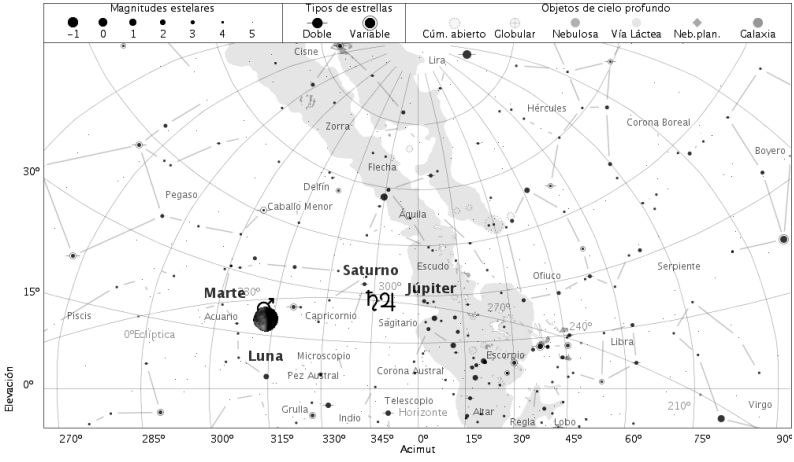
15 de abril de 2020, a las 4:45 TU



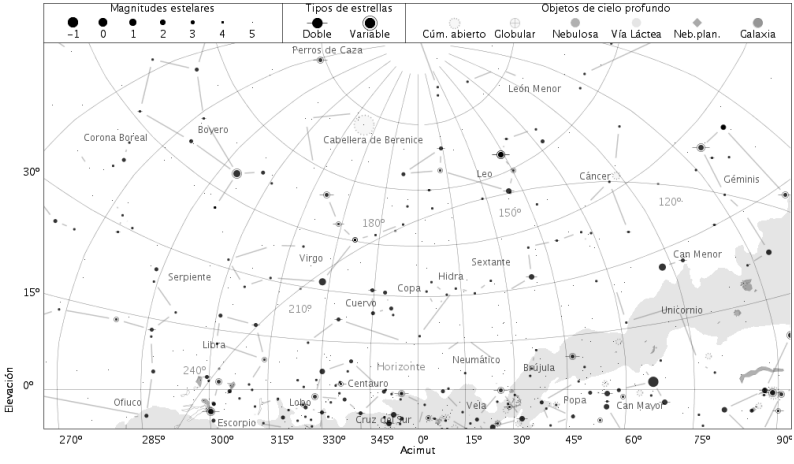
15 de abril de 2020, a las 19:45 TU



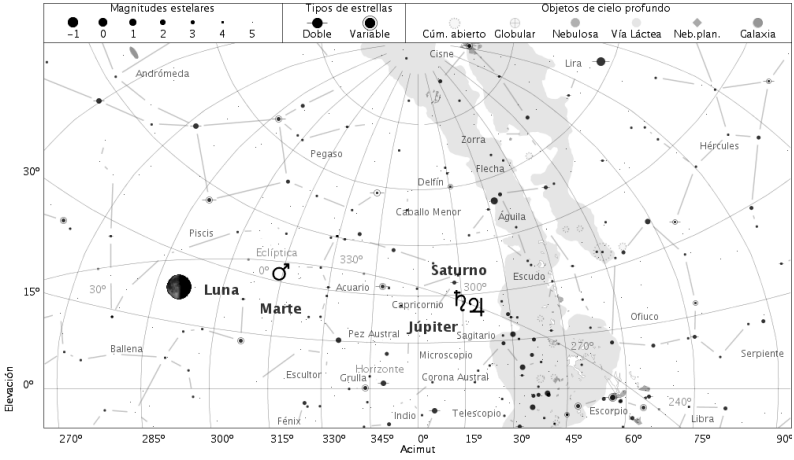
15 de mayo de 2020, a las 4:00 TU



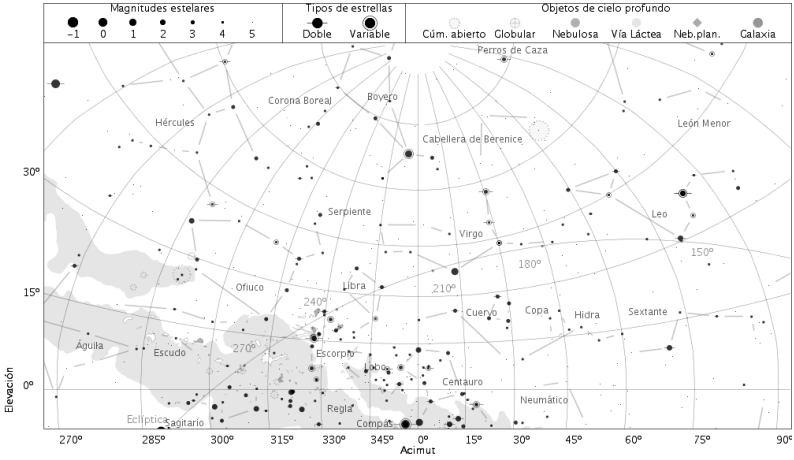
15 de mayo de 2020, a las 20:15 TU



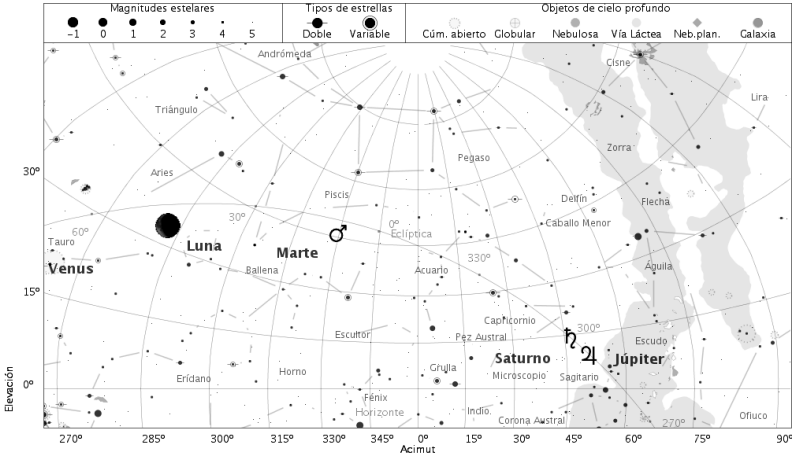
15 de junio de 2020, a las 3:45 TU



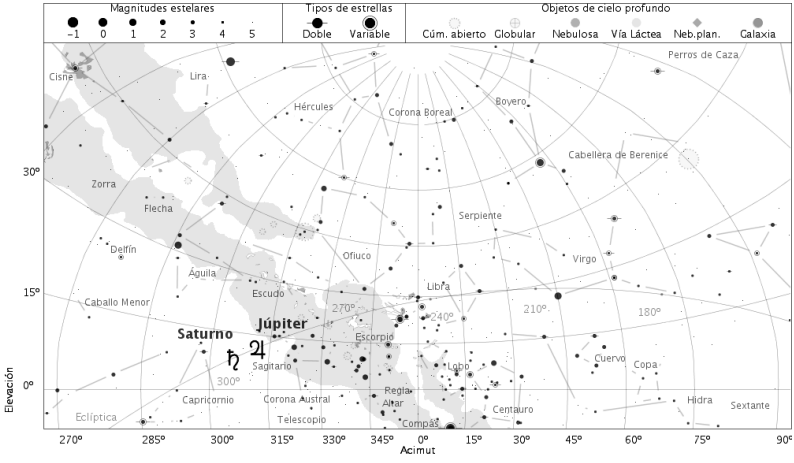
15 de junio de 2020, a las 20:45 TU



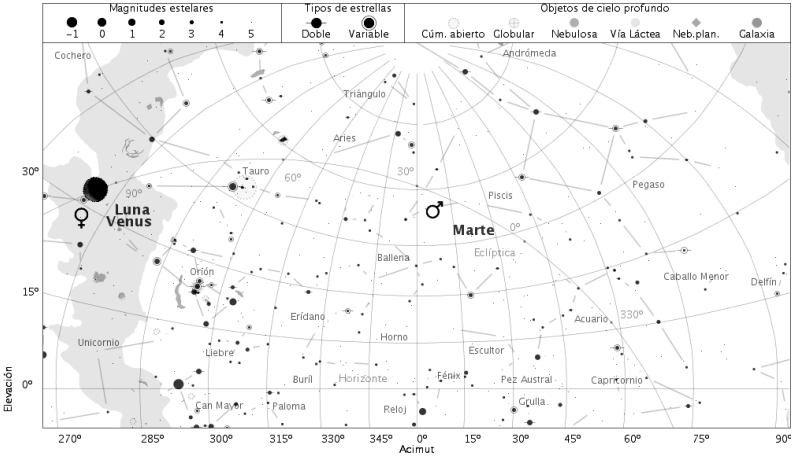
15 de julio de 2020, a las 4:00 TU



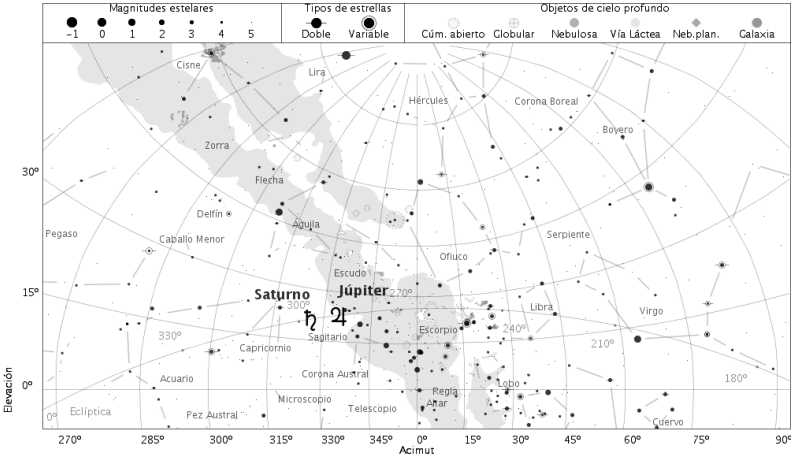
15 de julio de 2020, a las 20:45 TU



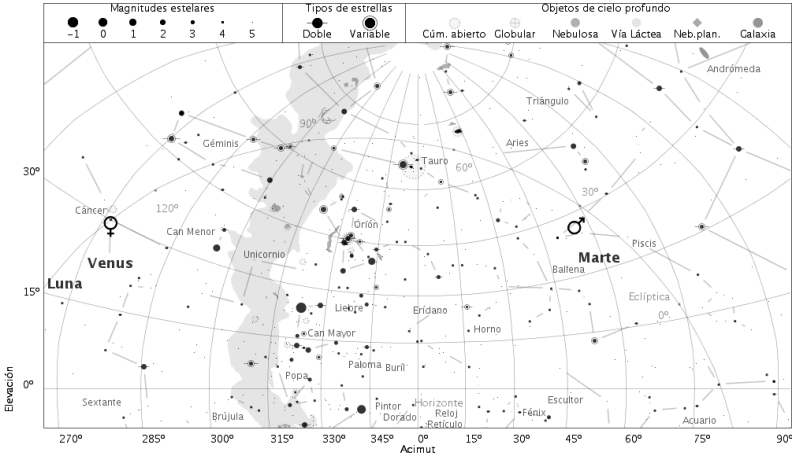
15 de agosto de 2020, a las 4:30 TU



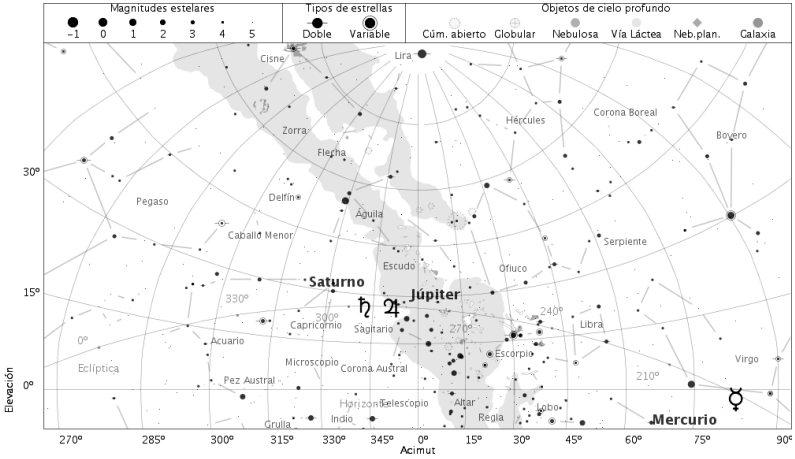
15 de agosto de 2020, a las 20:15 TU



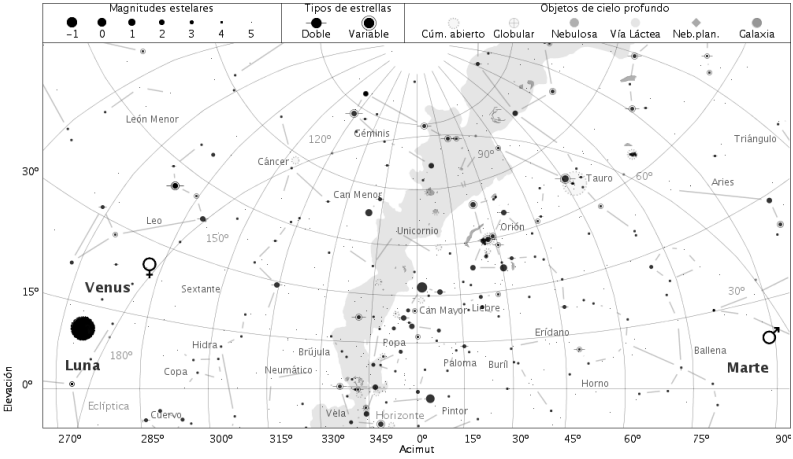
15 de setiembre de 2020, a las 5:00 TU



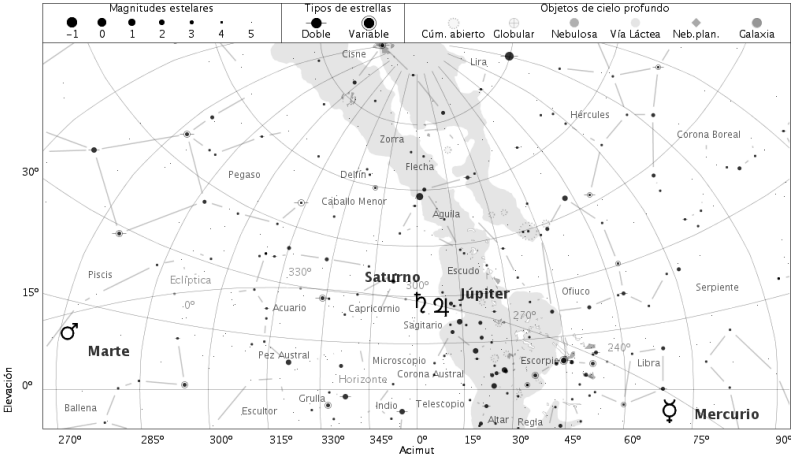
15 de setiembre de 2020, a las 19:15 TU



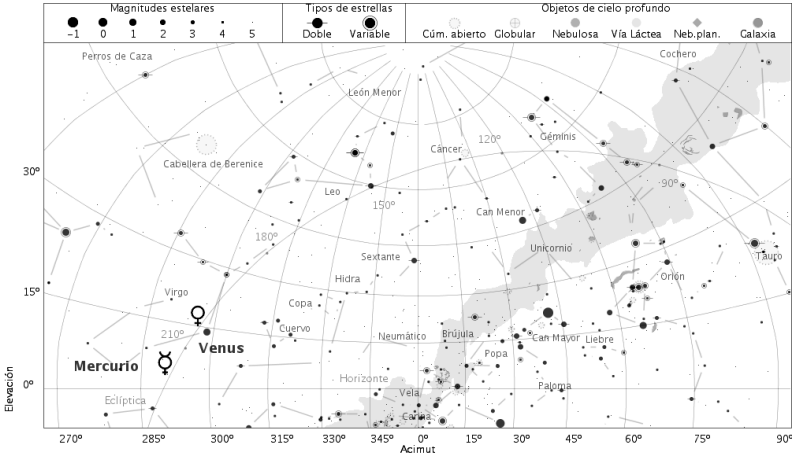
15 de octubre de 2020, a las 5:30 TU



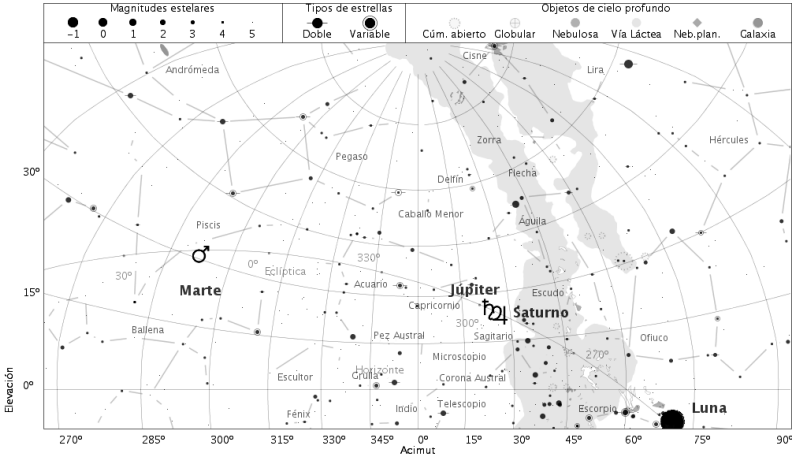
15 de octubre de 2020, a las 18:30 TU



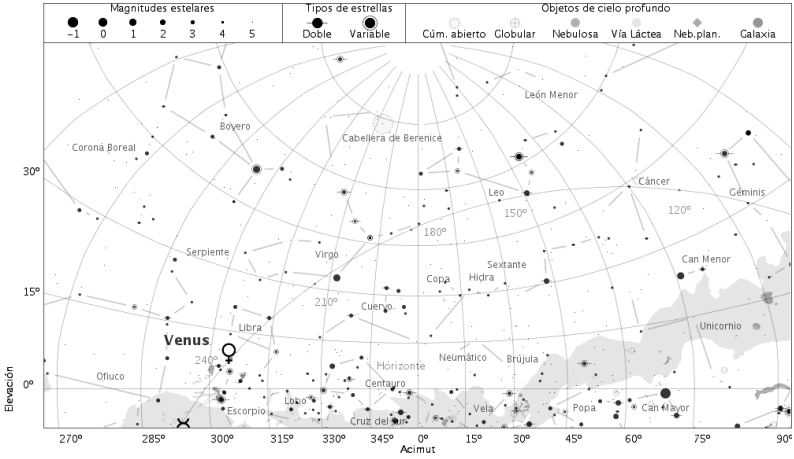
15 de noviembre de 2020, a las 6:00 TU



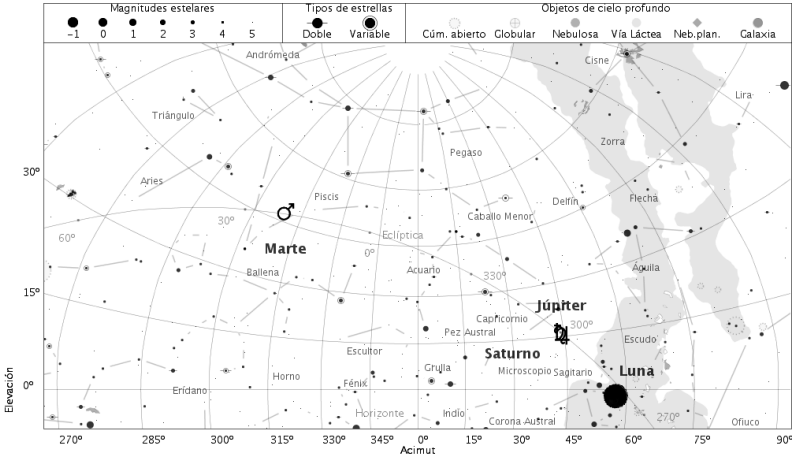
15 de noviembre de 2020, a las 18:00 TU



15 de diciembre de 2020, a las 6:30 TU



15 de diciembre de 2020, a las 17:45 TU



Ocultaciones relevantes por la Luna o el Sol en 2020

Algunas de estas ocultaciones serán visibles desde España. Las visibles desde Madrid se indican con un asterisco tras la fecha de la ocultación.

Ocultación de planetas por la Luna

Mercurio es ocultado por la Luna:	Dic 14*
Venus es ocultado por la Luna:	Jun 19*, Dic 12
Marte es ocultado por la Luna:	Feb 18, Mar 18, Ago 9, Set 6 Oct 3
Júpiter es ocultado por la Luna:	Ene 23, Feb 19

El día 28 de noviembre de 2019 comenzó una serie de ocultaciones de Júpiter que terminarán el 19 de febrero de 2020.

Las ocultaciones de Venus del 19 de junio y Mercurio del 14 de diciembre se producirán durante el día.

La ocultación de Marte del 6 de setiembre no será visible en Madrid, pero se verá en la mitad sur de España, se dan los datos para Cádiz.

Ocultación de **Mercurio** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde (⏐	altura	*A*	*B*
14 de diciembre:						
Inmersión	$9^h26\overset{m}{.}7$	150°	iluminado	17°	$0{,}5^m/°$	$-0{,}6^m/°$
Emersión	$10^h31\overset{m}{.}8$	251°	oscuro	23°	$2{,}5^m/°$	$1{,}3^m/°$

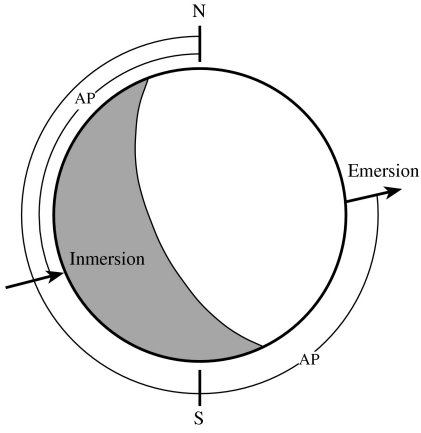
Ocultación de **Venus** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde (⏐	altura	*A*	*B*
19 de junio:						
Inmersión	$7^h26\overset{m}{.}3$	118°	iluminado	43°	$2{,}1^m/°$	$0{,}2^m/°$
Emersión	$8^h08\overset{m}{.}9$	191°	oscuro	51°	$-0{,}2^m/°$	$3{,}6^m/°$

Ocultación de **Marte** en Cádiz

Fase	TU	A.P.	borde (⏐	altura	*A*	*B*
6 de setiembre:						
Inmersión	$5^h46\overset{m}{.}3$	3°	iluminado	44°	$0{,}5^m/°$	$4{,}3^m/°$
Emersión	$6^h29\overset{m}{.}9$	297°	oscuro	36°	$1{,}8^m/°$	$-4{,}0^m/°$

El ángulo de posición (A.P.) de la inmersión o la emersión se mide desde el Norte en el sentido Norte-Este-Sur-Oeste.



Ocultación de planetas por el Sol

Saturno será ocultado por el Sol el día 13 de enero. El primer contacto se producirá a las 8^h2^m9 TU, la distancia mínima de 6′.4 se dará a las 15^h15^m9 y el último contacto a las 22^h28^m9.

Mercurio será ocultado por el Sol durante los días 4 y 5 de mayo. El primer contacto se producirá el día 4 a las 17^h10^m1 TU, la distancia mínima de 6′.4 se dará el día 4 a las 22^h0^m3 y el último contacto el día 5 a las 2^h49^m9.

Ocultación de grandes asteroides por la Luna

Flora es ocultado por la Luna:	Jun 14
Vesta es ocultado por la Luna:	Feb 2, Mar 1, Mar 29, Abr 26 May 24, Jun 21, Dic 7
Astraea es ocultado por la Luna:	Oct 17, Nov 14
Metis es ocultado por la Luna:	Jun 22, Jul 20, Ago 18*, Set 15 Oct 14, Nov 11, dic 9
Iris es ocultado por la Luna:	Mar 17, Abr 13
Juno es ocultado por la Luna:	Feb 13
Hygiea es ocultado por la Luna:	Jun 21, Jul 19

La ocultación de Metis del 18 de agosto se producirán durante el día.

Ocultación de estrellas brillantes por la Luna

En 2019 no se producirán ocultaciones de Antares (α Sco), Espiga (α Vir), Régulo (α Leo) y Aldebarán (α Tau); sus próximas series comenzarán el 25 de agosto de 2023, el 16 de junio de 2024, el 26 de julio de 2025 y el 18 de agosto de 2033 respectivamente.

• Ocultaciones de estrellas de magnitud inferior a 4 visibles desde Madrid:

μ Gem, NZC 976, ($V = 2,9$)	Ene 9*, Mar 4*
ε Tau, NZC 668, ($V = 3,5$)	Mar 29*
β Sco, NZC 2302, ($V = 2,6$)	Ago 25*, Dic 13*
λ Sgr, NZC 2672, ($V = 2,8$)	Oct 21*, Dic 15*

En la siguiente tabla no se han considerado las ocultaciones que tienen lugar de día o muy cerca del horizonte. Por tratarse de estrellas de magnitud cercana a 4 sólo se indica el fenómeno (inmersión o emersión) que tiene lugar por el borde oscuro de la Luna, salvo en la ocultación del 25 de agosto en la que se da el borde iluminado.

Características de la ocultación de otras estrellas brillantes

Fase	TU	A.P.	borde (|	altura	A	B
Marzo 29: ε Tau, ($V = 3,5$)						
Inmersión	$19^h49^m.5$	143°	oscuro	40°	$0,6^m/°$	$-4,7^m/°$
Agosto 25: β Sco, ($V = 2,6$)						
Emersión	$19^h23^m.4$	255°	iluminado	27°	$2,1^m/°$	$-0,3^m/°$
Octubre 21: λ Sgr, ($V = 2,8$)						
Inmersión	$18^h22^m.1$	73°	oscuro	20°	$1,6^m/°$	$-0,4^m/°$
Diciembre 13: β Sco, ($V = 2,6$)						
Emersión	$7^h30^m.4$	305°	oscuro	14°	$0,6^m/°$	$0,1^m/°$

Características de las ocultaciones fuera de Madrid

Las tablas precedentes dan los tiempos de inmersión y emersión del astro para un observador situado en Madrid. Los instantes de inmersión o emersión para un lugar situado $\Delta\lambda$ grados al Este y $\Delta\phi$ grados al Norte de Madrid se pueden determinar de una forma aproximada, usando los parámetros indicados en tales tablas, realizando un simple cálculo:

$$TU = TU_{Madrid} + A\,\Delta\lambda + B\,\Delta\phi$$

Para un observador situado el Oeste de Madrid $\Delta\lambda$ será negativo; para un observador situado al Sur $\Delta\phi$ será negativo.

Ejemplo: Para calcular el tiempo de inmersión de Venus en su ocultación del 19 de junio para un observador situado en Santa Cruz de Tenerife se procede como sigue:

$$\Delta\lambda = \lambda_{Sta.\ Cruz\ Tenerife} - \lambda_{Madrid} = (-16°{,}3) - (-3°{,}7) = -12°{,}6$$
$$\Delta\phi = \phi_{Sta.\ Cruz\ Tenerife} - \phi_{Madrid} = 28°{,}5 - 40°{,}4 = -11°{,}9$$

Inmersión:

TU = 7 h 26,3 min + (2,1) min/° × (–12,6°) + (0,2) min/° × (–11,9°)
= 6 h 57,5 min

Este procedimiento da errores de varios minutos para los lugares alejados del de referencia en varios grados, pues el lugar del borde lunar por el que desaparece o aparece el astro depende fuertemente y de manera no lineal (aquí supuesta) de la posición del observador. Además, esta determinación es poco precisa cuando la ocultación es muy breve.

Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2020

Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2020

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación
			Sol (ua)	Tierra (ua)	(°)
2P/Encke	Jun	26	0,34	1,19	15
58P/Jackson-Neujmin	Jun	28	1,38	1,62	58
36P/Whipple	Jul	19	3,09	3,19	75
16P/Brooks 2	Ago	2	1,47	1,44	71
11P/Tempel-Swift-LINEAR	Dic	15	1,55	1,00	103

ua = unidad astronómica = 149 597 870 700 m

Estas efemérides se basan en los parámetros orbitales suministrados por la NASA `http://ssd.jpl.nasa.gov/dat/ELEMENTS.COMET`. Determinaciones de tales parámetros más próximas a la época del perihelio pueden dar lugar a tiempos de paso diferentes en varios días. Ello es consecuencia de la variabilidad de las órbitas de los cometas por fenómenos no gravitatorios (como son la expulsión de gas o la fragmentación del núcleo), por perturbaciones planetarias aquí no tenidas en cuenta y por la mejora del conocimiento de cada trayectoria gracias a la observación continuada.

Fenómenos astronómicos día a día

En las páginas siguientes se da, mes a mes y por orden cronológico, la fecha de diversos fenómenos astronómicos, algunos de los cuales ya han sido mencionados en páginas anteriores. Se consideran los siguientes:

inicio de las fases de la Luna, paso de la Luna por el perigeo y el apogeo (mínima y máxima distancia a la Tierra, respectivamente),
pasos de la Tierra por el perihelio y el afelio (mínima y máxima distancia al Sol, respectivamente),
equinoccios y solsticios (o sea, el inicio de las estaciones),
entrada del Sol en los signos del zodíaco (instantes en que la longitud media del Sol es un múltiplo de 30°),
eclipses de Sol y de Luna,
máximas elongaciones de Mercurio y Venus (su distancia angular al Sol es máxima y su observación resulta más favorable),
máximo brillo y máximo acercamiento a la Tierra de Venus y de Marte,
conjunciones superior e inferior de Mercurio y Venus con el Sol (su longitud coincide con la del Sol, hallándose más lejos o más cerca que éste, respectivamente),
conjunción y oposición de los planetas exteriores con el Sol (la longitud geocéntrica del planeta y del Sol difieren en 0° y 180°, respectivamente),
estacionariedad de los planetas (la variación de su asc. recta se invierte),
conjunciones entre planetas (coincidencia de sus ascensiones rectas),
conjunción de los planetas con grandes asteroides y estrellas brillantes,
conjunción y oposición de grandes asteroides con el Sol, y estacionariedad.

Se incluyen también los pasos de la Luna a menos de 8° de los planetas, a menos de 3° de los mayores asteroides y a menos de 1°.3 de una estrella brillante. Las distancias que se indican corresponden a la diferencia de declinación entre el centro de la Luna y el otro astro cuando sus ascensiones rectas geocéntricas coinciden. La anotación *(Ocultación)* indica la posibilidad que en algún lugar de la Tierra el astro considerado se vea ocultado por la Luna. Algunos de los fenómenos planetarios citados no aparecen cuando tienen lugar excesivamente cerca del Sol.

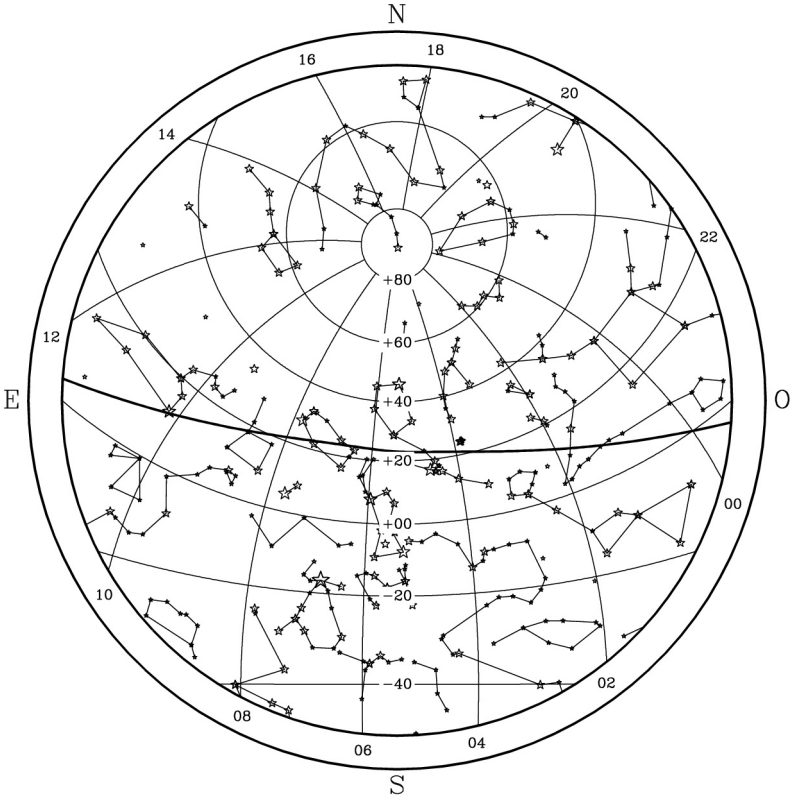
Se incluye para cada mes un mapa celeste que representa el aspecto del cielo, proyectado sobre un plano, tal como lo vería tras anochecer a mediados de mes un observador situado en la península. En tales mapas se han representado las estrellas más significativas de las constelaciones, así como trazos que ayudan a identificar a éstas. La posición media de los planetas visibles a simple vista viene dada en la correspondiente página de fenómenos mensuales, pero no ha sido incluida en los mapas celestes.

Enero 2020

1 Vesta estacionario en ascensión recta
2 Luna en apogeo
3 Cuarto creciente
3 Máximo de las Cuadrántidas
4 La Luna 5° al S de Urano
5 Tierra en el perihelio
5 Vesta 2° al S de la Luna
7 Masalia en conjunción con el Sol
8 Marte 0°,7 al S de Graffias
10 Eclipse penumbral de Luna
10 Luna llena
10 Mercurio en conjunción superior con el Sol
11 Brillo máximo de Mercurio
11 Urano estacionario en ascensión recta
12 Flora en conjunción con el Sol (Ocultación)
13 Ceres en conjunción con el Sol
13 Luna en perigeo
13 Saturno en conjunción con el Sol (Ocultación)
16 Juno 3° al S de la Luna
17 Cuarto menguante
17 Marte 5° al N de Antares
18 Metis 0°,5 al S de Urano
20 El Sol entra en Acuario
20 La Luna 2° al N de Marte
21 Astrea en oposición
21 Iris 3° al S de la Luna
23 La Luna 0°,3 al S de Júpiter (Ocultación)
24 Luna nueva
25 La Luna 1°,2 al S de Mercurio
27 Venus 0°,1 al S de Neptuno
28 Júpiter 4° al N de Nunki
28 La Luna 4° al S de Neptuno
28 La Luna 4° al S de Venus
29 Luna en apogeo
29 Partenope en conjunción con el Sol (Ocultación)

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	19	58,1	−22	47	−1,1
Venus	22	16,3	−12	25	−3,9
Marte	16	24,4	−21	24	1,5
Júpiter	18	43,0	−23	0	−1,7
Saturno	19	39,5	−21	26	0,5



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Diciembre a las 23h de TU
15 de Enero a las 22h de TU
30 de Enero a las 21 h de TU

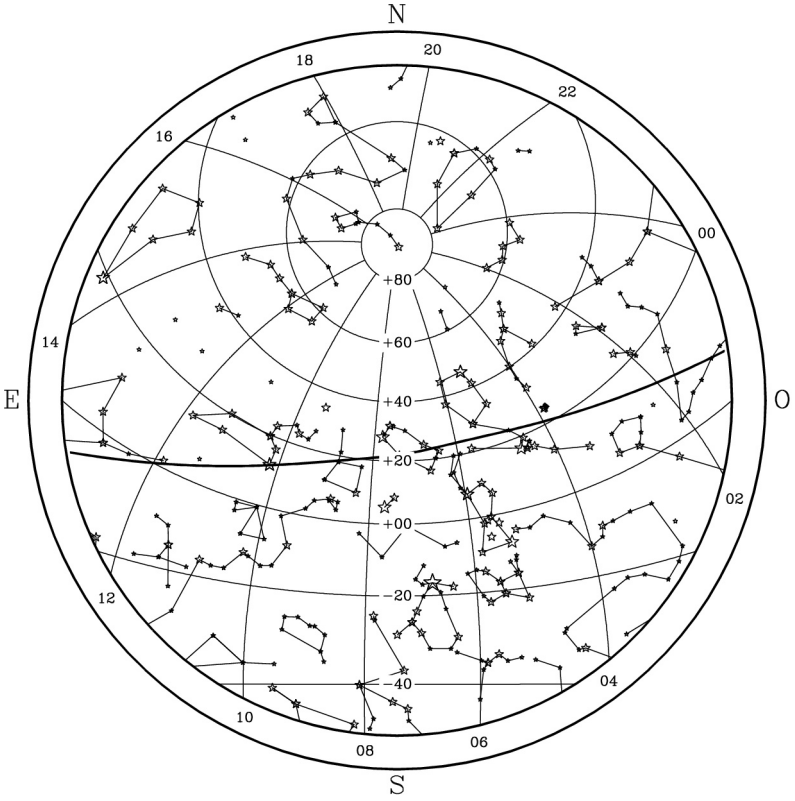
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Febrero 2020

1 La Luna 5° al S de Urano
2 Cuarto creciente
2 Vesta 0°,4 al S de la Luna (Ocultación)
9 Luna llena
10 Luna en perigeo
10 Máxima elongación Este de Mercurio (18°,2)
11 Iris 0°,7 al S de Marte
12 Eros en conjunción con el Sol
12 Juno estacionario en ascensión recta
12 Mercurio en perihelio
13 Juno 0°,6 al S de la Luna (Ocultación)
15 Cuarto menguante
16 Mercurio estacionario en ascensión recta
18 Iris 2° al S de la Luna
18 La Luna 0°,9 al N de Marte (Ocultación)
18 Victoria en oposición
19 El Sol entra en Piscis
19 La Luna 0°,8 al S de Júpiter (Ocultación)
20 La Luna 2° al S de Saturno
21 Ceres 3° al S de la Luna
21 Flora 2° al N de la Luna
23 Luna nueva
26 Luna en apogeo
26 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
27 La Luna 6° al S de Venus
28 La Luna 4° al S de Urano
29 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	22	52,6	− 5	6	0,3
Venus	0	30,8	3	18	−4,0
Marte	17	55,6	−23	37	1,3
Júpiter	19	12,1	−22	23	−1,8
Saturno	19	54,6	−20	50	0,6



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Enero a las 23h de TU
15 de Febrero a las 22h de TU
2 de Marzo a las 21 h de TU

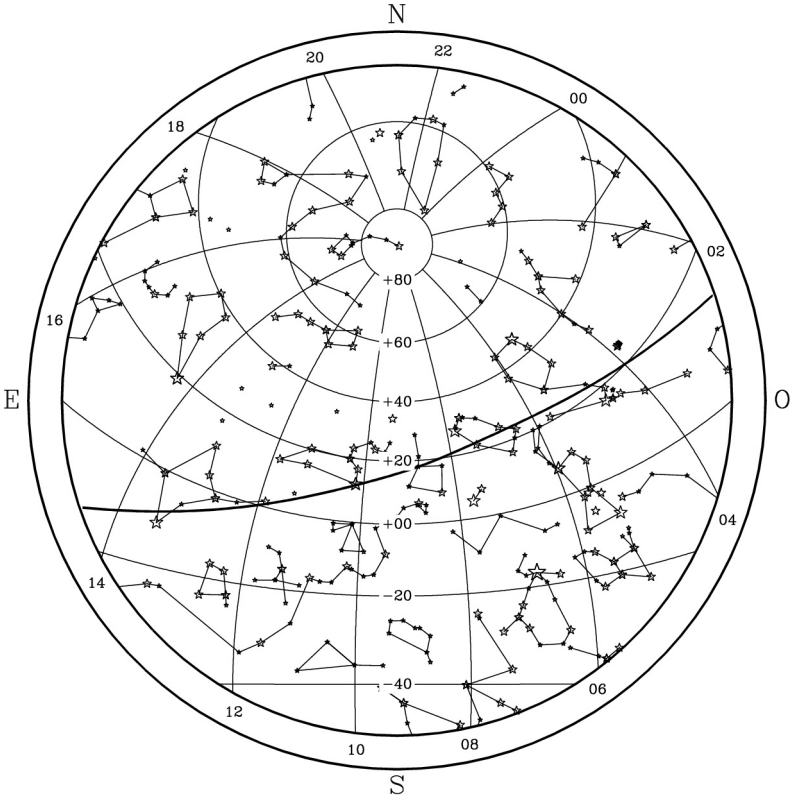
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Marzo 2020

1 Vesta 0°,2 al N de la Luna (Ocultación)
2 Cuarto creciente
5 Astraea 2° al S de la Luna
6 Marte 3° al N de Nunki
8 Neptuno en conjunción con el Sol
9 Luna llena
9 Mercurio estacionario en ascensión recta
9 Venus 2° al N de Urano
10 Luna en perigeo
11 Juno 2° al N de la Luna
14 Euterpe en oposición
16 Cuarto menguante
17 Iris 0°,2 al S de la Luna (Ocultación)
18 La Luna 0°,6 al S de Marte (Ocultación)
18 La Luna 1°,4 al S de Júpiter
18 La Luna 2° al S de Saturno
20 Ceres 3° al S de la Luna
20 Inicio de la Primavera en el hemisferio boreal
20 El Sol entra en Aries
20 Marte 0°,7 al S de Júpiter
20 Venus en perihelio
21 Flora 2° al N de la Luna
21 La Luna 4° al S de Mercurio
23 Marte 0°,0 al S de Plutón
24 Luna en apogeo
24 Luna nueva
24 Máxima elongación Este de Venus (46°,1)
24 Máxima elongación Oeste de Mercurio (27°,8)
26 La Luna 4° al S de Urano
27 Mercurio en afelio
28 La Luna 7° al S de Venus
29 Vesta 0°,3 al N de la Luna (Ocultación)
31 Marte 0°,9 al S de Saturno

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	22	5,3	−11	21	0,7
Venus	2	29,8	17	9	−4,2
Marte	19	22,7	−22	44	1,0
Júpiter	19	34,9	−21	41	−1,9
Saturno	20	6,4	−20	18	0,7



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

1 de Marzo a las 23h de TU
15 de Marzo a las 22h de TU
30 de Marzo a las 21 h de TU

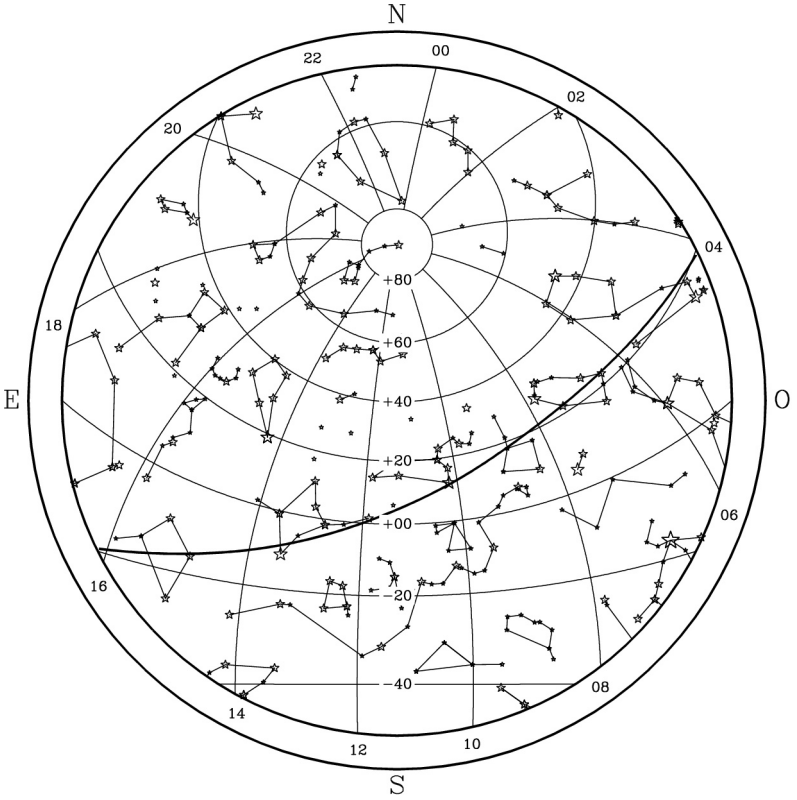
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Abril 2020

1 Cuarto creciente
2 Astraea 1° al S de la Luna
2 Juno en oposición
2 Psyche en conjunción con el Sol
3 Mercurio 1°,4 al S de Neptuno
3 Venus 0°,3 al S de Alcíone
4 Hebe en oposición
6 Júpiter 0°,8 al N de Plutón
7 Luna en perigeo
8 Luna llena
13 Iris 1°,1 al N de la Luna (Ocultación)
14 Cuarto menguante
14 La Luna 2° al S de Júpiter
15 La Luna 2° al S de Saturno
16 Egeria en conjunción con el Sol
16 La Luna 2° al S de Marte
17 Laetitia en conjunción con el Sol
18 Flora 2° al N de la Luna
19 El Sol entra en Tauro
19 La Luna 4° al S de Neptuno
20 Luna en apogeo
21 La Luna 3° al S de Mercurio
22 Máximo de las Líridas
23 Harmonia en oposición
23 Luna nueva
23 Melpomene en conjunción con el Sol
26 Hygiea 2° al N de la Luna
26 La Luna 6° al S de Venus
26 Urano en conjunción con el Sol
26 Vesta 0°,0 al N de la Luna (Ocultación)
30 Astraea 1° al S de la Luna
30 Cuarto creciente
30 Flora 2° al S de Neptuno

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	0	26,6	0	14	−0,4
Venus	4	28,0	26	15	−4,4
Marte	20	53,4	−18	48	0,6
Júpiter	19	51,6	−21	3	−2,1
Saturno	20	14,6	−19	55	0,6



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Marzo a las 23h de TU
15 de Abril a las 22h de TU
30 de Abril a las 21 h de TU

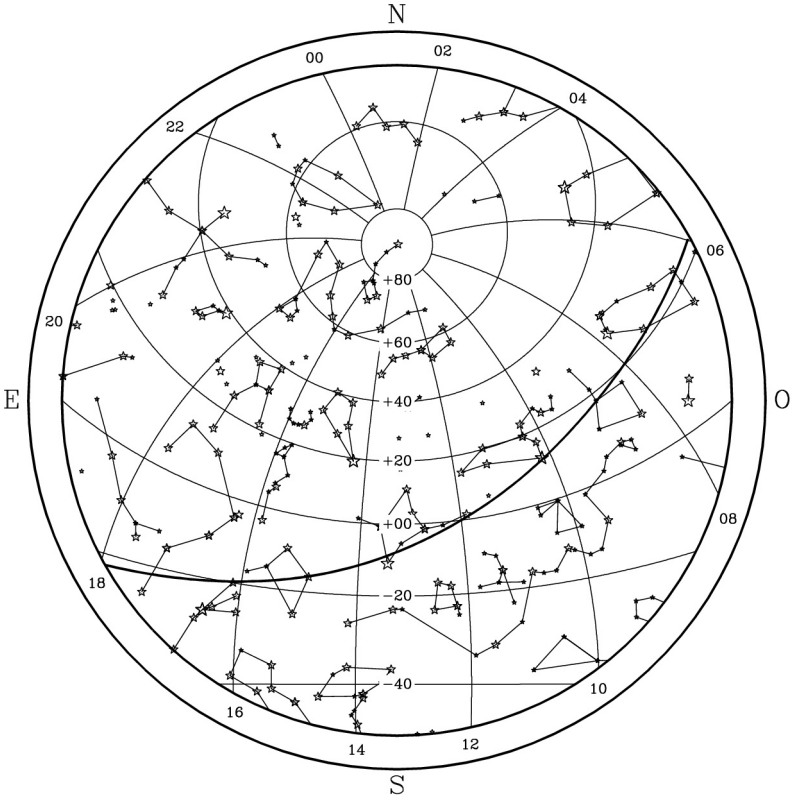
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Mayo 2020

2 Brillo máximo de Venus
4 Mercurio en conjunción superior con el Sol (Ocultación)
5 Brillo máximo de Mercurio
5 Eunomia en conjunción con el Sol
6 Luna en perigeo
6 Máximo de las η Acuáridas
7 Luna llena
10 Mercurio en perihelio
11 Iris 2° al N de la Luna
11 Palas estacionario en ascensión recta
11 Saturno estacionario en ascensión recta
12 La Luna 2° al S de Júpiter
12 La Luna 3° al S de Saturno
13 Venus estacionario en ascensión recta
14 Cuarto menguante
14 Júpiter estacionario en ascensión recta
15 La Luna 3° al S de Marte
16 La Luna 4° al S de Neptuno
17 Flora 2° al N de la Luna
17 Mercurio 7° al N de Aldebarán
18 Luna en apogeo
20 La Luna 4° al S de Urano
20 El Sol entra en Géminis
22 Luna nueva
22 Mercurio 0°,9 al S de Venus
23 Mercurio 3° al S de Elnath
24 Hygiea 1°,3 al N de la Luna y 2° al S de Mercurio
24 La Luna 3° al S de Mercurio y 4° al S de Venus
24 Vesta 0°,5 al S de la Luna (Ocultación)
25 Metis 2° al N de la Luna
26 Irene en conjunción con el Sol
27 Juno estacionario en ascensión recta
28 Astraea 2° al S de la Luna
30 Cuarto creciente

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	4	17,0	22	54	−1,1
Venus	5	23,1	27	15	−4,3
Marte	22	15,9	−12	51	0,2
Júpiter	19	57,3	−20	52	−2,3
Saturno	20	16,9	−19	51	0,5



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

30 de Abril a las 23h de TU
15 de Mayo a las 22h de TU
30 de Mayo a las 21 h de TU

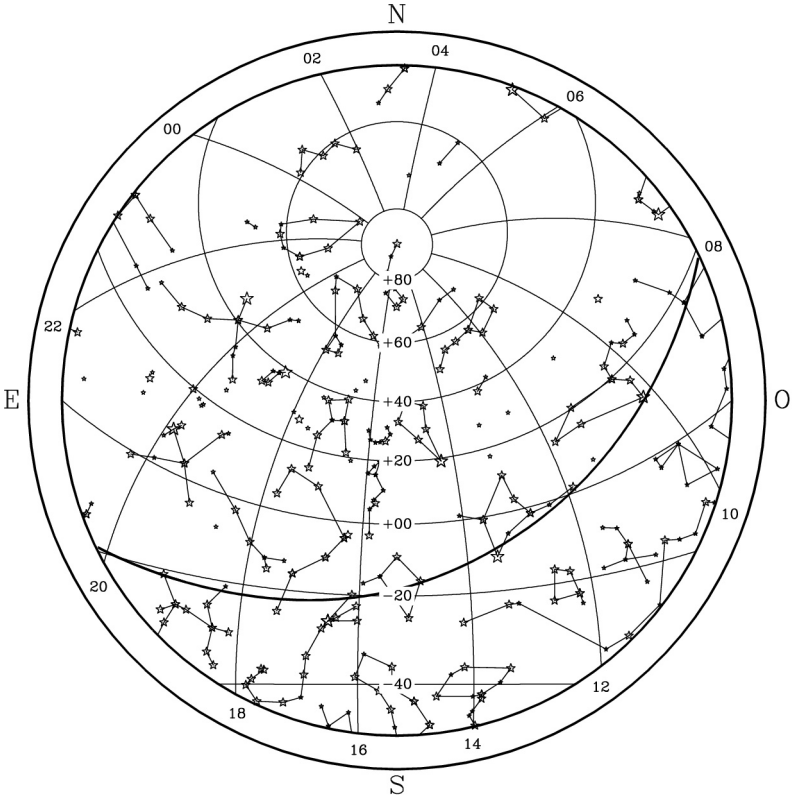
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Junio 2020

3 Luna en perigeo
3 Metis 0°,7 al N de Mercurio
3 Venus en conjunción inferior con el Sol
3 Máximo acercamiento de Venus a la Tierra
4 Máxima elongación Este de Mercurio (23°,6)
5 Eclipse penumbral de Luna
5 Luna llena
7 Iris 3° al N de la Luna
8 La Luna 2° al S de Júpiter
9 La Luna 3° al S de Saturno
12 La Luna 3° al S de Marte y 4° al S de Neptuno
12 Marte 2° al S de Neptuno
13 Cuarto menguante
14 Flora 0°,7 al N de la Luna (Ocultación)
15 Luna en apogeo
17 La Luna 4° al S de Urano
17 Mercurio estacionario en ascensión recta
19 La Luna 0°,6 al N de Venus (Ocultación)
20 Amphitrite en conjunción con el Sol
20 Inicio del Verano en el hemisferio boreal
20 El Sol entra en Cáncer
21 Eclipse anular de Sol
21 Luna nueva
22 La Luna 4° al N de Mercurio
22 Metis 1°,3 al N de la Luna
23 Mercurio en afelio
23 Neptuno estacionario en ascensión recta
24 Venus estacionario en ascensión recta
25 Astraea 2° al S de la Luna
25 Hygiea en conjunción con el Sol
28 Cuarto creciente
28 Iris en oposición
28 Júpiter 0°,7 al N de Plutón
29 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
30 Luna en perigeo

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	7	2,2	22	7	1,8
Venus	4	23,9	19	33	−4,1
Marte	23	34,3	− 5	45	−0,2
Júpiter	19	51,1	−21	14	−2,5
Saturno	20	13,1	−20	6	0,3



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Mayo a las 23h de TU
15 de Junio a las 22h de TU
30 de Junio a las 21 h de TU

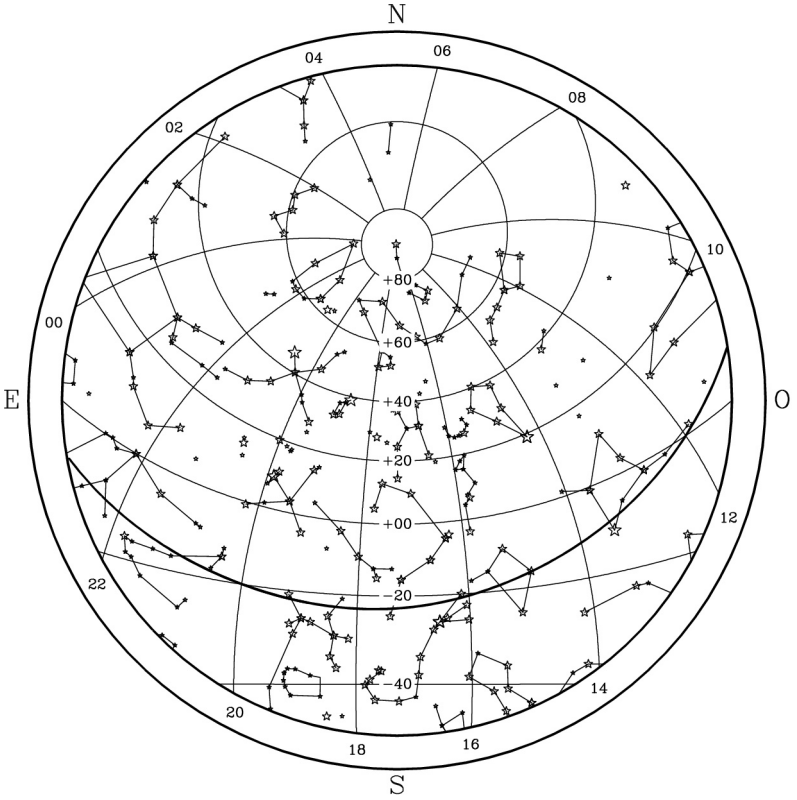
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Julio 2020

1 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
4 Tierra en el afelio
5 Brillo máximo de Venus
5 Eclipse penumbral de Luna
5 La Luna 2° al S de Júpiter
5 Luna llena
5 Vesta en conjunción con el Sol (Ocultación)
6 La Luna 2° al S de Saturno
10 La Luna 4° al S de Neptuno
10 Venus en afelio
12 Ceres estacionario en ascensión recta
12 Cuarto menguante
12 Luna en apogeo
12 Mercurio estacionario en ascensión recta
12 Venus 1°,0 al N de Aldebarán
13 Flora 1°,3 al S de la Luna
13 Palas en oposición
14 Júpiter en oposición
14 La Luna 4° al S de Urano
17 La Luna 3° al N de Venus
19 Hygiea 0°,8 al S de la Luna (Ocultación)
19 La Luna 4° al N de Mercurio
20 Luna nueva
20 Saturno en oposición
22 El Sol entra en Leo
22 Máxima elongación Oeste de Mercurio (20°,1)
24 Astraea 2° al S de la Luna
25 Luna en perigeo
27 Cuarto creciente
27 Hygiea 1°,4 al N de Mercurio
27 Metis en conjunción con el Sol
30 Máximo de las δ Acuáridas

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	6	24,5	19	20	1,6
Venus	4	43,4	17	43	−4,4
Marte	0	41,4	0	41	−0,7
Júpiter	19	36,4	−21	55	−2,6
Saturno	20	5,1	−20	34	0,1



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

30 de Junio a las 23h de TU
15 de Julio a las 22h de TU
30 de Julio a las 21 h de TU

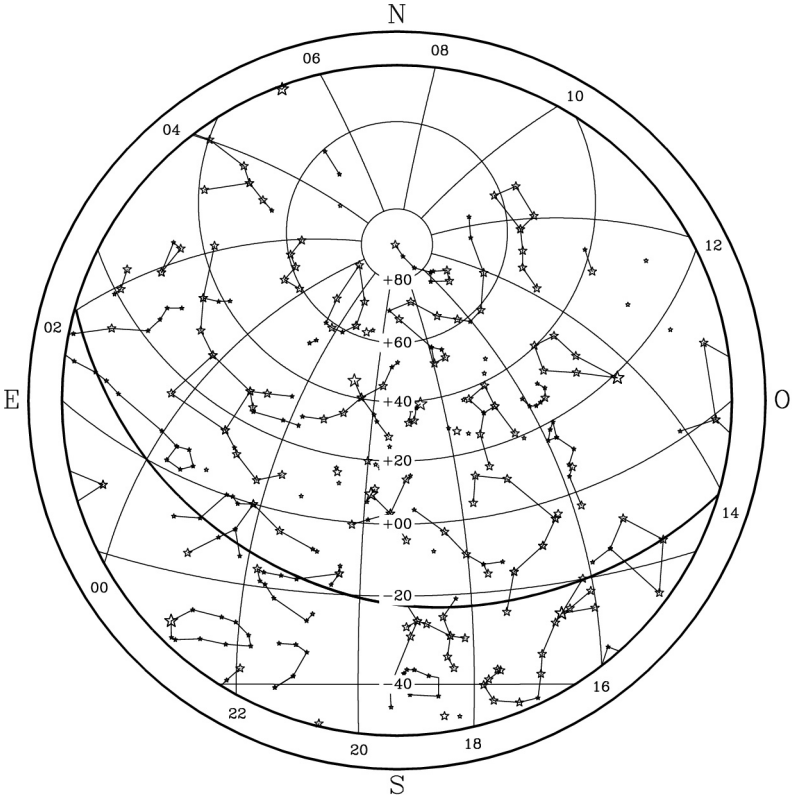
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Agosto 2020

1 La Luna 2° al S de Júpiter
2 La Luna 2° al S de Saturno
2 Mercurio 7° al S de Pólux
3 Luna llena
3 Marte en perihelio
3 Vesta 0°,2 al N de Mercurio
6 La Luna 4° al S de Neptuno
6 Mercurio en perihelio
9 La Luna 0°,8 al S de Marte (Ocultación)
9 Luna en apogeo
10 La Luna 4° al S de Urano
11 Cuarto menguante
12 Máximo de las Perséidas
13 Máxima elongación Oeste de Venus (45°,5)
15 La Luna 4° al N de Venus
15 Urano estacionario en ascensión recta
16 Brillo máximo de Mercurio
16 Hygiea 2° al S de la Luna
17 Mercurio en conjunción superior con el Sol
17 Vesta 2° al S de la Luna
19 Luna nueva
21 Astraea 2° al S de la Luna
21 Luna en perigeo
22 El Sol entra en Virgo
25 Cuarto creciente
25 La Luna 1°,1 al N de Graffias (Ocultación)
28 Ceres en oposición
28 Masalia en oposición
29 La Luna 1°,4 al S de Júpiter
29 La Luna 2° al S de Saturno

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	9	31,2	16	30	−1,8
Venus	6	29,5	20	5	−4,2
Marte	1	33,6	5	23	−1,4
Júpiter	19	21,3	−22	31	−2,5
Saturno	19	55,9	−21	2	0,2



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Julio a las 23h de TU
15 de Agosto a las 22h de TU
30 de Agosto a las 21 h de TU

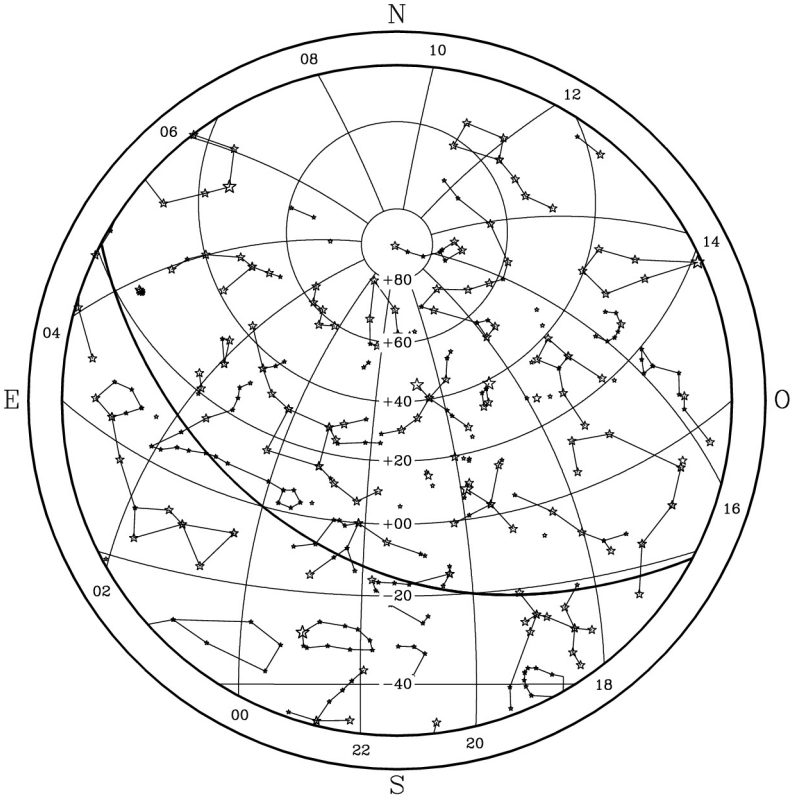
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Setiembre 2020

2 La Luna 4° al S de Neptuno
2 Luna llena
2 Palas estacionario en ascensión recta
4 Hygiea 2° al N de Venus
6 La Luna 0°,0 al S de Marte (Ocultación)
6 Luna en apogeo
7 La Luna 3° al S de Urano
9 Marte estacionario en ascensión recta
10 Cuarto menguante
11 Fortuna en oposición
11 Neptuno en oposición
13 Júpiter estacionario en ascensión recta
13 Hygiea 3° al S de la Luna
14 La Luna 4° al N de Venus
14 Vesta 2° al S de la Luna
15 Metis 0°,7 al S de la Luna (Ocultación)
17 Luna nueva
18 Astraea 1° al S de la Luna
18 La Luna 6° al N de Mercurio
18 Luna en perigeo
19 Mercurio en afelio
22 Inicio del Otoñno en el hemisferio boreal
22 El Sol entra en Libra
22 La Luna 0°,8 al N de Graffias (Ocultación)
22 Mercurio 0°,3 al N de Espiga
23 Vesta 2° al N de Venus
24 Cuarto creciente
25 La Luna 1° al S de Júpiter
25 La Luna 2° al S de Saturno
29 Saturno estacionario en ascensión recta
30 La Luna 4° al S de Neptuno

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	12	50,3	− 6	16	−0,0
Venus	8	47,2	17	2	−4,0
Marte	1	49,9	6	50	−2,2
Júpiter	19	15,7	−22	43	−2,3
Saturno	19	50,1	−21	20	0,4



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Agosto a las 23h de TU
15 de Setiembre a las 22h de TU
30 de Setiembre a las 21 h de TU

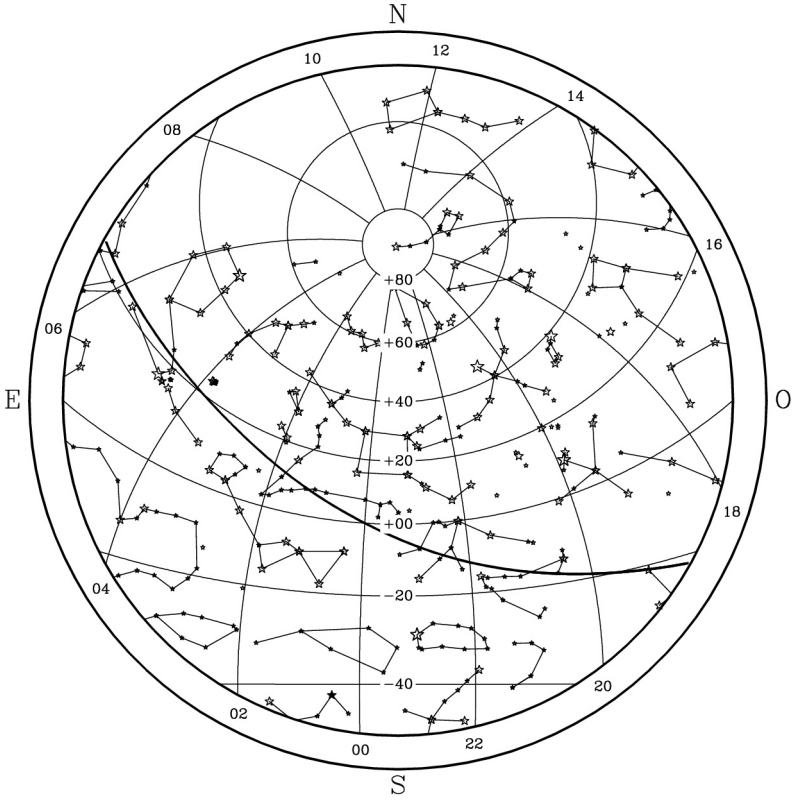
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Octubre 2020

1 Luna llena
1 Máxima elongación Este de Mercurio (25°,8)
2 Venus 0°,1 al S de Régulo
3 La Luna 0°,7 al S de Marte (Ocultación)
3 Luna en apogeo
4 La Luna 3° al S de Urano
6 Máximo acercamiento de Marte a la Tierra
8 Máximo de las Dracónidas
10 Cuarto menguante
12 Vesta 2° al S de la Luna
13 Brillo máximo de Marte y Marte en oposición
13 La Luna 4° al N de Venus
14 Mercurio estacionario en ascensión recta
14 Metis 0°,9 al S de la Luna (Ocultación)
14 Victoria en conjunción con el Sol
16 Luna nueva y Luna en perigeo
17 La Luna 7° al N de Mercurio
19 La Luna 0°,8 al N de Graffias (Ocultación)
21 Máximo de las Oriónidas
22 Ceres estacionario en ascensión recta
22 La Luna 2° al S de Júpiter
22 El Sol entra en Escorpio
23 Cuarto creciente
23 La Luna 3° al S de Saturno
23 Partenope en oposición
25 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
25 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
26 Astrea en conjunción con el Sol
27 La Luna 4° al S de Neptuno
29 La Luna 3° al S de Marte
30 Luna en apogeo
30 Venus en perihelio
31 La Luna 3° al S de Urano
31 Luna llena
31 Urano en oposición

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	14	32,5	−18	25	0,9
Venus	11	3,7	7	7	−3,9
Marte	1	21,1	5	23	−2,6
Júpiter	19	22,6	−22	31	−2,1
Saturno	19	50,3	−21	21	0,5



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

30 de Setiembre a las 23h de TU
15 de Octubre a las 22h de TU
30 de Octubre a las 21 h de TU

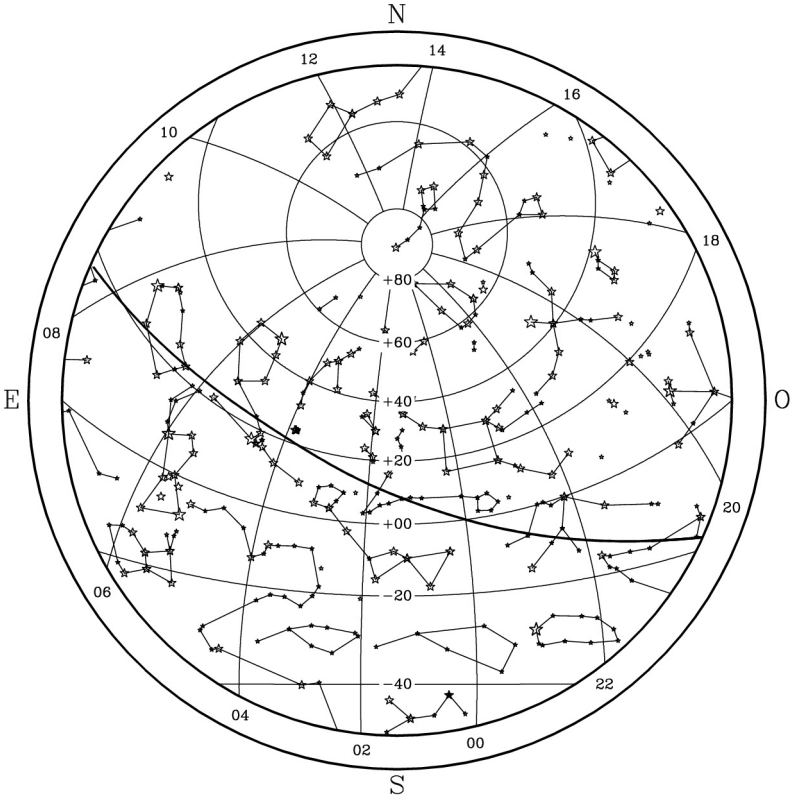
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Noviembre 2020

1 Flora en oposición
2 Mercurio en perihelio
3 Mercurio estacionario en ascensión recta
8 Cuarto menguante
8 Juno en conjunción con el Sol
10 Máxima elongación Oeste de Mercurio (19°,1)
10 Vesta 2° al S de la Luna
11 Metis 0°,5 al S de la Luna (Ocultación)
12 La Luna 3° al N de Venus
13 Júpiter 0°,7 al N de Plutón
13 La Luna 2° al N de Mercurio
14 Luna en perigeo
15 La Luna 0°,6 al N de Graffias (Ocultación)
15 Luna nueva
15 Marte estacionario en ascensión recta
15 Venus 4° al N de Espiga
17 Máximo de las Leónidas
18 Euterpe en conjunción con el Sol
19 La Luna 2° al S de Júpiter
19 La Luna 3° al S de Saturno
20 Hebe en conjunción con el Sol
21 El Sol entra en Sagitario
22 Cuarto creciente
22 Mercurio 1°,3 al N de Zuben el Genubi
23 La Luna 4° al S de Neptuno
24 Astraea 3° al N de Mercurio
25 La Luna 5° al S de Marte
27 La Luna 3° al S de Urano
27 Luna en apogeo
29 Neptuno estacionario en ascensión recta
30 Eclipse penumbral de Luna
30 Luna llena

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	14	13,2	−11	5	−0,6
Venus	13	23,7	− 6	53	−3,9
Marte	0	57,4	5	13	−1,7
Júpiter	19	40,6	−21	53	−1,9
Saturno	19	56,9	−21	5	0,6



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

31 de Octubre a las 23h de TU
15 de Noviembre a las 22h de TU
30 de Noviembre a las 21 h de TU

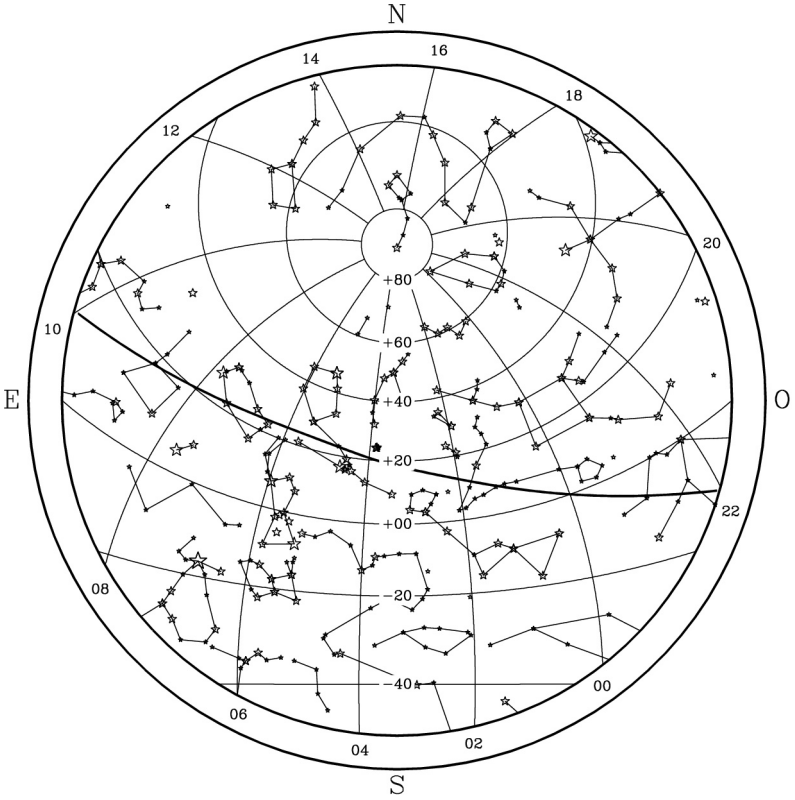
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Diciembre 2020

3 Venus 1°,3 al N de Zuben el Genubi
7 Psyche en oposición
7 Vesta 0°,4 al S de la Luna (Ocultación)
8 Cuarto menguante
9 Metis 0°,2 al N de la Luna (Ocultación)
12 Astraea 2° al N de la Luna
12 La Luna 0°,9 al N de Venus (Ocultación)
12 Luna en perigeo
13 Astraea 3° al N de Venus
13 La Luna 0°,7 al N de Graffias (Ocultación)
14 Eclipse total de Sol
14 La Luna 1°,2 al N de Mercurio (Ocultación)
14 Luna nueva
14 Máximo de las Gemínidas
16 Mercurio en afelio
17 La Luna 3° al S de Júpiter y 3° al S de Saturno
18 Venus 0°,2 al N de Graffias
20 Brillo máximo de Mercurio
20 Egeria en oposición
20 La Luna 5° al S de Neptuno
20 Mercurio en conjunción superior con el Sol
21 Cuarto creciente
21 Inicio del Invierno en el hemisferio boreal
21 El Sol entra en Capricornio
21 Júpiter 0°,1 al S de Saturno
21 Laetitia en oposición
22 Máximo de las Úrsidas
23 La Luna 6° al S de Marte
23 Venus 6° al N de Antares
24 La Luna 3° al S de Urano
24 Luna en apogeo
30 Ceres estacionario en ascensión recta
30 Iris 3° al N de Neptuno
30 Luna llena
30 Palas estacionario en ascensión recta

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	17	18,8	−24	6	−1,0
Venus	15	48,9	−18	42	−3,8
Marte	1	16,3	8	33	−0,7
Júpiter	20	5,0	−20	49	−1,8
Saturno	20	8,1	−20	34	0,6



Aspecto del cielo tras anochecer, visto desde el centro de la península:

30 de Noviembre a las 23h de TU
15 de Diciembre a las 22h de TU
30 de Diciembre a las 21 h de TU

En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

ECLIPSES

En esta sección figura una descripción de los eclipses de Sol y de Luna que van a tener lugar durante el año. Estos son:

Enero 10	penumbral de Luna
Junio 5	penumbral de Luna
Junio 21	anular de Sol
Julio 5	penumbral de Luna
Noviembre 30	penumbral de Luna
Diciembre 14	total de Sol

Introducción

Convenios

Todos los tiempos en este apartado vienen dados en Tiempo Universal.

Como en el resto del ANUARIO, la **latitud** se considera positiva al Norte y negativa al Sur del ecuador terrestre, tomando valores entre -90° y $+90^\circ$. La **longitud** está referida al meridiano de Greenwich; se considera **positiva** al **Este** y negativa al Oeste de dicho meridiano, tomando valores entre -180° y $+180^\circ$.

Estadísticas

En un año se producen entre 4 y 7 eclipses, incluyendo los de Sol y los de Luna. En cada año hay al menos dos eclipses de cada tipo. Normalmente un eclipse de Sol y uno de Luna se acompañan, es decir uno se produce media lunación después que el otro. A lo largo de este siglo se producirán 223 eclipses solares, 68 de ellos serán totales, 72 anulares, 7 mixtos (anular/total) y 76 de penumbra (parciales). Asímismo, habrá 230 eclipses lunares, 85 de ellos totales, 58 parciales y 87 penumbrales.

Eclipses de Sol

Eclipses de Sol en 2020

Se producirán dos eclipses de Sol, uno anular el 21 de junio y otro total el 14 de diciembre. Ninguno será visible desde España.

Se describen en detalle en las páginas siguientes.

Eclipses de Sol durante el año próximo

En 2021 habrá dos eclipses de Sol, uno anular y otro total.

El eclipse anular del 10 de junio será visible como parcial en el norte de Norteamérica, Europa y Asia. La anularidad se verá en el norte de Canada, Groenlandia y Rusia, alcanzando una magnitud de 0,94. Será visible en España como parcial.

El eclipse total del 4 de diciembre se verá como parcial en la Antártida, el sur de África y el sur del océano Atlántico. La totalidad se verá en la Antártida, alcanzando una magnitud de 1,04.

Magnitud

Se denomina así a la fracción del diámetro solar ocultada por la Luna. Para un eclipse total es 1, aunque en ocasiones se da un valor mayor que indica la razón entre el diámetro lunar y el solar. Para un eclipse anular o parcial la magnitud es menor que 1. No debe confundirse la magnitud con el *oscurecimiento* del disco solar, o sea con la fracción de superficie ocultada por la luna. El oscurecimiento es siempre una cantidad numérica menor que la magnitud. Se relacionan, de una manera orientativa, según:

Magnitud	Oscurecimiento
0,1	0,04
0,2	0,10
0,3	0,19
0,4	0,28
0,5	0,39

Magnitud	Oscurecimiento
0,6	0,50
0,7	0,62
0,8	0,75
0,9	0,87
1,0	1,00

Eclipses de Luna

Eclipses de Luna en 2020

Se producirán cuatro eclipses penumbrales de Luna, el primero 10 de enero, seguido por el 5 de junio, el 5 de julio y el último el 30 de noviembre.

Los tres primeros eclipses serán visibles desde España.

Se describen en detalle en las páginas siguientes.

Eclipses de Luna durante el año próximo

En 2021 habrá dos eclipses de Luna. Uno total el 26 de mayo, que será visible en el este de Asia, Oceanía, América y el Pacífico. Y otro parcial el 19 de noviembre que será visible en América, Europa, Asia y Oceanía. En España será visible la fase penumbral del segundo eclipse.

Magnitud

Indica la distancia a que el disco lunar ha entrado en la sombra de la Tierra en el instante del máximo del eclipse, tomando como unidad el diámetro lunar y midiéndolo según la línea que une el centro de la Luna con el eje del cono de sombra de la Tierra. Si su valor es menor que 1 se trata de un eclipse parcial. En otro caso, es un eclipse total.

En el caso de un eclipse de penumbra la magnitud antes descrita carece de sentido y en su lugar se da la *magnitud penumbral* que indica, de manera análoga, la distancia a que el disco lunar ha entrado en la penumbra de la Tierra.

Eclipse anular de Sol del día 21 de junio (Saros 137)

Este eclipse anular es el número 36 de los 70 eclipses del ciclo Saros 137 y no será visible desde España.

El eclipse será visible como parcial en África, sureste de Europa y Asia. Se iniciará a las 3^h46^m TU (Tiempo Universal) al oeste de Nigori (Kenia) y terminará a las 9^h34^m TU a una latitud de $+9^\circ$ en un punto del océano Pacífico al este de Filipinas. La duración total del fenómeno será de 348 minutos (algo más de 5 horas y tres cuartos).

El eclipse anular se iniciará a las 4^h48^m al suroeste de Impfondo (República del Congo), atravesará la República Democrática del Congo, República Centroafricana, Sudán del Sur, Etiopía y Eritrea; cruzará el mar Rojo y se internará en la península arábiga; tras atravesar el golfo Pérsico volverá a tocar tierra firme al sur de Pakistán, cruzará el norte de la India y se adentrará en China a traves del Tibet, cruzando el país de oeste a este y atravesando la isla Taiwan. El eclipse anular finalizará a las 8^h32^m a una latitud $+11^\circ$ en un punto del océano Pacífico al sureste de la isla de Guam.

El máximo del eclipse anular se dará a las 6^h40^m cerca de Jyotirmath (India). La duración del eclipse anular en el máximo será de 38 s, siendo mayor al principio y final del eclipse, momento es los qué durará alrededor de 1 min 22 s.

En Lalibela (Etiopía) la duración de la anularidad será de 1 min 8 s, en Marib (Yemen) 36 s, en Dehradum (India) 38 s, en Xiamen (República Popular China) 58 s y en Chiayi, Taiwán (República Popular China) 1 min.

Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	3^h46^m	$-1^\circ03'$	$34^\circ25'$
Inicio del eclipse anular	4^h48^m	$1^\circ26'$	$17^\circ48'$
Máximo del eclipse	6^h40^m	$30^\circ32'$	$79^\circ41'$
Conjunción en Asc. Recta	6^h41^m	$30^\circ35'$	$80^\circ10'$
Fin del eclipse anular	8^h32^m	$11^\circ28'$	$147^\circ35'$
Fin del eclipse general	9^h34^m	$9^\circ11'$	$130^\circ58'$

Características del eclipse en el máximo

Duración de la fase anular	38^s
Anchura de la sombra	21 km
Razón entre el radio topocéntrico de la Luna y el del Sol	99,4%
Magnitud del eclipse anular	0,994
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	0,121
Altura del Sol	83°

Eclipse anular de 21 de junio de 2020



Eclipse total de Sol del día 14 de diciembre (Saros 142)

Este eclipse total es el número 23 de los 72 eclipses del ciclo Saros 142 y no será visible en España.

El eclipse parcial será visible en el Pacífico, Sudamérica, la Antártida y el sur del Atlántico. El eclipse se iniciará a las 13^h34^m TU (Tiempo Universal) a una latitud de $-2°$ en el océano Pacífico y el fin del eclipse se producirá a las 18^h53^m TU en un punto del océano Atlántico al sur de la isla Santa Elena (Reino Unido). La duración total del fenómeno será de 319 minutos (algo más de 5 horas y un cuarto).

El eclipse total se iniciará a las 14^h32^m en un punto del océano Pacífico al este de las islas Marquesas (Francia), cruzará el Océano Pacífico de oeste a este, se adentrará en Chile por la región de la Araucanía y el norte de la región de los Ríos, atravesará las provincias argentinas de Neuquén y Río Negro y finalizará cruzando el Atlántico de oeste a este. El eclipse terminará a las 17^h54^m a una latitud de $-23,5°$ en un punto del océano Atlántico frente a la costa de Namibia. La duración total del fenómeno será de 202 minutos (algo menos de 3 horas y media).

El máximo del eclipse se dará a las 16^h13^m al noroeste de Sierra Colorada, en la provincia argentina de Río Negro, siendo la duración máxima de la totalidad de 2 min 10 s. En el máximo la anchura de la sombra será de unos 90 km.

En Temuco (Chile) la duración de la totalidad será de 1 min, en Villarrica (Chile) 2 min 9 s, en Piedra del Águila (Argentina) 1 min 54 s, en Las Grutas (Argentina) 2 min 7 s y en el sur de Viedma (Argentina) alcanzará los 30 s.

Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	13^h34^m	–2°06′	–115°39′
Inicio del eclipse total	14^h32^m	–7°38′	–132°45′
Máximo del eclipse	16^h13^m	–40°21′	–67°56′
Conjunción en Asc. Recta	16^h18^m	–40°46′	–65°46′
Fin del eclipse total	17^h54^m	–23°30′	10°58′
Fin del eclipse general	18^h53^m	–18°01′	–6°30′

Características del eclipse en el máximo

Duración de la fase total	$2^m\ 10^s$
Anchura de la sombra	90 km
Razón entre el radio topocéntrico de la Luna y el del Sol	102,5%
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	0,29
Altura del Sol	73°

Eclipse total de 14 de diciembre de 2020



Eclipse penumbral de Luna del día 10 de enero (Saros 144)

Este eclipse es el número 16 de los 71 eclipses del ciclo Saros 144 y será visible en España.

El inicio del eclipse comenzará a las 17^h7^m de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva discontinua etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde al este de África, casi toda Europa, Asia y Oceanía. El eclipse terminará a las 21^h9^m TU; habrá sido visible en sus últimas fases en el extremo oriental de América, Europa, África, Asia y el oeste de Oceanía según delimita la curva **fP**.

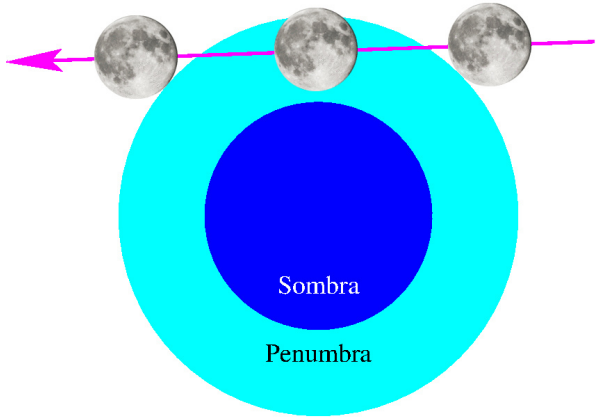
Características generales del eclipse

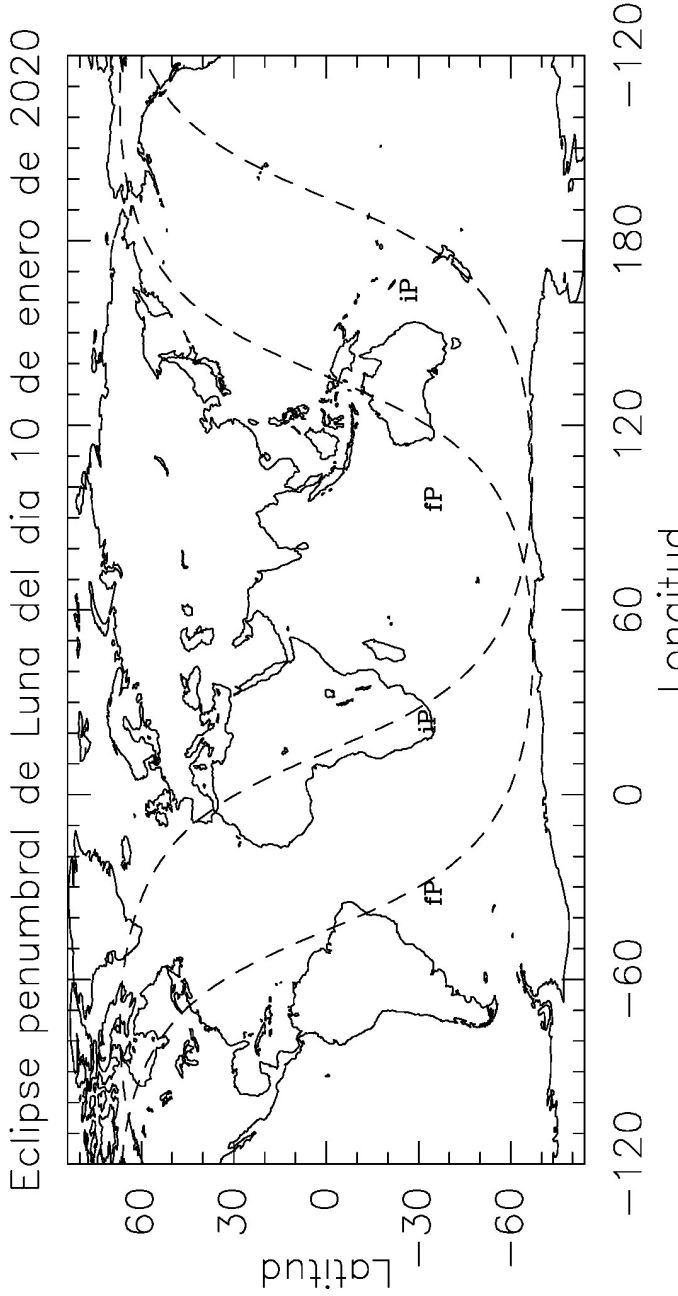
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	17^h07^m	°23 04′	°103 52′	°
Máximo del eclipse	19^h08^m	°23 00′	°74 54′	°
Ultimo contacto con la penumbra	21^h09^m	°22 56′	°45 55′	°
Duración del eclipse penumbral	4^h02^m			
Magnitud del eclipse de penumbra	0,90			

A.P. es el ángulo de posición medido en el sentido NESO.

Características del eclipse en el máximo

Fracción de diámetro lunar inmersa en la penumbra	90%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	1,07




Eclipse penumbral de Luna del dia 10 de enero de 2020
Latitud
60
30
0
−30
−60
−120
−60
0
60
120
180
−120
Longitud
iP
fP
iP
fP

Eclipse penumbral de Luna del día 5 de junio (Saros 111)

Este eclipse es el número 67 de los 71 eclipses del ciclo Saros 111 y será visible en España.

El inicio del eclipse comenzará a las 17^h48^m de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva discontinua etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde al este de África, Asia y Oceanía. El eclipse terminará a las 21^h4^m TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en el extremo oriental de Sudamérica, Europa, África, el sur y oeste de Asia y el oeste de Oceanía según delimita la curva **fP**.

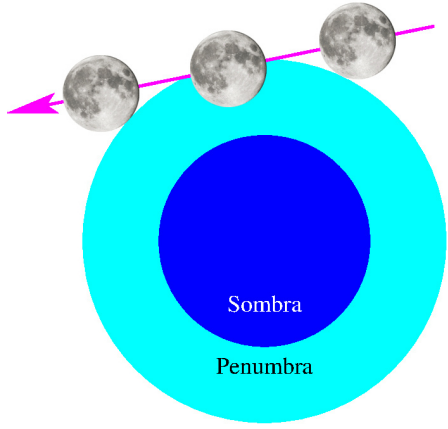
Características generales del eclipse

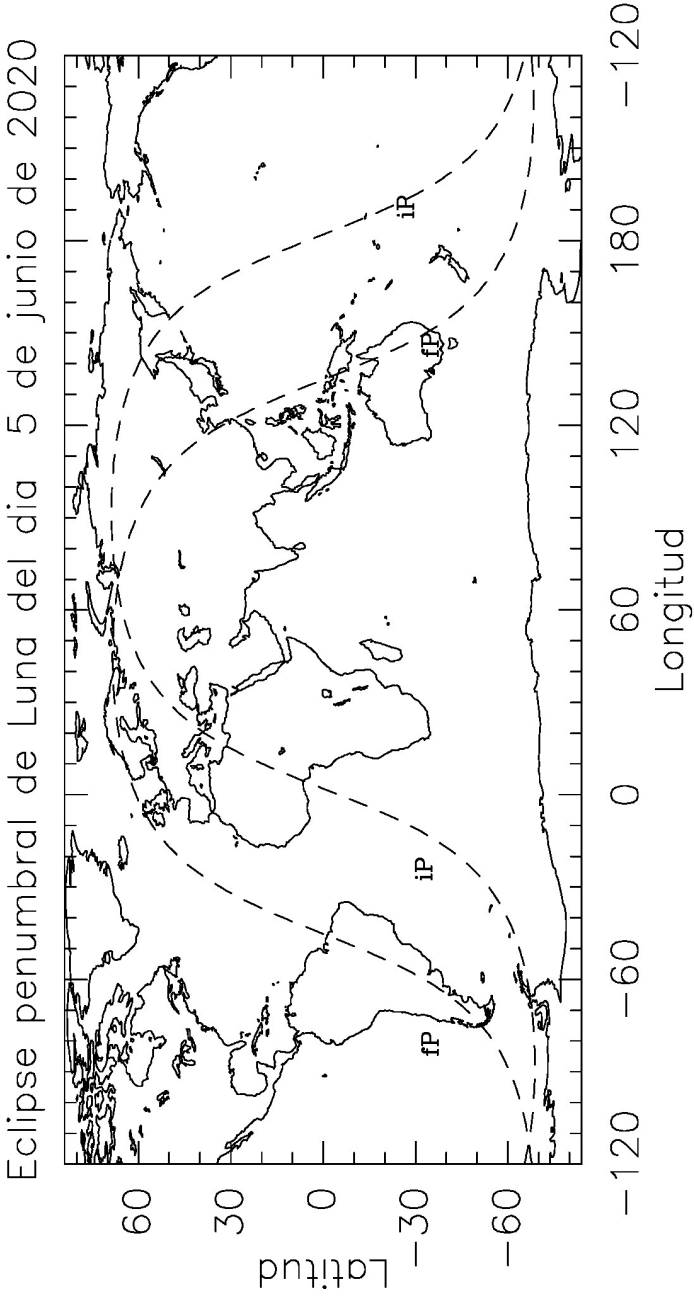
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	17^h48^m	-21°16′	°92 00′	°
Máximo del eclipse	19^h26^m	-21°27′	°68 24′	°
Ultimo contacto con la penumbra	21^h04^m	-21°38′	°44 49′	°
Duración del eclipse penumbral	3^h16^m			
Magnitud del eclipse de penumbra	0,57			

A.P. es el ángulo de posición medido en el sentido NESO.

Características del eclipse en el máximo

Fracción de diámetro lunar inmersa en la penumbra	57%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	1,24




Eclipse penumbral de Luna del dia 5 de junio de 2020
Latitud
60
30
0
−30
−60
Longitud
−120
−60
0
60
120
180
−120
iR
fP
iP
fP
iR

Eclipse penumbral de Luna del día 5 de julio (Saros 149)

Este eclipse es el número 3 de los 72 eclipses del ciclo Saros 149 y será visible en España.

El inicio del eclipse comenzará a las 3^h7^m de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva discontinua etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde a África, el sur y oeste de Europa, Sudamérica y el sur y este de Norteamérica. El eclipse terminará a las 5^h49^m TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en el extremo occidental de África, casi toda América y el este del Pacífico según delimita la curva **fP**.

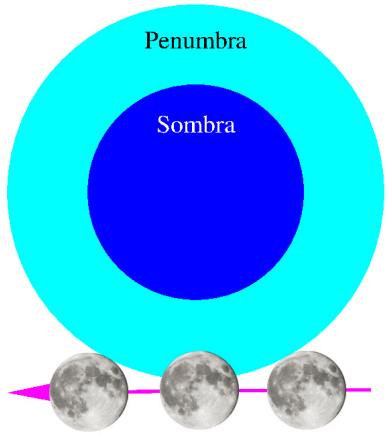
Características generales del eclipse

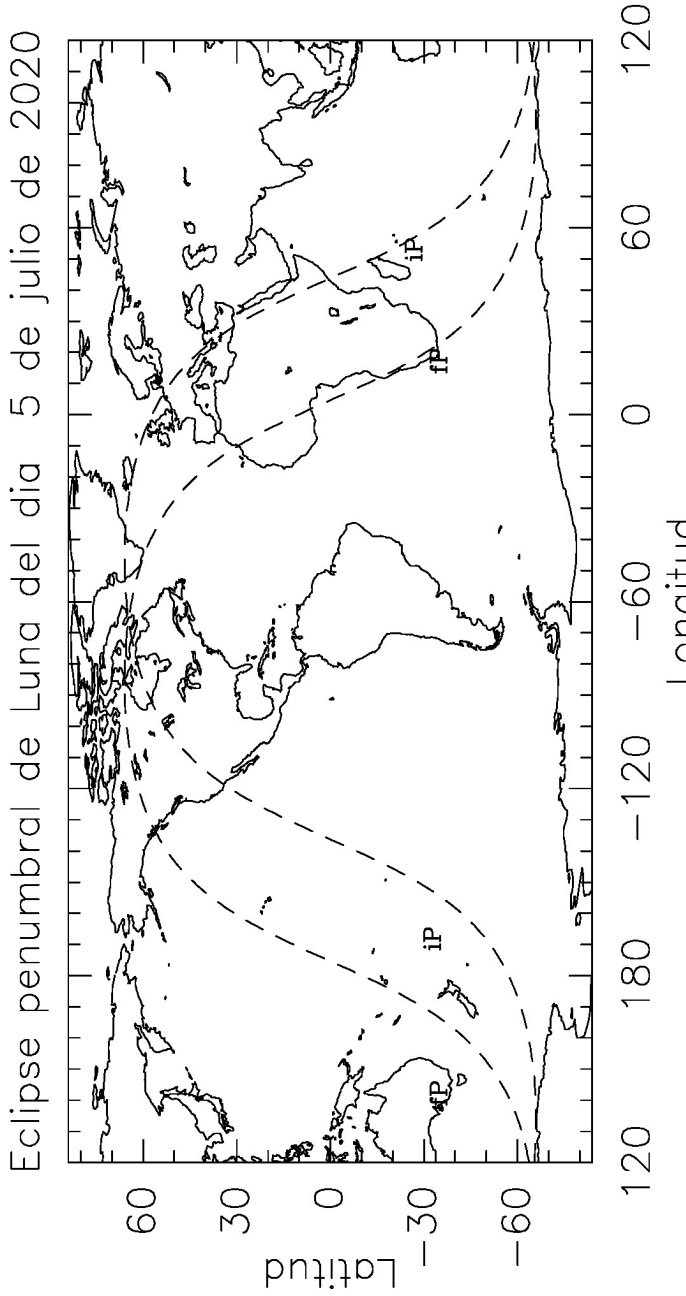
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	3^h07^m	-24°4′	°-46 16′	°
Máximo del eclipse	4^h28^m	-24°3′	°-65 49′	°
Ultimo contacto con la penumbra	5^h49^m	-24°3′	°-85 22′	°
Duración del eclipse penumbral	2^h42^m			
Magnitud del eclipse de penumbra	0,35			

A.P. es el ángulo de posición medido en el sentido NESO.

Características del eclipse en el máximo

Fracción de diámetro lunar inmersa en la penumbra	35%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	1,36




Eclipse penumbral de Luna del dia 5 de julio de 2020
Latitud
60
30
0
−30
−60
120
180
−120
−60
0
60
120
Longitud
iP
fP
iP
fP

Eclipse penumbral de Luna del día 30 de noviembre (Saros 116)

Este eclipse es el número 58 de los 73 eclipses del ciclo Saros 116 y no será visible en España.

El inicio del eclipse comenzará a las 7^h31^m de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva discontinua etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde a América y el océano Pacífico. El eclipse terminará a las 11^h49^m TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en Norteamérica, el océano Pacífico, Oceanía y el este de Asia según delimita la curva **fP**.

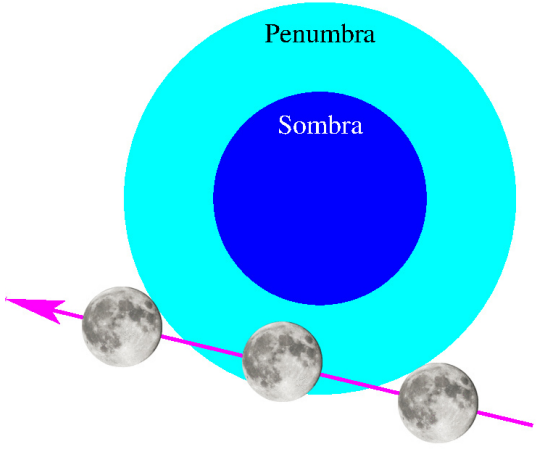
Características generales del eclipse

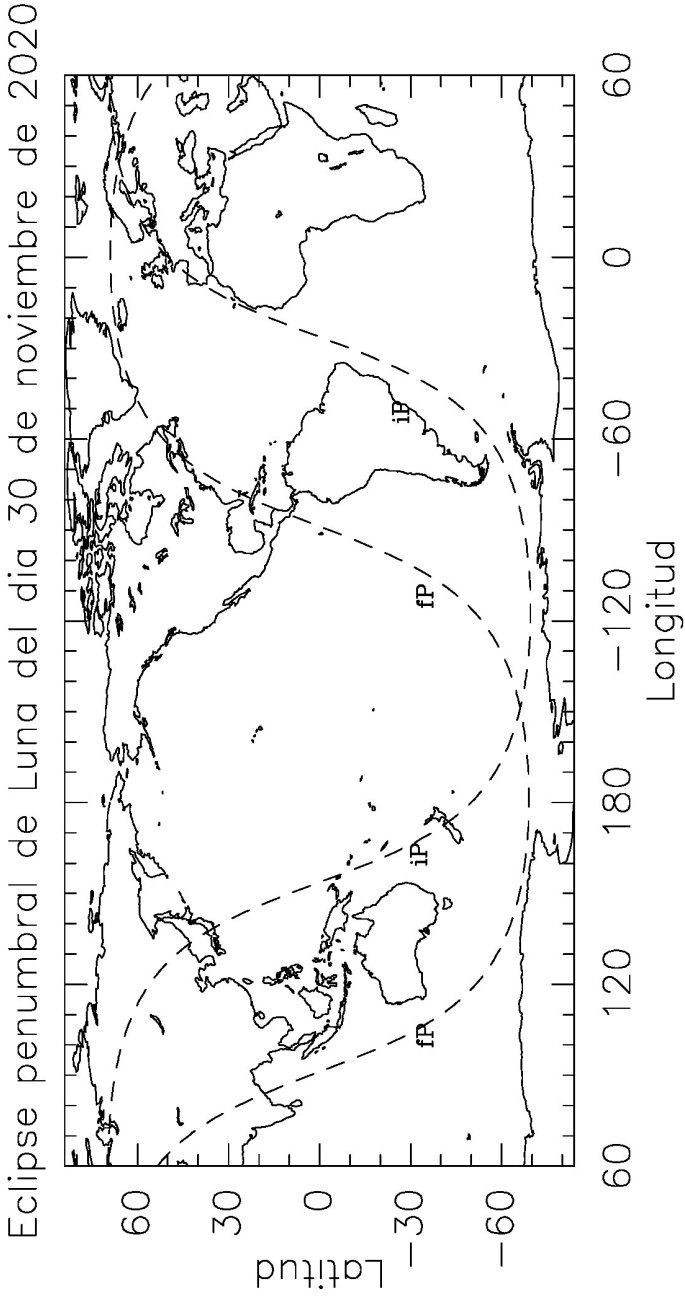
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	$^h7\ 31^m$	°20 28′	-116°18′	°
Máximo del eclipse	$^h9\ 40^m$	°20 44′	-147°34′	°
Ultimo contacto con la penumbra	11^h49^m	°21 00′	-178°50′	°
Duración del eclipse penumbral	4^h18^m			
Magnitud del eclipse de penumbra	0,83			

A.P. es el ángulo de posición medido en el sentido NESO.

Características del eclipse en el máximo

Fracción de diámetro lunar inmersa en la penumbra	83%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	1,13




Eclipse penumbral de Luna del dia 30 de noviembre de 2020
Latitud
60
30
0
−30
−60
60
120
180
−120
−60
0
60
Longitud
iP
fP
iP
fR

Mapas de los eclipses de Sol

Se ha realizado una proyección ortográfica de la Tierra para cada uno de los eclipses solares visibles en este año, en la que se representan la extensa zona en que el eclipse es visible como parcial y, en su caso, la franja donde es visible el eclipse total o anular. La región donde se observa el eclipse parcial ocupa una gran parte del hemisferio terrestre en que es de día. A la izquierda se encuentra un bucle en el que se indican los lugares en que el Sol está saliendo al inicio o al final del eclipse. De manera análoga, en un bucle situado a la derecha se indican los lugares en que se pone el Sol al inicio o al final del eclipse.

La región en que es posible observar el eclipse como total o anular, cuando se da tal circunstancia, viene delimitada por dos curvas aproximadamente paralelas que delimitan la franja de visibilidad. Su separación varia a lo largo del eclipse y es distinta para cada eclipse, pudiendo incluso superar los mil km (eclipse del 22 de agosto de 1979). Hemos denominado esta curva *franja de totalidad* o bien *franja de anularidad*, según corresponda.

Mapas de los eclipses de Luna

Se ha representado la superficie de la Tierra en un diagrama *longitud−latitud*, en el que varias curvas delimitan las zonas en que el eclipse es visible en sus diversas fases. En el centro de la figura se encuentra la zona donde será visible todo el fenómeno. El eclipse de penumbra será visible en su totalidad en la zona delimitada por trazos discontinuos etiquetados por **iP** a la izquierda y **fP** a la derecha; estas curvas indican, respectivamente, el **i**nicio y el **f**in del contacto con la **p**enumbra. El eclipse parcial (si tiene lugar) será visible en su totalidad en la zona delimitada por puntos etiquetados por **iS** a la izquierda y **fS** a la derecha; estas curvas indican, respectivamente, el **i**nicio y el **f**in del contacto con la **s**ombra. El eclipse total (si tiene lugar) será visible en su totalidad en la zona delimitada por puntos etiquetados por **iT** a la izquierda y **fT** a la derecha; estas curvas indican, respectivamente, el **i**nicio y el **f**in del eclipse **t**otal.

En la zona delimitada entre las curvas **fP** e **iP** a la derecha del mapa, la Luna se pondrá antes de que finalice el eclipse. En la zona delimitada entre las curvas **fP** e **iP** a la izquierda del mapa, la Luna saldrá por el horizonte después del inicio del eclipse.

Tablas de los eclipses

En las tablas de características generales de los eclipses de Sol y de Luna en ocasiones se indican coordenadas geográficas cuyo significado es distinto en cada caso. En los eclipses totales y anulares de Sol, dichas

coordenadas se refieren al lugar sobre la superficie terrestre en el que se encuentra en centro de la sombra de la Luna en el instante considerado. En los eclipses de Luna, las coordenadas geográficas se refieren al lugar para el cual la Luna se encuentra en el cénit en el instante indicado.

Eclipses de Sol en los próximos años

Fecha	Tipo	Duración (^{m} ^{s})	Magnitud	Visibilidad
2020 junio 21	anular	0 38	0,99	África, SE. Europa y Asia
2020 diciembre 14	total	2 10	1,03	Pacífico y Sudamérica
2021 junio 10	anular	3 51	0,94	Norteamérica, Europa y Asia
2021 diciembre 4	total	1 54	1,04	Antártida y S. África
2022 abril 30	parcial		0,64	SE. Pacífico y S. Sudamérica
2022 octubre 25	parcial		0,86	Europa, NE. África y O. Asia
2023 abril 20	mixto	1 16	1,01	SE. Asia y Australia
2023 octubre 14	anular	5 17	0,95	América
2024 abril 8	total	4 28	1,06	Norteamérica y Centroamérica
2024 octubre 2	anular	7 25	0,93	Pacífico y S. Sudamérica
2025 marzo 29	parcial		0,94	NO. África, Europa, N. Rusia
2025 setiembre 21	parcial		0,86	Pacífico, N. Zelanda y Antártida
2026 febrero 17	anular	2 20	0,93	Sudamérica, África y Antártida
2026 agosto 12	total	2 18	1,04	Norteamérica, África y Europa
2027 febrero 6	anular	7 51	0,93	Sudamérica, África y Antártida
2027 agosto 2	total	6 23	1,08	África, Europa y Asia
2028 enero 26	anular	10 27	0,92	América, O. Europa, O. África
2028 julio 22	total	5 10	1,06	SE Asia y Oceanía
2029 enero 14	parcial		0,87	Norteamérica y Centroamérica
2029 junio 12	parcial		0,46	Ártico
2029 julio 11	parcial		0,23	S Sudamérica
2029 diciembre 05	parcial		0,89	S Sudamérica y Antártida
2030 junio 01	anular	5 21	0,94	Europe, África, Asia y Antártida
2030 noviembre 25	total	3 44	1,05	Asia, Oceanía y Antártida

En aquellos casos en que un eclipse de inicia en una fecha (TU) y termina al día siguiente se ha subrayado aquella fecha en que se da el máximo del eclipse. *Duración* se refiere a la de la fase de totalidad o anularidad. *Magnitud* se refiere a la fracción de diámetro solar cubierto por la Luna.

El próximo eclipse solar **total** visible como tal en España se dará el 12 de agosto de 2026. El próximo eclipse solar **anular** visible como tal en España se dará el 26 de enero de 2028.

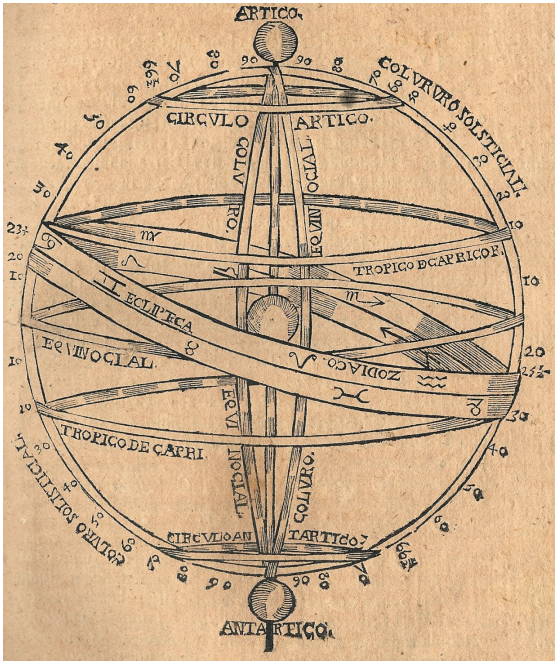
Eclipses de Luna en los próximos años

Fecha	Tipo	Duración (en min)	Dur. totalidad (en min)	Magnitud
2020 enero 10	penumbral			
2020 junio 5	penumbral			
2020 julio 5	penumbral			
2020 noviembre 30	penumbral			
2021 mayo 26	total	187	15	1,01
2021 noviembre 19	parcial	208		0,97
2022 mayo 16	total	207	85	1,41
2022 noviembre 8	total	220	85	1,36
2023 mayo 5	penumbral			
2023 octubre 28	parcial	77		0,12
2024 marzo 25	penumbral			
2024 setiembre 18	parcial	63		0,09
2025 marzo 14	total	218	65	1,18
2025 setiembre 7	total	209	82	1,18
2026 marzo 3	total	207	58	1,15
2026 agosto 28	parcial	198		0,93
2027 febrero 20	penumbral			
2027 julio 18	penumbral			
2027 agosto 17	penumbral			
2028 enero 12	parcial	56		0,07
2028 julio 6	parcial	141		0,40
2028 diciembre 31	total	209	71	1,25
2029 junio 26	total	220	73	1,84
2029 diciembre 20	total	213	66	1,12
2030 junio 15	parcial	144		0,50
2030 diciembre 9	penumbral			

Duración se refiere a la de contacto con la sombra.

El próximo eclipse **total** de Luna visible en España en todas sus fases será el de 16 de mayo de 2022.

CALENDARIOS Y TIEMPOS



CALENDARIOS

Introducción
Día juliano
Calendario gregoriano
Calendario católico
Calendario juliano
Calendario musulmán
Calendario israelita
Día de la semana correspondiente a una fecha

Introducción

Un calendario es un sistema que, con propósitos civiles o religiosos, organiza largos intervalos de tiempo en periodos de tiempo menores (tales como año, mes y semana) utilizando como unidad el día, con el propósito de que cada día se exprese de manera unívoca (sin ambigüedad).

En la actualidad hay unos 40 calendarios distintos en uso y aún más han dejado de ser usados. La mayoría de ellos tienen una cierta base astronómica, por cuanto intentan dividir el año trópico (correspondiente al ciclo de las estaciones climáticas) o el mes sinódico (correspondiente al ciclo de fases lunares) en un número entero de días. En la práctica, cada calendario se define con un conjunto de reglas establecidas por convenio con las que se trata de conseguir un sistema que no se desvie excesivamente, a medio plazo, del tipo de ajuste astronómico en que se basa; pero sin pretender un ajuste muy preciso (que exigiría un excesivo número de reglas), pues su fin es social, no científico.

El calendario civil usado en las relaciones internacionales y en la mayoría de países es el **calendario gregoriano** que, además, constituye la base del calendario litúrgico de católicos y protestantes. La unidad de este calendario es el **día**, definido como 86400 segundos de Tiempo Atómico Internacional (TAI).

Para facilitar los intercambios internacionales, la Organización Internacional de Normalización (ISO) adoptó dos recomendaciones referidas a la escritura numérica de las fechas y a la numeración de las semanas:

Escritura numérica de fechas

Los tres elementos de la fecha se expresarán en cifras árabes y se pondrán en el orden: año, mes y día. El mes y el día se expresarán cada uno con dos cifras, pudiendo la de la izquierda ser un cero. Dada la ambigüedad que se presentó con la llegada del año 2000, se recomienda expresar el año con sus cuatro cifras. *Ejemplo*: el 28 de febrero de 2020 se escribe como 2020-02-28 o bien 20200228.

Numeración de las semanas

El lunes se considera como el primer día de la semana. Las semanas se numeran de 01 a 52. La primera semana del año, numerada 01, es la que contiene el primer jueves de enero. Se incluye una semana numerada 53 cuando el año considerado termina en jueves, o bien en jueves o viernes en caso de ser bisiesto.

Los **siglos**, periodos de 100 años, también son susceptibles de ser numerados en relación con un origen arbitrario. En el caso de la era

cristiana, el primer siglo empezó el 1 de enero del año 1 y finalizó el 31 de diciembre del año 100; el siglo XX empezó el 1 de enero del año 1901 y acabó el 31 de diciembre del año 2000; el siglo XXI empezó el 1 de enero del año 2001 y acabará el 31 de diciembre del año 2100.

Día juliano

Una manera conveniente de expresar el instante en que un determinado fenómeno astronómico se produce consiste en dar el *día juliano* en que tal fenómeno se dio o se dará. La facilidad de uso se debe a que es una medida del tiempo continua, que puede ser fácilmente introducida en ecuaciones; la determinación del tiempo transcurrido entre dos sucesos se obtendrá mucho más fácilmente como una resta de dos días julianos que como la diferencia entre dos fechas de cualquier calendario. El basarse en una numeración continua de los días y fracción lo hace muy apropiado para expresar los tiempos en las aplicaciones astronómicas. El día juliano también es conocido como *fecha juliana*, lo que en ocasiones da lugar a su confusión con la *fecha del calendario juliano*, que se explica más abajo.

Se habla de *número de día juliano* cuando se prescinde de la parte fraccionaria. Facilita la realización de transformaciones entre fechas expresadas en distintos calendarios, así como la determinación del tiempo transcurrido entre dos fechas determinadas o el cálculo del día de la semana.

En su forma actual, el día juliano se refiere al Meridiano cero o de Greenwich y en la escala de Hora o Tiempo Universal (TU). Se considera que el día juliano cero se inició a las 12 horas del día 1 de enero del año −4712 del calendario juliano proléptico o del 24 de noviembre del −4713 del calendario gregoriano proléptico (ver más abajo). Por ello, el día juliano se expresará como un número entero al mediodía de Greenwich (12^h de TU) y tendrá una fracción 0,5 a las 0^h de TU (medianoche en el meridiano de Greenwich). *Ejemplo*: el día juliano correspondiente a las 0^h de TU del día 14 de febrero de 2020 es 2 458 893,5.

Para obtener el día juliano correspondiente a un día D de un mes, basta con sumar el valor D al día juliano dado para el día cero de tal mes en la tabla siguiente. (Se entiende por día cero el último día del mes precedente.)

Día a 0^h de TU	Día juliano	Día a 0^h de TU	Día juliano
2020 Ene 0	2 458 848,5	2020 Jul 0	2 459 030,5
2020 Feb 0	2 458 879,5	2020 Ago 0	2 459 061,5
2020 Mar 0	2 458 908,5	2020 Set 0	2 459 092,5
2020 Abr 0	2 458 939,5	2020 Oct 0	2 459 122,5
2020 May 0	2 458 969,5	2020 Nov 0	2 459 153,5
2020 Jun 0	2 459 000,5	2020 Dic 0	2 459 183,5

Día juliano correspondiente al día 0 de enero de los años indicados:

2011	2455561,5	2016	2457387,5	2021	2459214,5
2012	2455926,5	2017	2457753,5	2022	2459579,5
2013	2456292,5	2018	2458118,5	2023	2459944,5
2014	2456657,5	2019	2458483,5	2024	2460309,5
2015	2457022,5	2020	2458848,5	2025	2460675,5

A continuación se indican algunos días julianos a los que se refieren sistemas de coordenadas astronómicas y expresiones de elementos orbitales:

B1850	=	2396758,203	=	1850 Ene 0,703
J1900	=	2415020,0	=	1900 Ene 0,500
B1900	=	2415020,313	=	1900 Ene 0,813
J1950	=	2433282,5	=	1950 Ene 1,000
B1950	=	2433282,423	=	1950 Ene 0,923
J2000	=	2451545,0	=	2000 Ene 1,500
J2050	=	2469807,5	=	2050 Ene 1,000

Las tablas siguientes permiten determinar con un cálculo sencillo el día juliano correspondiente a una fecha gregoriana dada entre los años 1600 y 2199. Para ello hay que sumar la contribución *DJC* de la centuria a la que corresponde el año, la contribución *DJF* de la fracción de centuria F, que viene dada por la ecuación $DJF = 365 * F + int[F/4]$, la contribución *DJM* del mes, con la corrección correspondiente en caso de tratarse de un año bisiesto (columna *bis*), el día del mes y la fracción de éste (TU/24) si no son las 0^h de TU. La función *int*[] calcula la parte entera de un número.

Centuria

Año	DJC
1600	2305447,5
1700	2341971,5
1800	2378495,5
1900	2415019,5
2000	2451544,5
2100	2488068,5

Mes

Mes	DJM	bis.	Mes	DJM	bis.
Ene	0	−1	Jul	181	0
Feb	31	−1	Ago	212	0
Mar	59	0	Set	243	0
Abr	90	0	Oct	273	0
May	120	0	Nov	304	0
Jun	151	0	Dic	334	0

Ejemplo: para el 14 de febrero de 2020 a las 0^h TU son:

$DJC(2000)$=2 451 544,5
$DJF(20) = 365 * 20 + int[20/4] = 7305$
$DJM(\text{febrero}) = 30$

Por consiguiente, el día juliano es: $DJC + DJF + DJM + día = 2451544{,}5 + 7305 + 30 + 14 = 2458893{,}5$. Tal día será viernes.

Conocido el día juliano correspondiente a una fecha, el **día de la semana** se determina sumando 0,5 al día juliano, calculando el resto de la división *entera* por 7 y sumando la unidad. Si el resultado de la operación es 1, corresponde a un lunes, y así sucesivamente:

$$\textit{día de la semana} = \text{resto}\left[\frac{\textit{día juliano} + 0{,}5}{7}\right] + 1$$

En ocasiones se usa el *día juliano modificado* establecido en 1957, que se obtiene restando al día juliano la cantidad 2 400 000,5. De esta forma la expresión es más corta y desaparece la fracción 0,5 en la expresión de un día a las 0^{h} de TU.

Ejemplo: el día juliano correspondiente al 14 de febrero de 2020 a las 0^{h} TU es 2 458 893,5; el día juliano modificado correspondiente es 58 893.

Calendario gregoriano

Es un calendario solar, que trata de ajustar su duración media a la del ciclo estacional (año trópico). Consta de años comunes, de 365 días, y de años bisiestos, con un día adicional que se coloca antes del 1 de marzo y se denomina 29 de febrero. Son bisiestos los años divisibles por 4 excepto cuando sean divisibles por 100, a no ser que sean divisibles por 400. Según esta regla, el año 1900 no fue bisiesto y el año 2000 sí lo fue.

El calendario gregoriano se compone de un ciclo de 146 097 días (20 871 semanas) que se repite exactamente cada 400 años. La duración media de un año resulta ser de 365,24250 días, excediendo la duración del año trópico (365,24219 días) en sólo 27 segundos.

El calendario gregoriano (introducido por el Papa Gregorio XIII) constituye una modificación al calendario *juliano* descrito más abajo, reforma que supuso: (1) la supresión de 3 días intercalares cada cuatro siglos (tres años bisiestos pasaron a ser comunes), (2) la modificación de la determinación del día de Pascua y (3) el aumento de la fecha en diez días, lo que tuvo lugar al establecer el 15 de octubre de 1582 (gregoriano) como el día siguiente al 4 de octubre (juliano). Se respetó la sucesión de los días de la semana: al jueves 4 de octubre le siguió el viernes 15 de octubre. Este calendario fue adoptado oficialmente de manera inmediata en los países católicos (entre ellos España) y, a lo largo de varios siglos, en otros muchos países.

En ocasiones se utilizan fechas gregorianas para indicar hechos acaecidos antes de la reforma del calendario, lo cual se indica como calendario gregoriano *proléptico*. Para que se apliquen adecuadamente las reglas que lo definen es necesario introducir el año bisiesto 0 (equivalente al 1 a. de C.), el cual viene precedido del año común -1 (2 a. de C.).

Calendario católico para 2020

Cómputo eclesiástico		
Número áureo	7	(ciclo lunar de 19 años)
Epacta	5	(edad de la Luna al 1 de enero)
Ciclo solar	13	(ciclo de 28 años)
Letra dominical	E y D	(ciclo de 28 años)
Indicción romana	13	(ciclo de 15 años)

Principales fiestas movibles		
Septuagésima	Feb	9
Miércoles de Ceniza	Feb	26
Primer domingo de Cuaresma	Mar	1
Viernes Santo	Abr	10
Pascua	Abr	12
Ascensión	May	21
Pentecostés	May	31
La Santísima Trinidad	Jun	7
Corpus Christi	Jun	11
El Sagrado Corazón de Jesús	Jun	19
Primer domingo de Adviento	Nov	29

Témporas	
I	Mar 4, 6, 7
II	Jun 3, 5, 6
III	Set 16, 18, 19
IV	Dic 16, 18, 19

Velaciones

Se cierran:
Feb 25 y Nov 28
Se abren:
Abr 14 y Dic 26

La mayor parte de fiestas movibles del calendario eclesiástico pueden deducirse a partir de la fecha del domingo de Pascua. Este es el primer domingo posterior a la Luna llena *eclesiástica* que se da en o tras el 21 de marzo; para evitar la dificultad de las observaciones, su dependencia del lugar de observación o el cálculo del complejo movimiento de la Luna, se utilizan unas tablas que definen el movimiento de la denominada *Luna eclesiástica*. En base a ellas se han calculado las fechas del Domingo de Pascua que figuran a continuación, para los años 1900 a 2099. Las letras M y A indican el mes, respectivamente marzo y abril.

Las fechas de otras fiestas movibles que se calculan a partir de la del Domingo de Pascua se pueden encontrar sumando (restando, si es negativo) el número de días que se indican a continuación a la fecha indicada en la tabla posterior:

Septuagésima −63
Miércoles de Ceniza −46
Primer domingo de Cuaresma −42
Ascensión +39
Pentecostés +49
Corpus Christi +60

Domingo de Pascua (gregoriano)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1900	15 A	7 A	30 M	12 A	3 A	23 A	15 A	31 M	19 A	11 A
1910	27 M	16 A	7 A	23 M	12 A	4 A	23 A	8 A	31 M	20 A
1920	4 A	27 M	16 A	1 A	20 A	12 A	4 A	17 A	8 A	31 M
1930	20 A	5 A	27 M	16 A	1 A	21 A	12 A	28 M	17 A	9 A
1940	24 M	13 A	5 A	25 A	9 A	1 A	21 A	6 A	28 M	17 A
1950	9 A	25 M	13 A	5 A	18 A	10 A	1 A	21 A	6 A	29 M
1960	17 A	2 A	22 A	14 A	29 M	18 A	10 A	26 M	14 A	6 A
1970	29 M	11 A	2 A	22 A	14 A	30 M	18 A	10 A	26 M	15 A
1980	6 A	19 A	11 A	3 A	22 A	7 A	30 M	19 A	3 A	26 M
1990	15 A	31 M	19 A	11 A	3 A	16 A	7 A	30 M	12 A	4 A
2000	23 A	15 A	31 M	20 A	11 A	27 M	16 A	8 A	23 M	12 A
2010	4 A	24 A	8 A	31 M	20 A	5 A	27 M	16 A	1 A	21 A
2020	12 A	4 A	17 A	9 A	31 M	20 A	5 A	28 M	16 A	1 A
2030	21 A	13 A	28 M	17 A	9 A	25 M	13 A	5 A	25 A	10 A
2040	1 A	21 A	6 A	29 M	17 A	9 A	25 M	14 A	5 A	18 A
2050	10 A	2 A	21 A	6 A	29 M	18 A	2 A	22 A	14 A	30 M
2060	18 A	10 A	26 M	15 A	6 A	29 M	11 A	3 A	22 A	14 A
2070	30 M	19 A	10 A	26 M	15 A	7 A	19 A	11 A	3 A	23 A
2080	7 A	30 M	19 A	4 A	26 M	15 A	31 M	20 A	11 A	3 A
2090	16 A	8 A	30 M	12 A	4 A	24 A	15 A	31 M	20 A	12 A

Calendario juliano

Es un calendario solar introducido por Julio César en el año 45 a. de C. y seguido en la Europa cristiana y sus colonias hasta la adopción del *calendario gregoriano* a partir del año 1582. La duración del año en el calendario juliano es de 365 días, repartidos en 12 meses de duración fija, con un día suplementario ("intercalar") cada cuatro años sin excepción. El primer día de cada mes se denominaba "calendas" en latín, de donde proviene la actual palabra **calendario**.

La duración media de un año juliano es de 365,25 días, unos 11 minutos más largo que la duración del año trópico, al que pretende aproximar. Como consecuencia de tal imprecisión, el retraso acumulado respecto del calendario gregoriano es ya de 13 días, retraso que se mantendrá desde el 1 de marzo de 1900 hasta el 28 de febrero del 2100. En la actualidad, el inicio del año juliano tiene lugar el día 14 de enero del correspondiente año gregoriano.

Los datos del cómputo eclesiástico en el calendario juliano no difieren de los del católico más que en la epacta y, consiguientemente, en la letra dominical:

Cómputo eclesiástico juliano
para el año 2020

Pascua	6 de abril (juliano) 19 de abril (gregoriano)
Epacta	14
Letra dominical	F y E

Cronología: La designación del año aproximado del nacimiento de Cristo como año 1 en el cómputo del calendario juliano se realizó en el siglo IV. Otro instante inicial distinto para contabilizar años julianos se debe a J.J. Scaliger (siglo XIV), quien propuso partir de una fecha anterior a cualquier dato histórico a fin de evitar el uso de años negativos o la expresión a. de C., designando como año 1 del *periodo juliano* al año 4713 a. de C. Esta constituye la época inicial para el denominado *día juliano*, de amplio uso en astronomía y en investigaciones históricas y arqueológicas, pero que no hay que confundir con la *fecha del calendario juliano*.

Calendario musulmán

Es un calendario puramente lunar, sin relación alguna con las estaciones. El primer día del año 1 de la Hégira corresponde al 16 de julio del año 622 juliano (algunas cronologías lo asignan al día 15).

En su versión religiosa tradicional, el inicio de cada mes se determina observacionalmente coincidiendo con la primera visión de la luna creciente. En un lugar dado, el mes se inicia a la puesta de sol del día en que el creciente lunar ha sido visto. Como consecuencia, el mes se inicia en fechas distintas en distintos lugares. En las últimas décadas se ha realizado un considerable esfuerzo en modelar la visibilidad del creciente lunar en base a la posición de la Luna respecto del Sol, su distancia a la Tierra, las condiciones atmosféricas y climáticas, el modo de observación, la posición geográfica y altitud del lugar de observación, etc, con el fin de poder sustituir por un método preciso las observaciones del creciente o las reglas empíricas adoptadas en distintos paises, entre ellos Arabia Saudí. Se ha propuesto, incluso, el establecimiento de una línea internacional de cambio de mes como regla única, pero la falta de acuerdo en los criterios específicos para su establecimiento y su posición cambiante sobre la Tierra mes a mes dificultan su adopción.

El calendario civil trata de ajustar la duración del mes lunar medio (29,530589 días) con un ciclo de 30 años (360 meses) preestablecido. Cada año consta de 12 meses, en que los impares tienen 30 días y los pares 29, salvo en el caso de los años *embolísticos* o *abundantes* en que el último mes tiene 30 días. En cada ciclo de 30 años, se consideran abundantes los años 2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26 y 29 del ciclo. Ello da lugar

a una duración media del mes que difiere del mes lunar medio en unos 3 segundos. La duración media del año musulmán es de 354,3667 días.

Para transformar una época gregoriana (G) a musulmana (M) o viceversa de una manera orientativa se pueden usar las fórmulas siguientes:

$$G = 0,9702\,M + 621,58 \qquad \text{y} \qquad M = 1,0307\,G - 640,66$$

Ejemplo: el 1 de enero de 2020 ($G = 2020{,}00$) corresponde a $M = 1441{,}35$, o sea a mediados del año musulmán 1441. Este es un año común pues es el año 1 del ciclo 49.

Fechas gregorianas correspondientes al inicio de los meses del calendario musulmán establecido según las reglas anteriores:

Inicio del mes musulmán			Fecha gregoriana		
1441	Ŷumādà al-ājira	1	2020	Ene	27
1441	Raŷab	1	2020	Feb	25
1441	Ša‘bān	1	2020	Mar	26
1441	Ramaḍān	1	2020	Abr	24
1441	Šawwāl	1	2020	May	24
1441	Ḏū-l-qa‘da	1	2020	Jun	22
1441	Ḏū-l-ḥiŷŷa	1	2020	Jul	22
1442	Muḥarram	1	2020	Ago	20
1442	Ṣafar	1	2020	Set	19
1442	Rabī‘ al-awwal	1	2020	Oct	18
1442	Rabī‘ al-ṯānī	1	2020	Nov	17
1442	Ŷumādà al-ūlà	1	2020	Dic	16

El mes se inicia a la puesta de sol del día anterior al que figura en la tabla.

Fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario musulmán:

Ascensión del Profeta	2020	Mar	22
Primer día del ramadán	2020	Abr	24
Conquista de la Meca	2020	May	13
Revelación del Corán	2020	May	20
Ultimo día del ramadán	2020	May	23
Pascua postayuno	2020	May	24
Pascua de Inmolación	2020	Jul	31
Primer día del año	2020	Ago	20
‘Āshūrā’	2020	Ago	29
Huida del Profeta (*Hégira*)	2020	Oct	18
Nacimiento del Profeta	2020	Oct	29

El calendario musulmán que se usa en cada lugar debe regirse, en sentido estricto, por el inicio de un mes dado por la primera visión

del creciente lunar que sigue al novilunio. Se trata de una observación astronómica en un lugar dado, por lo que dependerá de condiciones tales como la altura de la Luna sobre el horizonte y la transparencia de la atmósfera. A lo largo de la historia se ha tratado de encontrar criterios para predecir la visibilidad del creciente bajo buenas condiciones atmosféricas. En la tabla siguiente se indica la predicción de visibilidad del creciente lunar en Madrid bajo uno de estos criterios. A diferencia de la tabla que da el inicio de los meses según una determinada regla, en la tabla que sigue cada mes se inicia a la puesta de sol del día que figura ella.

Visibilidad del creciente lunar en Madrid
tras la puesta de Sol de la fecha indicada

Mes musulmán		Fecha gregoriana		
1441	Ŷumādà al-ājira	2020	Ene	26
1441	Raŷab	2020	Feb	24
1441	Ša‘bān	2020	Mar	25
1441	Ramaḍān	2020	Abr	24
1441	Šawwāl	2020	May	23
1441	Ḏū-l-qa‘da	2020	Jun	22
1441	Ḏū-l-ḥiŷŷa	2020	Jul	21
1442	Muḥarram	2020	Ago	20
1442	Ṣafar	2020	Set	18
1442	Rabī‘ al-awwal	2020	Oct	17
1442	Rabī‘ al-ṯānī	2020	Nov	16
1442	Ŷumādà al-ūlà	2020	Dic	16

Calendario israelita

Es un calendario lunisolar, esto es: pretende ajustar la duración media de los meses a la del mes lunar y la duración media de los años a la del año trópico. Por ello, su definición es más compleja que los anteriormente descritos. Los años constan de 12 o 13 meses de 29 o 30 días, siguiendo un ciclo de 19 años. Los años *comunes regulares* tienen 12 meses de, alternativamente, 30 y 29 días. El primer mes del año se llama tišrī. En ocasiones el segundo mes (ḥešwān) tiene 30 días, dando lugar a un año *común completo o abundante*. En ocasiones el tercer mes (kislew) tiene 29 días, con lo que el año se denomina *común defectivo*. Los años *embolísticos* tienen 13 meses, siendo el mes intercalar añadido en los años 3, 6, 8, 11, 14, 17 y 19 del ciclo de 19 años. Dicho mes se llama ve-adār y se intercala entre los meses de adār y nisan. Los años embolísticos pueden a su vez ser defectivos, regulares o abundantes. A consecuencia de ello, el año puede tener seis duraciones distintas, algunas de las cuales figuran en la tabla que sigue.

Con todo ello se consigue una duración media del mes (29,530594 días) que difiere del mes lunar medio en menos de medio segundo y una duración media del año (365,246822 días = $365^{d}\ 5^{h}\ 55^{m}\ 25^{s}$) que difiere del año trópico en menos de 7 minutos. El primer día del año israelita 1 corresponde al 7 de Octubre de −3760 (3761 a. de C.) del calendario juliano proléptico.

Primer día del año	Fecha gregoriana	Duración (días)
5774	2013 Set 5	385
5775	2014 Set 25	354
5776	2015 Set 14	385
5777	2016 Oct 3	353
5778	2017 Set 21	354
5779	2018 Set 10	385
5780	2019 Set 30	355
5781	2020 Set 19	353
5782	2021 Set 7	384
5783	2022 Set 26	355
5784	2023 Set 16	383

Fechas gregorianas correspondientes al inicio de cada uno de los meses del calendario israelita:

Inicio del mes			Fecha gregoriana		
5780	Šebāṭ	1	2020	Ene	27
5780	Adār	1	2020	Feb	26
5780	Nisan	1	2020	Mar	26
5780	Iyyār	1	2020	Abr	25
5780	Siwān	1	2020	May	24
5780	Tammūz	1	2020	Jun	23
5780	Ab	1	2020	Jul	22
5780	Elūl	1	2020	Ago	21
5781	Tišrī	1	2020	Set	19
5781	Ḥešwān	1	2020	Oct	19
5781	Ḳislew	1	2020	Nov	17
5781	Ṭebēt	1	2020	Dic	16

El mes se inicia a la puesta de sol del día anterior al que figura en la tabla.

Esta forma del calendario fue establecida a partir del siglo 4 de la era cristiana (año 358/359), sustituyendo progresivamente un calendario lunar anterior en que los meses se iniciaban con la visibilidad del creciente lunar. En su forma actual, es el calendario religioso de los judíos y el oficial de Israel. El primer día de la semana se inicia a la puesta de sol del sábado que, para propósitos civiles y para evitar su variación a lo largo del año, se considera que ocurre a las 6 de la tarde, y termina a la siguiente puesta de sol. El sábado es el último día de la semana.

Fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario israelita (los ayunos se inician al amanecer del día indicado, las demás festividades se inician a la puesta de sol del día anterior):

Ayuno. Sitio de Jerusalén	2020	Ene	7
Año nuevo de los árboles	2020	Feb	10
Ayuno de Ester	2020	Mar	9
Suertes (*Purim*)	2020	Mar	10
Pascua (*Pesaḥ*)	2020	Abr	9
Lag B'Omer	2020	May	12
Pentecostés (*Shavuot*)	2020	May	29
Ayuno del mes de tammūz	2020	Jul	9
Ayuno. Destrucción de Jerusalén	2020	Jul	30
Año nuevo (*Rosh-hashana*)	2020	Set	19
Ayuno de Guedaliah	2020	Set	21
Expiación (*Yom Kippur*)	2020	Set	28
Tabernáculos (*Sukkot*)	2020	Oct	3
Alegría de la Ley	2020	Oct	11
Dedicación del Templo (*Ḥanukka*)	2020	Dic	11
Ayuno. Sitio de Jerusalén	2020	Dic	25

Determinación del día de la semana correspondiente a una fecha

En la sección dedicada al día juliano se ha descrito un procedimiento para calcular el día de la semana que corresponde a una fecha dada válido para el calendario gregoriano. En esta sección se dan unas tablas que permiten dicho cálculo entre los años 0 y 3000, incluyendo el calendario juliano hasta el 4 de octubre de 1582 y el gregoriano desde el día siguiente, que fue el 15 de octubre de 1582. Para ello se utiliza la tabla que se encuentra en la página siguiente y que constituye lo que se conoce popularmente como un *calendario perpetuo*.

Para determinar el día de la semana de una fecha dada hay que sumar los valores del índice que corresponden a: (1) el millar y las centenas del año considerado, (2) las decenas y unidades del año considerado, (3) el mes considerado, y (4) el día del mes. A continuación, al resultado de la suma hay que restarle 7 tantas veces como haga falta para obtener un número entre 1 y 7. Este número corresponde al índice del día de la semana.

Ejemplo: 14 de febrero de 2020: a 20␣␣ le corresponde el índice 7; a ␣␣20, el índice 3; a febrero, el índice 2; y al día 14, el índice 7. La suma es: $7+3+2+7=19$. Restándole dos veces 7 se obtiene 5, índice que corresponde a viernes.

Indice	1	2	3	4	5	6	7

Millar y centena del año							
	4␣␣	3␣␣	2␣␣	1␣␣	0␣␣		
	11␣␣	10␣␣	9␣␣	8␣␣	7␣␣	6␣␣	5␣␣
	G15␣␣			J15␣␣	14␣␣	13␣␣	12␣␣
	19␣␣		18␣␣		17␣␣		16␣␣
	23␣␣		22␣␣		21␣␣		20␣␣
	27␣␣		26␣␣		25␣␣		24␣␣
			30␣␣		29␣␣		28␣␣

(G=Gregoriano, J=Juliano)

Decena y unidad del año							
						00	01
	02	03		04	05	06	07
		08	09	10	11		12
	13	14	15		16	17	18
	19		20	21	22	23	
	24	25	26	27		28	29
	30	31		32	33	34	35
		36	37	38	39		40
	41	42	43		44	45	46
	47		48	49	50	51	
	52	53	54	55		56	57
	58	59		60	61	62	63
		64	65	66	67		68
	69	70	71		72	73	74
	75		76	77	78	79	
	80	81	82	83		84	85
	86	87		88	89	90	91
		92	93	94	95		96
	97	98	99				

Mes							
		Feb(B)	Feb			Ene(B)	Ene
	May		Mar	Jun		Abr	
		Ago	Nov		Set	Jul	Oct
					Dic		

(B=bisiesto)

Día del mes							
	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28
	29	30	31				

Día de la semana	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom

Indice	1	2	3	4	5	6	7

(Ver la sección **calendario gregoriano** para la regla de los bisiestos.)

TIEMPOS

Escalas de tiempo
Emisores de señales de tiempo
Tiempo oficial y husos horarios
La hora en España
Tablas de tiempos

Relaciones válidas en el año 2020

Días desde el inicio de siglo = 6939 + día del año
Días hasta el fin de siglo = 29585 − día del año
Día juliano = 2458848,5 + día del año + $TU/24^{\mathrm{h}}$
Día juliano modificado = 58848 + día del año + $TU/24^{\mathrm{h}}$
Siglos julianos desde la época J2000 hasta la mitad del año:
$\mathrm{T} = (J2020.5 - J2000.0)/36525 = 0{,}205$
Tiempo sidéreo local en el día d, instante TU y longitud λ_E:
$\theta_{med} = 6^{\mathrm{h}}{,}609\,078 + 0^{\mathrm{h}}{,}065\,709\,825\ d + 1{,}002\,737\,91\ TU + \lambda_E$
$\theta_{ver} = \theta_{med}$ + ecuación de los equinoccios
Ecuación de los equinoccios $= -1^{\mathrm{s}}{,}01 - 0^{\mathrm{s}}{,}00019\ d$ (error $< 0^{\mathrm{s}}{,}1$)

Escalas de tiempo

El instante en que ocurre un determinado fenómeno o suceso se indica por medio de una *escala de medida del tiempo*, que debe ser adecuada a la precisión que se requiera. Una escala de tiempo viene definida por una *unidad de medida* y un instante *origen de escala*. Los grandes avances habidos desde fines de los años 1950 en desarrollar y mantener sistemas de medida del tiempo muy precisos y estables, han llevado a sustituir progresivamente escalas basadas en fenómenos astronómicos, como la rotación de la Tierra, por escalas basadas en fenómenos cuánticos.

La unidad básica de medida del tiempo, que utilizan o a la que se refieren todas las escalas de tiempo, es el *segundo* (del Sistema Internacional de Unidades, SI), el cual se define (desde 1967) como la duración de 9 192 631 770 oscilaciones de la radiación emitida en la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133, a nivel de mar. El número de oscilaciones se escogió de manera que su duración correspondiera con la mayor precisión posible con la unidad de tiempo utilizada hasta entonces (el segundo de efemérides, definido como la fracción $31\,556\,925,9747$ de la duración del año trópico a las 12 TE del día 0 de enero de 1900).

El **día**, como unidad de tiempo en astronomía, se define como exactamente 86 400 segundos (del Sistema Internacional).

Escala atómica: TAI

La realización práctica de una escala de tiempo uniforme basada en el segundo antes definido se denomina Tiempo Atómico Internacional (TAI), oficial desde 1972. Todas las escalas distribuidas por satélite o señales horarias se obtienen a partir de ésta. El TAI se obtiene como un promedio ponderado de los tiempos indicados por más de doscientos relojes atómicos (de cesio y máseres de hidrógeno) distribuidos en unos 50 laboratorios por todo el mundo. Su estabilidad (mejor que 1 microsegundo por año) supera con mucho la de cualquier escala de tiempo astronómica. Por el momento sólo se conoce un fenómeno en la naturaleza aparentemente más estable, la rotación de púlsares aislados cuyo periodo sea del orden del milisegundo.

Escalas dinámicas: TE $\simeq$ TDT $\simeq$ TT, TDB

El TAI ha sustituido en 1972 al Tiempo de Efemérides (TE) como medida básica del transcurrir del tiempo. El TE está ligado a un fenómeno astronómico observable, el movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol según el formalismo de S. Newcomb que data de 1898 y que se adoptó en 1952. Por razones históricas (TE $\simeq$ TU en $\sim$1900, TAI $\simeq$ TU en 1958),

los orígenes de las escalas de TE y TAI son ligeramente distintos. TE y TAI difieren en un valor constante:

$$TE = TAI + 32^{s},184 \, .$$

La denominación "tiempo de efemérides" ha caido en desuso dado que su utilización en la descripción de la dinámica del sistema solar no tiene en cuenta efectos relativistas, medibles hoy en día: la introducción de éstos implica que la escala de tiempo empleada debe referirse al sistema de referencia de coordenadas que se considere. Por ello, en 1976 se definieron dos nuevas escalas de tiempo: el Tiempo Dinámico Terrestre (TDT, escala uniforme de tiempo adecuada para describir las efemérides referidas al centro de la Tierra y, en la práctica, da continuidad al TE) y el Tiempo Dinámico Baricéntrico (TDB, adecuado para describir las efemérides referidas al baricentro del sistema solar). Difieren en menos de dos milésimas de segundo; en buena aproximación, su diferencia en el día d del año viene dada por:

$$TDB \simeq TDT + 0^{s},00166 \ \mathrm{sen}\,(0^{\circ},9856\, d - 4^{\circ}).$$

Estas escalas están en uso oficial desde 1984. En 1991 la Unión Astronómica Internacional (UAI) introdujo unas nuevas escalas de tiempo que complementan las anteriores en cuanto que se refieren al tiempo propio en las coordenadas espacio-temporales que les corresponde. Se denominan Tiempo Coordenado Geocéntrico (TCG) y Tiempo Coordenado Baricéntrico (TCB). Además, para dar continuidad al TDT en este nuevo sistema, se definió el Tiempo Terrestre (TT) como un tiempo uniforme geocéntrico cuya unidad es el segundo (SI) sobre el geoide. Una nueva resolución de la UAI en 2000 refinó la definición del TT ligándolo de manera más simple al TCG. Existen expresiones para relacionar cada una de estas escalas de tiempo con el TAI.

Escala ligada a la rotación de la Tierra: TU (UT1)

La escala de Hora o Tiempo Universal (TU, internacionalmente designada por UT) está ligada a la rotación de la Tierra con referencia al Sol. Corresponde al tiempo solar medio (Sol ficticio) en Greenwich, denominación en desuso. Dado que la rotación de la Tierra no es uniforme, la escala del TU tampoco es uniforme si la comparamos con el TAI. Hay muchas causas que contribuyen, en distinto grado, a las variaciones en la rotación: a corto plazo, los efectos periódicos causados por las mareas y por las variaciones atmosféricas estacionales, así como desplazamientos de la superficie terrestre respecto del eje de rotación y movimientos en el interior; a largo plazo, la rotación es frenada por la fricción causada por las mareas. Por todo ello, la definición del segundo como la 86 400ava parte del

día solar medio fue abandonada en 1960 y sustituida por la del segundo de efemérides antes citado y, actualmente, por el segundo dado por los relojes atómicos.

El TU que se obtiene directamente de las observaciones de tránsitos de estrellas se denomina UT0 y constituye una aproximación local al TU. Cuando UT0 es corregido de la componente rotacional debida a los movimientos del polo, se obtiene la escala UT1, que es independiente de la posición del observador sobre la Tierra. Esta escala debe ser usada siempre que la orientación de la Tierra en el espacio sea un parámetro esencial y, por lo tanto, es la adecuada para astronomía, navegación y ciertas aplicaciones de la geodesia. Entre los fenómenos estrechamente ligados a esta escala se encuentran los eclipses y ocultaciones, las observaciones de los periodos de los púlsares y los estudios de la rotación de la Tierra (en comparación con el TAI).

El TU y el TE se definieron de tal manera que a principios del siglo XX su diferencia era aproximadamente nula. En la actualidad la diferencia TE−TU (o con mayor propiedad TT–UT1) es de aproximadamente un minuto y, en promedio, aumenta casi un segundo por año. De una manera aproximada, para el año (incluyendo fracción) A se puede calcular:

$$TT - UT1 = 66^{\mathrm{s}}{,}1 + 0^{\mathrm{s}}{,}15\,(A - 2010) + 0^{\mathrm{s}}{,}051\,(A - 2010)^2 - 0^{\mathrm{s}}{,}0031\,(A - 2010)^3,$$

expresión válida entre 2009 y 2020.

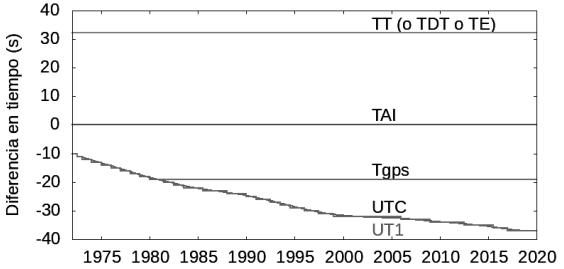
El Servicio Internacional de la Rotación Terrestre y de los Sistemas de Referencia (IERS) proporciona periódicamente los valores medidos y las predicciones de la diferencia *TT–UT1*.

Escala de difusión mundial: UTC

La escala de tiempo utilizada en la práctica se originó en la escala de TU, pues se basa en el tiempo solar medio y precedió históricamente al TAI. Sin embargo, dadas las variaciones no predecibles de la escala de TU respecto de una escala uniforme, continua y precisa como es el TAI, en 1972 se adoptó como base para los tiempos legales la escala de Tiempo Universal Coordinado (UTC) que supone un compromiso entre ambas escalas. En cada instante el UTC difiere del TAI en un número entero de segundos y difiere del UT1 en menos de un segundo. Dado que la diferencia entre TAI y UT1 se incrementa a razón de una fracción de segundo por año, ocasionalmente resulta necesario retocar la escala del UTC en exactamente 1^{s}; ello suele hacerse "repitiendo" el último segundo (*intercalar*) del 30 de junio o, más comúnmente, del 31 de diciembre. Es decir, la disminución gradual de la velocidad de rotación de la Tierra se

traduce en un alargamiento del día y en que deba añadirse un segundo cada uno o varios años. El primer cambio se produjo en el propio año 1972.

La escala UTC es la que se difunde como señales horarias y, por lo tanto, resulta fácilmente disponible para la mayor parte de usos civiles, de navegación y astronómicos. Si se requiere algo más de precisión, es posible decodificar electrónicamente una predicción de la diferencia UT1−UTC que, redondeada a la décima de segundo, es transmitida en algunas señales horarias y se denomina DUT1. Si se necesita disponer del TT o del TAI con mucha más precisión (como ocurre en ciertas observaciones astronómicas y geodésicas), se puede recurrir a las señales emitidas por la flotilla de satélites que constituyen el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), con los que se obtiene una precisión instantánea mejor que el microsegundo. Promediando medidas en diez días se llega a una precisión de 10 nanosegundos. Su tiempo interno es tal que T_{GPS} = TAI−19^s, pero incorpora correcciones para suministrar también UTC a los usuarios.



Fecha	TT–UT1
2012 Ene 1	66^s,60
2013 Ene 1	66^s,91
2014 Ene 1	67^s,28
2015 Ene 1	67^s,64
2016 Ene 1	68^s,10
2017 Ene 1	68^s,59
2018 Ene 1	68^s,97
2019 Ene 1	69^s,22
2020 Ene 1 (pred.)	69^s,5
2021 Ene 1 (pred.)	69^s,7

Fecha	TAI–UTC
2012 Jul 1	35^s
2015 Jul 1	36^s
2017 Ene 1	37^s

En las tablas anteriores se indican la diferencia TT–UT1 para el primer día del año y las fechas en que se ha anunciado un salto de 1^s en la diferencia DTA=TAI–UTC, desde 2012 hasta 2021.

El contexto en que aparece la expresión “tiempo universal” debe sugerir si se trata de UT1 o de UTC. En astronomía siempre se refiere a UT1, salvo si se indica otra cosa. Aunque la escala de tiempos propia para el cálculo de las efemérides es una escala uniforme (como son TT y TAI), en este

ANUARIO hemos referido los tiempos al tiempo universal pues es de más fácil acceso. Para ello ha sido necesario extrapolar la diferencia TT−UT1.

Tiempo sidéreo: θ_v, θ_m

El tiempo sidéreo es otra escala de tiempo astronómica ligada a la rotación de la Tierra en la que, a diferencia del tiempo solar, se toma como referencia la posición de las estrellas. Se determina observando los instantes de tránsito de estrellas por el meridiano, pues el tiempo sidéreo local verdadero (o aparente) de un lugar en un instante dado coincide con la ascensión recta del astro que culmina en tal instante. En la actualidad también se determina por medidas efectuadas con láser de la distancia a la Luna y a satélites artificiales (cuyas órbitas no están afectadas por las pequeñas irregularidades en la rotación de la Tierra) y por observaciones interferométricas de radiofuentes, que constituye el método más preciso.

El tiempo sidéreo se define, con rigor, con referencia a la dirección en que se cruzan el plano del ecuador y el de la eclíptica. Tal dirección se conoce como *equinoccio de primavera, punto vernal* o *punto Aries*. Dado que éste es el origen de medida de la *ascensión recta*, el ángulo horario AH de un astro de ascensión recta α se relaciona con el tiempo sidéreo local θ mediante:

$$\begin{gathered} \textit{tiempo sidéreo local} = \textit{ángulo horario} + \textit{ascensión recta}, \\ \theta = AH + \alpha. \end{gathered}$$

Cuando se consideran el ecuador y la eclíptica medios (los obtenidos considerando sólo la precesión), se obtiene el *tiempo sidéreo medio*, θ_m, que constituye una escala prácticamente uniforme y que se relaciona por medio de una fórmula con la del tiempo universal UT1. Cuando se incluyen los efectos de la nutación (ecuador y eclíptica verdaderos), se obtiene el *tiempo sidéreo verdadero*, θ_v. La diferencia entre ellos es inferior a $1^s\!,2$ y se denomina *ecuación de los equinoccios*:

$$\begin{aligned} EcEq &= \theta_v - \theta_m, \\ &\simeq -1^s\!,05\ \operatorname{sen}(344^\circ - 0^\circ\!,052954\ DJ) - 0^s\!,08\ \operatorname{sen}(123^\circ + 1^\circ\!,9713\ DJ) \end{aligned}$$

siendo DJ el día juliano considerado.

La relación entre el tiempo sidéreo verdadero local (θ_v) y el tiempo universal (UT1) para un lugar de longitud (positiva hacia el Este) λ_E en el día juliano DJ se obtiene mediante:

$$\begin{aligned} \theta_v = {} & 6^h\!,697\,374 + 0^h\!,065\,709\,824\ (DJ_{0^h} - 2\,451\,545) + EcEq + \\ & + 1,002\,737\,9093\ UT1 + \lambda_E \end{aligned}$$

donde los dos primeros sumandos dan el tiempo sidéreo medio en Greenwich a 0^h de TU para el día *DJ* considerado, el tercer sumando (ecuación de los equinoccios) corrige de tiempo sidéreo medio a verdadero, el cuarto sumando añade la contribución del TU (si no es nulo), y el último sumando corrige por la longitud del lugar. Esta ecuación da errores de a lo sumo un milisegundo para fechas comprendidas entre el año 2000 y el 2025. El resultado debe expresarse entre 0^h y 24^h. Si se desea obtener el tiempo sidéreo medio, basta con prescindir del sumando *EcEq*. El cálculo del tiempo sidéreo local θ_v es necesario, por ejemplo, para determinar el ángulo horario *AH* de un astro a observar en un instante dado y cuya ascensión recta α sea conocida:

$$\textit{ángulo horario} = \textit{tiempo sidéreo verdadero} - \textit{ascensión recta}$$
$$AH = \theta_v - \alpha.$$

Valores precisos del tiempo sidéreo verdadero en Greenwich a 0^h TU y de la ecuación de los equinoccios vienen dadas para cada día en las tablas al final de esta sección.

Si se desea calcular el TU dado el tiempo sidéreo, primero se calcula

$$\theta_v - EcEq - 6^h{,}745\,117 - 0^h{,}065\,709\,824\,(DJ_{0^h} - 2\,450\,450) - \lambda_E$$

se expresa el resultado entre 0^h y 24^h, se suman 24^h si es necesario y a continuación se multiplica por 0,997 269 5663.

La duración de un día sidéreo medio es de $23^h56^m04^s{,}0905$. El periodo de rotación de la Tierra respecto de las estrellas, en que se prescinde del efecto de la precesión del equinoccio, es de $23^h56^m04^s{,}0989$.

Tiempos solares

En el origen del concepto de Tiempo Universal se encuentra el del *tiempo solar*. El tiempo que indica un reloj de sol puede diferir en muchos minutos, incluso en horas, del Tiempo Oficial en un lugar dado, pues uno se basa en el movimiento diurno del Sol verdadero tal como es observado en tal lugar y el otro en un convenio que uniformiza el tiempo en países.

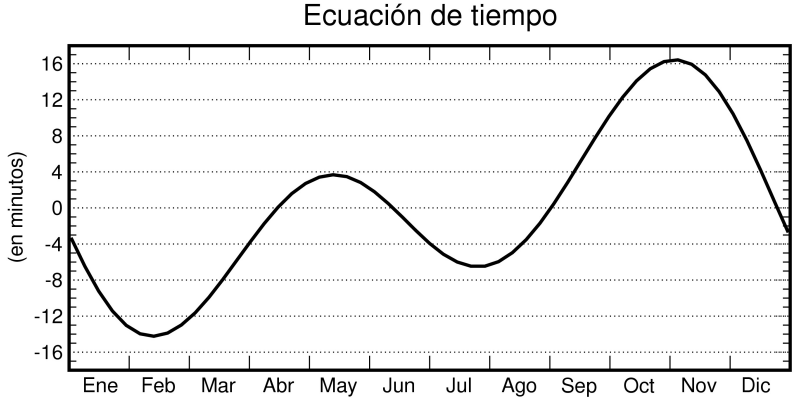
El *tiempo solar (local) verdadero* se define como el ángulo horario del Sol (o sea, la diferencia entre el tiempo sidéreo local verdadero θ_v y la ascensión recta del Sol $\alpha_\odot$). Este tiempo no es uniforme debido a la elipticidad de la órbita de la Tierra, a la inclinación relativa entre el plano de la eclíptica y el del ecuador, y a las irregularidades de la rotación de la Tierra. Dicha no uniformidad da lugar a que la duración de un día solar verdadero (dado por pasos consecutivos del centro del Sol por el meridiano del lugar) pueda diferir de la del día precedente en casi un segundo; su diferencia con 24 horas exactas (86 400 segundos) puede ser de

hasta 30 segundos. El *tiempo solar verdadero* puede ser determinado por observación del Sol y fue la base de las efemérides astronómicas publicadas hasta mediados del siglo XIX, siendo sustituido por el *tiempo solar medio*.

Se denomina *tiempo solar (local) medio* al que se obtiene considerando un Sol "ficticio" que se mueve en el plano del ecuador de manera que su ángulo horario varíe de manera uniforme, coincidiendo con el movimiento medio del Sol verdadero. La diferencia entre el tiempo solar verdadero y el medio se denomina *ecuación de tiempo* y puede llegar a superar los 16 minutos. Una expresión aproximada de esta diferencia, válida para un día d de este año, viene dada por:

$$\begin{aligned} Ec.Tiempo &= tiempo\ solar\ verdadero\ -\ tiempo\ solar\ medio \\ &= 595^{\mathrm{s}}\ \mathrm{sen}\,(198^\circ + 1^\circ\!,9713\,d) + 442^{\mathrm{s}}\ \mathrm{sen}\,(175^\circ + 0^\circ\!,9856\,d) \end{aligned}$$

La pretendida uniformidad de la escala del *tiempo solar medio* se basaba en la suposición de que la rotación de la Tierra era uniforme. Al descubrirse que no lo es, se abandonó el uso del tiempo solar medio en las efemérides, siendo sustituido por el Tiempo de Efemérides.



Para evitar la incomodidad que supone que el tiempo solar medio tome el valor cero al mediodía se introdujo el concepto de *tiempo civil*, el cual no es más que el tiempo solar medio aumentado en doce horas. Dado que el Tiempo Universal se definió de manera que coincidiera con el tiempo civil en Greenwich, para un lugar cuya longitud (positiva hacia el Este y expresada en horas) sea λ_E, se puede escribir:

$$tiempo\ civil = tiempo\ solar\ medio + 12^{\mathrm{h}} = TU + \lambda_E$$

El tiempo solar (medio o verdadero) y el tiempo civil son tiempos locales, por lo que no resultan útiles como escalas de tiempo de interés general.

Emisores de señales de tiempo

El método de obtención del tiempo correspondiente a una escala dada (en general TAI o UTC) depende de la precisión que se requiera. Vía teléfono (y señales horarias) la precisión no es de esperar que sea mejor que 30 ms (milisegundos), debido a inestabilidades y retardos en la propagación telefónica.

El método más común de obtener mejor precisión consiste en captar la señal emitida por emisoras especializadas. La propagación de señales de alta frecuencia presenta retardos y variaciones diurnas que limitan su precisión a 1 ms. Sistemas usados en navegación, como el Loran−C y similares, funcionan a baja frecuencia y permiten aproximarse al microsegundo, tras realizar correcciones por propagación.

Emisoras de señales horarias con emisión continua

Indicativo	Emplazamiento país	Latitud Longitud	Frecuencia de la portadora
	Onda corta		**MHz**
BSF	Chungli Taiwán	+24°56′ 121°09′	5; 15
CHU	Ottawa Canadá	+45°18′ –75°45′	3,33; 7,335; 14,67
NNG	Llandilo Australia	–33°42′ 150°47′	5
RWM	Moscú Rusia	55°48′ 38°18′	4,996; 9,996
WWV	Fort Collins EEUU	+40°41′ –105°02′	2,5; 5; 10; 15; 20; 25
WWVH	Kekaha EEUU	+21°59′ –159°46′	2,5; 5; 10; 15
	Onda larga		**kHz**
DCF77	Mainflingen Alemania	+50°01′ +09°00′	77,5
HBG	Prangins Suiza	+46°24′ +06°15′	75
MSF	Rugby Reino Unido	+52°22′ –01°11′	60
OMA	Liblice Rep. Checa	+50°04′ +14°53′	50
WWVB	Fort Collins EEUU	+40°40′ –105°03′	60

Los sistemas de navegación vía satélite (como GPS, GLONASS) permiten más precisión, pues la propagación puede ser modelada muy bien. Si se corrigen los retardos debidos a cables y se recibe la señal en un lugar no perturbado (por grandes estructuras, tendidos eléctricos o similares) se puede conseguir una precisión mejor que la décima de microsegundo.

En la tabla anterior constan algunas de las emisoras terrestres que emiten de manera continua, durante todo el día y de acuerdo con la escala de tiempos de UTC, habitual desde 1972. En España, el Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, Cádiz) emite señales horarias en onda corta (modo A_3J) desde las 10^h00^m a las 10^h25^m TUC a la frecuencia de 15,006 MHz y desde las 10^h30^m a las 10^h55^m TUC a 4,998 MHz.

Las señales que se transmiten están codificadas de distinta manera, según cual sea la emisora. En general se emiten impulsos cortos cuyo inicio corresponde al segundo exacto en la escala de tiempo considerada (normalmente UTC). El minuto exacto habitualmente se indica con un impulso más largo.

Sincronización de ordenadores al UTC

El "Network Time Protocol" (NTP) permite la sincronización de los relojes de ordenadores a través de una red. Mantiene los ordenadores sincronizados al UTC con un error máximo de 10 milisegundos, valor que puede reducirse a 200 microsegundos en redes locales en condiciones ideales.

El NTP utiliza un sistema jerárquico de distribución. Los sistemas de nivel ("estrato") 1 son aquellos que están sincronizados con un reloj externo como un servidor de tiempos GPS. El OAN dispone de dos servidores NTP de este nivel para uso interno. En España hay varios servidores públicos NTP de nivel 1, como son `hora.roa.es` y `hora.rediris.es`.

Tiempo oficial y husos horarios

En lugar del *tiempo solar medio*, que varía de un punto a otro en la superficie de la Tierra, la organización administrativa y laboral de los países así como la gran importancia adquirida por las comunicaciones internacionales han llevado a establecer un horario oficial para cada país, de tal manera que en un país o en grandes regiones de él se utilice la misma hora y que ésta sea fácilmente convertible en la de otro país. Para facilitar el establecimiento de los tiempos oficiales, progresivamente se ha adoptado un sistema por el cual sólo se retiene el tiempo solar medio de una serie de meridianos de referencia. El *sistema mundial de husos horarios* considera la superficie de la Tierra dividida en 24 husos esféricos delimitados por

meridianos distantes 15° (1^h) entre sí. Como origen se toma el huso número 0 centrado en el meridiano de Greenwich que, por lo tanto, está delimitado por los meridianos cuya longitud es $-7^\circ\!.5$ y $+7^\circ\!.5$. Con esta división se pretende favorecer que cada país adopte como tiempo oficial el correspondiente al huso en que se encuentra la mayor parte del país (tiempo legal). De esta manera, la diferencia entre el tiempo oficial de distintos países (o entre distintas zonas de un mismo país muy extenso) sería de un número entero de horas. Este sistema se complementa con una *línea internacional de cambio de fecha*, que zigzaguea alrededor del meridiano 180°. Al cruzarla viajando en la dirección Este, hay que disminuir la fecha en un día; en la dirección Oeste, incrementarla en un día.

En la práctica hay muchas desviaciones respecto del sistema anterior. Algunos países han adoptado un tiempo oficial adelantado o retrasado en una unidad a fin de coincidir con aquellos países vecinos con los que tiene mayores intercambios comerciales. Es el caso de España, que se encuentra en el huso 0 y emplea el tiempo legal en el huso 1. Hay varios países que, por razón de su extensión, se encuentran en varios husos horarios, por lo que tienen diferentes tiempos oficiales en distintas regiones. Tal es el caso de Australia, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Indonesia, México, Rusia y la Rep. Dem. del Congo (antiguo Zaire). La delimitación de los diferentes tiempos oficiales dentro de estos países sigue diversos criterios, tales como accidentes geográficos o divisiones administrativas. Una excepción entre los países muy extensos es China, donde se ha optado por un único horario (el correspondiente a Pekín) en lugar de los cinco que le corresponden. Algunos países han adoptado un tiempo oficial que difiere en una fracción de hora respecto del correspondiente al huso horario, como es el caso de Afganistán, India, Irán, Myanmar, Nepal, Sri Lanka, Venezuela y parte de Australia.

Otra excepción muy corriente al sistema de los husos horarios viene dada por el cambio del tiempo oficial que adoptan muchos países durante una parte del año. El adelanto es de 1^h en todos los casos (salvo en la isla Lord Howe). La mayoría de países europeos, incluido el Reino Unido, adelantan en una hora el tiempo oficial durante unos siete meses, desde el último domingo de marzo al último de octubre. En un proceso de uniformización del horario europeo, a partir de otoño de 1996 los países europeos pasaron a cambiar la hora en la madrugada del último domingo de octubre, en lugar del último de setiembre como solía ser. La mayoría de estados en Estados Unidos y Canadá adelantan su tiempo oficial desde el primer domingo de abril al último de octubre. En algunos países del hemisferio sur también hay un cambio de horario en una hora, en general entre los meses de octubre y marzo. Actualmente unos 80 países del mundo adoptan un horario adelantado durante parte del año.

En la tablas que siguen se indica el tiempo oficial (TO) de países y territorios del mundo, agrupados por continentes, referido al Tiempo

Universal (TU). Es decir, para obtener el tiempo oficial en un país correspondiente a un TU dado, basta con sumar al TU el valor indicado en la tabla para tal país. Para obtener la diferencia de horario entre dos países, basta con restar los números indicados en la tabla. *Ejemplo*: La diferencia horaria entre España (península e I. Baleares) y Chile el día 1 de enero es de 4 horas: en la península y Baleares está en vigor el horario de invierno ($TU + 1^h + 0^h$), mientras que en Chile lo está el de verano ($TU - 4^h + 1^h$).

El uso de los datos aquí reseñados debe hacerse con reserva por varias razones. Muchos países cambian de horario durante el año (lo que hemos indicado con un asterisco *). Además, en cualquier momento los gobiernos pueden tanto modificar el tiempo oficial en su país, como instaurar o eliminar la adopción de un horario adelantado durante parte del año. Por ejemplo, en octubre de 2018 Marruecos anuló el horario de invierno. En 2021 posiblemente se supriman los cambios de hora en la Unión Europea.

Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO−TU	Países o regiones
	EUROPA
-1^h	I. Azores* (Portugal)
$+0^h$	I. Canarias* (España); I. Feroe* (Dinamarca); Irlanda*; Islandia; I. Madeira* (Portugal); Portugal*; Reino Unido*
$+1^h$	Albania*; Alemania*; Andorra*; Austria*; I. Baleares* (España); Bélgica*; Bosnia-Herzegovina*; Croacia*; R. Checa*; Dinamarca*; R. Eslovaca*; Eslovenia*; España* (península); Francia*; Hungría*; Italia*; I. Jan Mayen (Noruega); Liechtenstein*; Luxemburgo*; R. Macedonia*; Malta*; Mónaco*; Montenegro*; Noruega*; Países Bajos*; Polonia*; San Marino*; Serbia*; I. Spitzberg y Svalbarad (Noruega); Suecia*; Suiza*; Vaticano*
$+2^h$	Bulgaria*; Estonia*; Finlandia*; Grecia*; Kaliningrado (Rusia); Letonia*; Lituania*; R. Moldova*; Rumania*; Ucrania*
$+3^h$	Belarús; Rusia (hora de Moscú)
	ÁFRICA
-1^h	I. Cabo Verde
$+0^h$	I. Ascensión (RU); Burkina Faso; Costa de Marfil; Gambia; Ghana; Guinea; Guinea Bissau; Liberia; Malí; Mauritania; I. Santa Elena (RU); Santo Tomé y Príncipe; Senegal; Sierra Leona; Togo
$+1^h$	Angola; Argelia; Benin; Camerún; R. Centroafricana; Congo; Chad; Gabón; Guinea Ecuatorial; Libia*; Marruecos; Níger; Nigeria; Túnez*; R.D. Congo: Bajo Zaire, Bandundu, Ecuador
$+2^h$	Botswana; Burundi; Egipto; Lesotho; Malawi; Mozambique; Namibia; Ruanda; R. Sudáfrica; R.D. Congo: Alto Zaire, Kasai, Kivu, Shaba; Sudán; Swazilandia; Zambia; Zimbabwe
$+3^h$	Comoras; Eritrea; Etiopía; Kenia; Madagascar; I. Mayotte (Fr.); Somalia; Sudán del Sur; Tanzania; Uganda; Yibuti
$+4^h$	Mauricio*; I. Reunión (Fr.); I. Seychelles

Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO−TU	Países o regiones
	ASIA
$+2^h$	Chipre*; Israel*; Jordania*; Líbano*; Palestina*; Siria*
$+3^h$	Arabia Saudí; Bahrein; Iraq; Kuwait; Qatar; Yemen; Turquía
$+3^h\,30^m$	Irán*
$+4^h$	Armenia; Azerbaiyán; Emiratos Arabes Unidos; Georgia; Omán; Rusia (hora de Volgograd)
$+4^h\,30^m$	Afganistán
$+5^h$	Kazajastán (Aqtau, Aqtobe); I. Maldivas; Pakistán; Rusia (hora de Ekaterimburgo); Tayikistán; Turkmenistán; Uzbekistán
$+5^h\,30^m$	I. Andaman (India); India; Sri Lanka
$+5^h\,45^m$	Nepal
$+6^h$	Bangladesh; Bhután; Kazajastán (Almaty, Astana); Kirguistán
$+6^h\,30^m$	Myanmar; I. Cocos (Australia)
$+7^h$	Camboya; Indonesia: Java, Madura y Sumatra; Laos; Mongolia (Hovd); Rusia (hora de Krasnoyarsk y Novosibirsk); Tailandia; Vietnam
$+8^h$	Brunei Darassalam; China; Filipinas; Hong Kong (China); Indonesia: Bali, Célebes, Flores, Kalimantan, Sumba, Sumbawa y Timor; Macao (China); Malasia; Mongolia (Choibalsan, Ulaanbaatar); Rusia (hora de Irkutsk); Singapur; Taiwán
$+9^h$	Corea del Sur; Corea del Norte; Indonesia: Irian Jaya, I. Molucas; Japón (excepto Bonin); Rusia (hora de Yakutsk); Timor-Leste
$+10^h$	I. Bonin (Japón); Guam (EEUU); Rusia (hora de Vladivostok)
$+11^h$	Rusia (hora de Cherskiy)
$+12^h$	Rusia (hora de Kamchatka)
	OCEANÍA
$+7^h$	I. Christmas (Australia)
$+8^h$	Australia: Occidental*
$+9^h$	R. Palau
$+9^h\,30^m$	Australia: Meridional* y Territorio del Norte
$+10^h$	Australia: Canberra*, Queensland, N. Gales del Sur*, Tasmania*, Victoria*, I. Whitsunday*; Marianas del Norte; Papúa-Nueva Guinea
$+10^h\,30^m$	I. Lord Howe* (Australia)
$+11^h$	Micronesia; I. Norfolk (Au.); Nueva Caledonia (Fr.); I. Salomón; Vanuatu
$+11^h\,30^m$	I. Banaba (Kiribati)
$+12^h$	Fiji; Kiribati; I. Marshall (EEUU); Nauru; Nueva Zelanda*; Tuvalu; I. Wake (EEUU); I. Wallis y Fortuna (Fr.)
$+12^h\,45^m$	I. Chatham* (Nueva Zelanda)
$+13^h$	I. Fenix (Kiribati); Tonga
$+14^h$	I. Christmas (Kiribiati)
-11^h	I. Midway (EEUU); Niue; Samoa; Samoa americana
-10^h	Cook; Hawaii (EEUU); Tahití (Fr.); I. Tuamotu (Fr.); Tubuai (Fr.)
$-9^h\,30^m$	I. Marquesas (Fr.)
-9^h	I. Gambier (Fr.)

Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO−TU	Países o regiones
	AMÉRICA
-10^{h}	I. Aleutianas* (al oeste de $-169^{\circ}5$, EEUU)
-9^{h}	EEUU: Alaska* e I. Aleutianas (al este de $-169^{\circ}5$)
-8^{h}	Canadá: Columbia* y Yukón*; EEUU ($\lambda \lesssim -102^{\circ}$); Baja California Norte* (México)
-7^{h}	Canadá: Alberta* y oeste del Territorio del Noroeste*; EEUU* ($-115^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim -102^{\circ}$); México*: Sonora, Sinaola, Nayarit y Baja California Sur
-6^{h}	Belice; Canadá: Manitoba*, Ontario* ($\lambda \lesssim -90^{\circ}$), Saskatchewan, Territorio del Noroeste* ($-102^{\circ} < \lambda \lesssim -85^{\circ}$); Costa Rica; EEUU* ($-102^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim -86^{\circ}$); I. Galápagos (Ecuador); Guatemala; Honduras; México* (excep. Sonora, Sinaola, Nayarit y Baja California); Nicaragua; I. de Pascua* (Chile); El Salvador
-5^{h}	Bahamas*; I. Caimán (RU); Canadá: Ontario* ($\lambda > -90^{\circ}$), Quebec* ($\lambda < -63^{\circ}$) y Territorio del Noroeste* ($-85^{\circ} < \lambda < -68^{\circ}$); Colombia; Cuba*; Ecuador; EEUU* (al este de aprox. -86°); Haití*; Jamaica; I. Juan Fernández (Chile); Panamá; Perú; I. Turcas y Caicos* (RU)
-4^{h}	Anguila; Antigua y Barbuda; Antillas Francesas; Antillas Holandesas; Aruba; Barbados; Bermudas* (RU); Bolivia; Brasil: Acre, Amazonas, Mato Grosso* (Norte y Sur), oeste de Pará, estados centrales y del noroeste; Canadá: Labrador*, Quebec ($\lambda > -63^{\circ}$), Nueva Escocia*, Nueva Brunswick* y Territorio del Noroeste ($\lambda < -68^{\circ}$); Chile*; Dominica; R. Dominicana; Granada; Guadalupe (Fr.); Guyana; Martinica (Fr.); Montserrat (RU); Paraguay*; Puerto Rico; San Cristóbal y Nevis; Santa Lucía; San Vicente y las Granadinas; Thule* (Groenlandia); Trinidad y Tobago; I. Vírgenes (EEUU, RU); Venezuela
$-3^{h}30^{m}$	I. Terranova* (Canadá)
-3^{h}	Argentina; Brasil: Bahia, Goiás*, Brasilia*, costa sudeste*, costa noroeste, este de Pará; Groenlandia*; Guayana francesa; I. Malvinas (RU); I. de San Pedro y Miguelon* (Fr.); Surinam; Uruguay*
-2^{h}	I. Fernando do Noronha (Brasil)
-1^{h}	Groenlandia: Scorebysund*, Constaple Pynt

La mayor parte de esta información se refiere al tiempo oficial en vigor el día 1 de enero de 2013.

La longitud, λ, se considera positiva al Este y negativa al Oeste del meridiano de Greenwich.

Símbolos: $<, \lesssim$ significan "al oeste de"; $>, \gtrsim$ significan "al este de".

Abreviaturas: **Fr.** Francia, **I.** isla, **R.** República, **RU** Reino Unido.

La hora en España

Todos los tiempos en el ANUARIO viene expresados en Tiempo Universal (UT1), salvo que se indique lo contrario. El tiempo oficial en la península y Baleares corresponde a UTC+1^h en el horario de otoño e invierno y a UTC+2^h en el horario de primavera y verano (horario "adelantado"). UTC es el Tiempo Universal Coordinado, que se da con las señales horarias. El tiempo oficial en Canarias corresponde a una hora menos que el peninsular, de manera que es igual al UTC en otoño e invierno. Desde otoño de 1996 los cambios de horario son comunes para toda Europa central: el horario adelantado se inicia a la 1^h TU (las 2^h de la madrugada en la península) del último domingo de marzo, momento en que los relojes se adelantan una hora, y dura hasta la 1^h TU (las 3^h de la madrugada en la península) del último domingo de octubre, momento en que los relojes se retrasan una hora.

El último domingo de marzo cae entre los días 25 y 31 (ambos inclusive). Este día tiene oficialmente una hora menos. El último domingo de octubre cae entre los días 25 y 31 (ambos inclusive). Este día tiene oficialmente una hora más.

El día 12 de septiembre de 2018, la Comisión Europea presentó una propuesta para poner fin a los cambios de hora. Actualmente el Parlamento Europeo está debatiendo eliminarlos a partir de 2021, aunque todavía no hay una decisión firme.

Los próximos cambios de horario deberían tener lugar en las siguientes fechas:

2020 Domingos 29 de marzo y 25 de octubre.

2021 Domingos 28 de marzo y 31 de octubre.

Enero 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	M	1	2458849,5	06	40	28,229	−1,008	−03	05
2	J	2	2458850,5	06	44	24,781	−1,011	−03	33
3	V	3	2458851,5	06	48	21,333	−1,015	−04	01
4	S	4	2458852,5	06	52	17,885	−1,018	−04	29
5	D	5	2458853,5	06	56	14,438	−1,020	−04	56
6	L	6	2458854,5	07	00	10,994	−1,020	−05	23
7	M	7	2458855,5	07	04	07,552	−1,018	−05	50
8	M	8	2458856,5	07	08	04,112	−1,012	−06	16
9	J	9	2458857,5	07	12	00,676	−1,004	−06	41
10	V	10	2458858,5	07	15	57,240	−0,995	−07	06
11	S	11	2458859,5	07	19	53,805	−0,986	−07	30
12	D	12	2458860,5	07	23	50,368	−0,978	−07	54
13	L	13	2458861,5	07	27	46,928	−0,973	−08	17
14	M	14	2458862,5	07	31	43,484	−0,973	−08	40
15	M	15	2458863,5	07	35	40,037	−0,975	−09	02
16	J	16	2458864,5	07	39	36,588	−0,980	−09	23
17	V	17	2458865,5	07	43	33,139	−0,984	−09	44
18	S	18	2458866,5	07	47	29,691	−0,987	−10	04
19	D	19	2458867,5	07	51	26,246	−0,987	−10	23
20	L	20	2458868,5	07	55	22,805	−0,984	−10	42
21	M	21	2458869,5	07	59	19,365	−0,979	−11	00
22	M	22	2458870,5	08	03	15,928	−0,972	−11	17
23	J	23	2458871,5	08	07	12,491	−0,965	−11	34
24	V	24	2458872,5	08	11	09,052	−0,958	−11	49
25	S	25	2458873,5	08	15	05,612	−0,954	−12	04
26	D	26	2458874,5	08	19	02,170	−0,951	−12	18
27	L	27	2458875,5	08	22	58,725	−0,952	−12	32
28	M	28	2458876,5	08	26	55,277	−0,955	−12	44
29	M	29	2458877,5	08	30	51,828	−0,960	−12	56
30	J	30	2458878,5	08	34	48,377	−0,965	−13	07
31	V	31	2458879,5	08	38	44,927	−0,971	−13	17

Todos los tiempos indicados en esta tabla se refieren a las 0^h de tiempo universal (TU) del día considerado.

Febrero 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	S	32	2458880,5	08	42	41,478	−0,976	−13	26
2	D	33	2458881,5	08	46	38,030	−0,979	−13	34
3	L	34	2458882,5	08	50	34,584	−0,980	−13	42
4	M	35	2458883,5	08	54	31,142	−0,978	−13	48
5	M	36	2458884,5	08	58	27,701	−0,974	−13	54
6	J	37	2458885,5	09	02	24,263	−0,967	−13	59
7	V	38	2458886,5	09	06	20,825	−0,960	−14	03
8	S	39	2458887,5	09	10	17,387	−0,954	−14	07
9	D	40	2458888,5	09	14	13,946	−0,951	−14	09
10	L	41	2458889,5	09	18	10,501	−0,951	−14	11
11	M	42	2458890,5	09	22	07,052	−0,955	−14	12
12	M	43	2458891,5	09	26	03,601	−0,961	−14	12
13	J	44	2458892,5	09	30	00,149	−0,969	−14	12
14	V	45	2458893,5	09	33	56,699	−0,975	−14	11
15	S	46	2458894,5	09	37	53,250	−0,978	−14	09
16	D	47	2458895,5	09	41	49,805	−0,979	−14	06
17	L	48	2458896,5	09	45	46,363	−0,976	−14	03
18	M	49	2458897,5	09	49	42,922	−0,972	−13	59
19	M	50	2458898,5	09	53	39,482	−0,968	−13	54
20	J	51	2458899,5	09	57	36,042	−0,964	−13	48
21	V	52	2458900,5	10	01	32,599	−0,961	−13	42
22	S	53	2458901,5	10	05	29,155	−0,961	−13	36
23	D	54	2458902,5	10	09	25,708	−0,964	−13	28
24	L	55	2458903,5	10	13	22,258	−0,969	−13	20
25	M	56	2458904,5	10	17	18,806	−0,976	−13	12
26	M	57	2458905,5	10	21	15,354	−0,984	−13	03
27	J	58	2458906,5	10	25	11,901	−0,992	−12	53
28	V	59	2458907,5	10	29	08,448	−0,***	−12	43
29	S	60	2458908,5	10	33	04,998	−1,006	−12	32

B1850	= 2 396 758,203	= 0,703 de enero de 1850
J1900	= 2 415 020,0	= 0,500 de enero de 1900
B1900	= 2 415 020,313	= 0,813 de enero de 1900
J1950	= 2 433 282,5	= 1,000 de enero de 1950
B1950	= 2 433 282,423	= 0,923 de enero de 1950
J1991.25	= 2 448 349,0625	= 2,5625 de abril de 1991
J2000	= 2 451 545,0	= 1,500 de enero de 2000
B2000	= 2 451 544,533	= 1,033 de enero de 2000
J2050	= 2 469 807,5	= 1,000 de enero de 2050

Marzo 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	D	61	2458909,5	10	37	01,549	−1,010	−12	20
2	L	62	2458910,5	10	40	58,103	−1,012	−12	08
3	M	63	2458911,5	10	44	54,659	−1,011	−11	56
4	M	64	2458912,5	10	48	51,217	−1,008	−11	43
5	J	65	2458913,5	10	52	47,777	−1,004	−11	30
6	V	66	2458914,5	10	56	44,336	−0,***	−11	16
7	S	67	2458915,5	11	00	40,894	−0,997	−11	02
8	D	68	2458916,5	11	04	37,449	−0,998	−10	47
9	L	69	2458917,5	11	08	34,000	−1,002	−10	32
10	M	70	2458918,5	11	12	30,548	−1,010	−10	17
11	M	71	2458919,5	11	16	27,094	−1,019	−10	01
12	J	72	2458920,5	11	20	23,641	−1,028	−09	45
13	V	73	2458921,5	11	24	20,190	−1,034	−09	29
14	S	74	2458922,5	11	28	16,742	−1,037	−09	12
15	D	75	2458923,5	11	32	13,298	−1,036	−08	55
16	L	76	2458924,5	11	36	09,856	−1,033	−08	38
17	M	77	2458925,5	11	40	06,415	−1,030	−08	21
18	M	78	2458926,5	11	44	02,974	−1,027	−08	04
19	J	79	2458927,5	11	47	59,531	−1,025	−07	46
20	V	80	2458928,5	11	51	56,085	−1,026	−07	29
21	S	81	2458929,5	11	55	52,637	−1,029	−07	11
22	D	82	2458930,5	11	59	49,187	−1,035	−06	53
23	L	83	2458931,5	12	03	45,735	−1,042	−06	35
24	M	84	2458932,5	12	07	42,282	−1,051	−06	17
25	M	85	2458933,5	12	11	38,828	−1,060	−05	59
26	J	86	2458934,5	12	15	35,375	−1,069	−05	41
27	V	87	2458935,5	12	19	31,923	−1,076	−05	23
28	S	88	2458936,5	12	23	28,473	−1,081	−05	05
29	D	89	2458937,5	12	27	25,025	−1,084	−04	47
30	L	90	2458938,5	12	31	21,580	−1,084	−04	29
31	M	91	2458939,5	12	35	18,138	−1,083	−04	11

El día juliano da el número de días transcurridos desde el mediodía medio en Greenwich del 1 de enero del año 4713 antes de Cristo. Por ello, a las 0^{h} de TU aparece la fracción 0,5. El denominado "día juliano modificado' se obtiene restando 2 400 000,5 días al día juliano que figura en la tabla. Se inicia a medianoche, lo cual resulta más conveniente en ciertas aplicaciones. Se suele designar por DJM o, por sus siglas en inglés, MJD.

Abril 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	M	92	2458940,5	12	39	14,696	−1,079	−03	53
2	J	93	2458941,5	12	43	11,255	−1,075	−03	36
3	V	94	2458942,5	12	47	07,814	−1,073	−03	18
4	S	95	2458943,5	12	51	04,370	−1,072	−03	00
5	D	96	2458944,5	12	55	00,922	−1,075	−02	43
6	L	97	2458945,5	12	58	57,472	−1,081	−02	26
7	M	98	2458946,5	13	02	54,018	−1,089	−02	09
8	M	99	2458947,5	13	06	50,565	−1,098	−01	52
9	J	100	2458948,5	13	10	47,113	−1,105	−01	36
10	V	101	2458949,5	13	14	43,665	−1,109	−01	19
11	S	102	2458950,5	13	18	40,221	−1,108	−01	03
12	D	103	2458951,5	13	22	36,780	−1,105	−00	48
13	L	104	2458952,5	13	26	33,340	−1,100	−00	32
14	M	105	2458953,5	13	30	29,900	−1,095	−00	17
15	M	106	2458954,5	13	34	26,459	−1,092	−00	03
16	J	107	2458955,5	13	38	23,016	−1,090	+00	11
17	V	108	2458956,5	13	42	19,570	−1,092	+00	25
18	S	109	2458957,5	13	46	16,121	−1,095	+00	39
19	D	110	2458958,5	13	50	12,671	−1,101	+00	52
20	L	111	2458959,5	13	54	09,219	−1,109	+01	05
21	M	112	2458960,5	13	58	05,767	−1,116	+01	17
22	M	113	2458961,5	14	02	02,315	−1,124	+01	29
23	J	114	2458962,5	14	05	58,864	−1,130	+01	40
24	V	115	2458963,5	14	09	55,415	−1,134	+01	51
25	S	116	2458964,5	14	13	51,969	−1,136	+02	01
26	D	117	2458965,5	14	17	48,525	−1,135	+02	11
27	L	118	2458966,5	14	21	45,084	−1,132	+02	20
28	M	119	2458967,5	14	25	41,644	−1,127	+02	29
29	M	120	2458968,5	14	29	38,205	−1,121	+02	38
30	J	121	2458969,5	14	33	34,765	−1,117	+02	46

El tiempo solar verdadero se obtiene sumando la ecuación de tiempo al tiempo solar medio que, a su vez, se obtiene sumando el TU del instante considerado y la longitud (Este) del lugar.

$$\text{tiempo solar medio} = \text{TU} + \text{longitud}_{Este}$$
$$\text{tiempo solar verdadero} = \text{tiempo solar medio} + \text{ecuación de tiempo}$$

Mayo 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	V	122	2458970,5	14	37	31,323	−1,114	+02	53
2	S	123	2458971,5	14	41	27,878	−1,114	+03	00
3	D	124	2458972,5	14	45	24,431	−1,117	+03	06
4	L	125	2458973,5	14	49	20,981	−1,122	+03	12
5	M	126	2458974,5	14	53	17,529	−1,129	+03	17
6	M	127	2458975,5	14	57	14,079	−1,135	+03	22
7	J	128	2458976,5	15	01	10,631	−1,138	+03	26
8	V	129	2458977,5	15	05	07,187	−1,137	+03	30
9	S	130	2458978,5	15	09	03,747	−1,132	+03	33
10	D	131	2458979,5	15	13	00,310	−1,125	+03	35
11	L	132	2458980,5	15	16	56,873	−1,117	+03	37
12	M	133	2458981,5	15	20	53,435	−1,110	+03	39
13	M	134	2458982,5	15	24	49,996	−1,105	+03	39
14	J	135	2458983,5	15	28	46,553	−1,103	+03	39
15	V	136	2458984,5	15	32	43,108	−1,104	+03	39
16	S	137	2458985,5	15	36	39,661	−1,107	+03	38
17	D	138	2458986,5	15	40	36,211	−1,111	+03	36
18	L	139	2458987,5	15	44	32,761	−1,117	+03	34
19	M	140	2458988,5	15	48	29,311	−1,122	+03	31
20	M	141	2458989,5	15	52	25,863	−1,126	+03	28
21	J	142	2458990,5	15	56	22,416	−1,129	+03	24
22	V	143	2458991,5	16	00	18,971	−1,129	+03	20
23	S	144	2458992,5	16	04	15,529	−1,126	+03	15
24	D	145	2458993,5	16	08	12,089	−1,121	+03	09
25	L	146	2458994,5	16	12	08,652	−1,114	+03	03
26	M	147	2458995,5	16	16	05,215	−1,106	+02	57
27	M	148	2458996,5	16	20	01,777	−1,099	+02	50
28	J	149	2458997,5	16	23	58,338	−1,093	+02	43
29	V	150	2458998,5	16	27	54,897	−1,090	+02	35
30	S	151	2458999,5	16	31	51,452	−1,091	+02	27
31	D	152	2459000,5	16	35	48,004	−1,094	+02	18

El tiempo sidéreo verdadero (o aparente) se mide como el ángulo horario del punto de intersección del plano del ecuador verdadero con el de la eclíptica para el instante considerado. El tiempo sidéreo medio se obtiene restando la ecuación de los equinoccios al tiempo sidéreo verdadero.

tiempo sidéreo medio = tiempo sidéreo verdadero – Ec.Equin.

Junio 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	L	153	2459001,5	16	39	44,555	−1,098	+02	09
2	M	154	2459002,5	16	43	41,106	−1,102	+02	00
3	M	155	2459003,5	16	47	37,659	−1,105	+01	50
4	J	156	2459004,5	16	51	34,215	−1,104	+01	40
5	V	157	2459005,5	16	55	30,776	−1,099	+01	29
6	S	158	2459006,5	16	59	27,339	−1,091	+01	19
7	D	159	2459007,5	17	03	23,904	−1,081	+01	08
8	L	160	2459008,5	17	07	20,469	−1,071	+00	56
9	M	161	2459009,5	17	11	17,033	−1,063	+00	45
10	M	162	2459010,5	17	15	13,593	−1,058	+00	33
11	J	163	2459011,5	17	19	10,151	−1,056	+00	21
12	V	164	2459012,5	17	23	06,706	−1,057	+00	09
13	S	165	2459013,5	17	27	03,258	−1,059	−00	04
14	D	166	2459014,5	17	30	59,810	−1,063	−00	16
15	L	167	2459015,5	17	34	56,361	−1,067	−00	29
16	M	168	2459016,5	17	38	52,913	−1,070	−00	42
17	M	169	2459017,5	17	42	49,467	−1,072	−00	55
18	J	170	2459018,5	17	46	46,023	−1,072	−01	08
19	V	171	2459019,5	17	50	42,581	−1,069	−01	21
20	S	172	2459020,5	17	54	39,142	−1,063	−01	35
21	D	173	2459021,5	17	58	35,705	−1,055	−01	48
22	L	174	2459022,5	18	02	32,269	−1,047	−02	01
23	M	175	2459023,5	18	06	28,833	−1,038	−02	14
24	M	176	2459024,5	18	10	25,396	−1,031	−02	27
25	J	177	2459025,5	18	14	21,955	−1,026	−02	40
26	V	178	2459026,5	18	18	18,512	−1,025	−02	52
27	S	179	2459027,5	18	22	15,066	−1,027	−03	05
28	D	180	2459028,5	18	26	11,617	−1,031	−03	17
29	L	181	2459029,5	18	30	08,168	−1,035	−03	29
30	M	182	2459030,5	18	34	04,721	−1,038	−03	41

La ecuación de los equinoccios permite pasar del tiempo sidéreo verdadero (o aparente) medido astronómicamente a un tiempo sidéreo medio en que no se tiene en cuenta la nutación. A la ecuación de los equinoccios tradicionalmente se la denominó nutación en ascensión recta.

La ecuación de los equinoccios se puede calcular aproximadamente mediante:

$$Ec.Equin. = -1^{s},05 \operatorname{sen}(344^{\circ} - 0,^{\circ}052954\, DJ) - 0^{s},08 \operatorname{sen}(123^{\circ} + 1,^{\circ}9713\, DJ)$$

siendo *DJ* el día juliano considerado. (El error medio es $<0{,}02^{s}$ y el error máximo es de $0{,}05^{s}$.)

Julio 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	M	183	2459031,5	18	38	01,276	−1,038	−03	53
2	J	184	2459032,5	18	41	57,835	−1,034	−04	04
3	V	185	2459033,5	18	45	54,398	−1,027	−04	15
4	S	186	2459034,5	18	49	50,962	−1,018	−04	26
5	D	187	2459035,5	18	53	47,527	−1,009	−04	36
6	L	188	2459036,5	18	57	44,091	−1,000	−04	46
7	M	189	2459037,5	19	01	40,652	−0,994	−04	56
8	M	190	2459038,5	19	05	37,211	−0,991	−05	05
9	J	191	2459039,5	19	09	33,766	−0,991	−05	14
10	V	192	2459040,5	19	13	30,320	−0,993	−05	23
11	S	193	2459041,5	19	17	26,871	−0,997	−05	31
12	D	194	2459042,5	19	21	23,422	−1,001	−05	39
13	L	195	2459043,5	19	25	19,973	−1,006	−05	46
14	M	196	2459044,5	19	29	16,525	−1,009	−05	53
15	M	197	2459045,5	19	33	13,079	−1,010	−05	59
16	J	198	2459046,5	19	37	09,636	−1,009	−06	05
17	V	199	2459047,5	19	41	06,195	−1,005	−06	10
18	S	200	2459048,5	19	45	02,757	−0,999	−06	15
19	D	201	2459049,5	19	48	59,320	−0,991	−06	19
20	L	202	2459050,5	19	52	55,883	−0,983	−06	23
21	M	203	2459051,5	19	56	52,445	−0,976	−06	26
22	M	204	2459052,5	20	00	49,005	−0,972	−06	28
23	J	205	2459053,5	20	04	45,561	−0,971	−06	30
24	V	206	2459054,5	20	08	42,114	−0,973	−06	32
25	S	207	2459055,5	20	12	38,665	−0,978	−06	33
26	D	208	2459056,5	20	16	35,214	−0,984	−06	33
27	L	209	2459057,5	20	20	31,765	−0,989	−06	32
28	M	210	2459058,5	20	24	28,318	−0,991	−06	31
29	M	211	2459059,5	20	28	24,875	−0,990	−06	30
30	J	212	2459060,5	20	32	21,434	−0,986	−06	27
31	V	213	2459061,5	20	36	17,996	−0,979	−06	24

Día de tiempo solar medio: $1^{d} = 24^{h} = 1\,440^{m} = 86\,400^{s}$

Día de tiempo sidéreo medio: $1^{d}\ \mathrm{TSM} = 23^{h}56^{m}04^{s}{,}09053 = 86\,164^{s}{,}090\,53 = 0^{d}{,}997\,269\,566\,33$

$$\frac{1 \text{ día solar medio}}{1 \text{ día sidéreo medio}} = 1{,}002\,737\,909\,35$$

Periodo de rotación de la Tierra: $23^{h}56^{m}04^{s}{,}09890 = 86\,164^{s}{,}098\,90$

Agosto 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	S	214	2459062,5	20	40	14,559	−0,972	−06	21
2	D	215	2459063,5	20	44	11,121	−0,965	−06	17
3	L	216	2459064,5	20	48	07,681	−0,960	−06	12
4	M	217	2459065,5	20	52	04,239	−0,958	−06	06
5	M	218	2459066,5	20	56	00,793	−0,959	−06	00
6	J	219	2459067,5	20	59	57,345	−0,962	−05	54
7	V	220	2459068,5	21	03	53,895	−0,968	−05	47
8	S	221	2459069,5	21	07	50,444	−0,974	−05	39
9	D	222	2459070,5	21	11	46,993	−0,981	−05	31
10	L	223	2459071,5	21	15	43,542	−0,987	−05	22
11	M	224	2459072,5	21	19	40,094	−0,991	−05	12
12	M	225	2459073,5	21	23	36,647	−0,992	−05	02
13	J	226	2459074,5	21	27	33,203	−0,992	−04	52
14	V	227	2459075,5	21	31	29,762	−0,989	−04	41
15	S	228	2459076,5	21	35	26,322	−0,984	−04	29
16	D	229	2459077,5	21	39	22,883	−0,978	−04	17
17	L	230	2459078,5	21	43	19,444	−0,973	−04	04
18	M	231	2459079,5	21	47	16,002	−0,970	−03	51
19	M	232	2459080,5	21	51	12,558	−0,969	−03	38
20	J	233	2459081,5	21	55	09,110	−0,973	−03	23
21	V	234	2459082,5	21	59	05,659	−0,979	−03	09
22	S	235	2459083,5	22	03	02,206	−0,987	−02	54
23	D	236	2459084,5	22	06	58,754	−0,995	−02	38
24	L	237	2459085,5	22	10	55,304	−1,000	−02	22
25	M	238	2459086,5	22	14	51,858	−1,002	−02	06
26	M	239	2459087,5	22	18	48,414	−1,000	−01	49
27	J	240	2459088,5	22	22	44,974	−0,996	−01	32
28	V	241	2459089,5	22	26	41,534	−0,991	−01	14
29	S	242	2459090,5	22	30	38,094	−0,987	−00	56
30	D	243	2459091,5	22	34	34,653	−0,983	−00	38
31	L	244	2459092,5	22	38	31,209	−0,983	−00	19

Duración media de distintos tipos de años:

Año juliano:	$365^{\mathrm{d}},25000$
Año gregoriano:	$365^{\mathrm{d}},24250$
Año trópico:	$365^{\mathrm{d}},24219$
Año sidéreo:	$365^{\mathrm{d}},25636$
Año anomalístico:	$365^{\mathrm{d}},25964$
Año eclíptico:	$346^{\mathrm{d}},62005$

Setiembre 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	M	245	2459093,5	22	42	27,762	−0,985	−00	00
2	M	246	2459094,5	22	46	24,312	−0,990	+00	19
3	J	247	2459095,5	22	50	20,860	−0,997	+00	39
4	V	248	2459096,5	22	54	17,407	−1,006	+00	58
5	S	249	2459097,5	22	58	13,954	−1,015	+01	19
6	D	250	2459098,5	23	02	10,501	−1,023	+01	39
7	L	251	2459099,5	23	06	07,050	−1,029	+01	59
8	M	252	2459100,5	23	10	03,601	−1,034	+02	20
9	M	253	2459101,5	23	14	00,154	−1,036	+02	41
10	J	254	2459102,5	23	17	56,710	−1,035	+03	02
11	V	255	2459103,5	23	21	53,268	−1,033	+03	23
12	S	256	2459104,5	23	25	49,826	−1,030	+03	44
13	D	257	2459105,5	23	29	46,385	−1,026	+04	05
14	L	258	2459106,5	23	33	42,943	−1,024	+04	27
15	M	259	2459107,5	23	37	39,499	−1,024	+04	48
16	M	260	2459108,5	23	41	36,051	−1,027	+05	09
17	J	261	2459109,5	23	45	32,599	−1,034	+05	31
18	V	262	2459110,5	23	49	29,145	−1,043	+05	52
19	S	263	2459111,5	23	53	25,692	−1,052	+06	13
20	D	264	2459112,5	23	57	22,240	−1,059	+06	35
21	L	265	2459113,5	00	01	18,791	−1,063	+06	56
22	M	266	2459114,5	00	05	15,346	−1,063	+07	17
23	M	267	2459115,5	00	09	11,905	−1,061	+07	38
24	J	268	2459116,5	00	13	08,464	−1,056	+07	59
25	V	269	2459117,5	00	17	05,024	−1,052	+08	20
26	S	270	2459118,5	00	21	01,582	−1,049	+08	40
27	D	271	2459119,5	00	24	58,138	−1,048	+09	01
28	L	272	2459120,5	00	28	54,691	−1,051	+09	21
29	M	273	2459121,5	00	32	51,242	−1,056	+09	41
30	M	274	2459122,5	00	36	47,790	−1,063	+10	01

Año juliano:

$$1 \text{ año} = 365^{\text{d}}{,}25 = 8\,766^{\text{h}} = 525\,960^{\text{m}} = 31\,557\,600^{\text{s}}$$

El número de segundos que tiene un año juliano puede aproximarse de varias maneras:

$$1 \text{ año} \simeq 316^3 \text{ s} \simeq \sqrt{10^{15}} \text{ s} \simeq \pi\, 10^7 \text{ s}$$

Octubre 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	J	275	2459123,5	00	40	44,336	−1,072	+10	21
2	V	276	2459124,5	00	44	40,883	−1,081	+10	40
3	S	277	2459125,5	00	48	37,429	−1,089	+10	59
4	D	278	2459126,5	00	52	33,978	−1,097	+11	18
5	L	279	2459127,5	00	56	30,528	−1,102	+11	36
6	M	280	2459128,5	01	00	27,080	−1,105	+11	54
7	M	281	2459129,5	01	04	23,635	−1,105	+12	11
8	J	282	2459130,5	01	08	20,192	−1,103	+12	28
9	V	283	2459131,5	01	12	16,751	−1,100	+12	45
10	S	284	2459132,5	01	16	13,310	−1,096	+13	01
11	D	285	2459133,5	01	20	09,868	−1,093	+13	17
12	L	286	2459134,5	01	24	06,425	−1,092	+13	32
13	M	287	2459135,5	01	28	02,979	−1,094	+13	46
14	M	288	2459136,5	01	31	59,529	−1,099	+14	01
15	J	289	2459137,5	01	35	56,077	−1,106	+14	14
16	V	290	2459138,5	01	39	52,624	−1,115	+14	27
17	S	291	2459139,5	01	43	49,172	−1,122	+14	39
18	D	292	2459140,5	01	47	45,723	−1,127	+14	51
19	L	293	2459141,5	01	51	42,278	−1,127	+15	02
20	M	294	2459142,5	01	55	38,837	−1,123	+15	13
21	M	295	2459143,5	01	59	35,398	−1,117	+15	23
22	J	296	2459144,5	02	03	31,960	−1,111	+15	32
23	V	297	2459145,5	02	07	28,521	−1,105	+15	41
24	S	298	2459146,5	02	11	25,079	−1,102	+15	49
25	D	299	2459147,5	02	15	21,635	−1,102	+15	56
26	L	300	2459148,5	02	19	18,187	−1,105	+16	02
27	M	301	2459149,5	02	23	14,737	−1,110	+16	08
28	M	302	2459150,5	02	27	11,286	−1,117	+16	13
29	J	303	2459151,5	02	31	07,834	−1,124	+16	18
30	V	304	2459152,5	02	35	04,383	−1,131	+16	21
31	S	305	2459153,5	02	39	00,932	−1,137	+16	24

La ecuación de tiempo se define como la corrección al tiempo medio (obtenido a partir de relojes de precisión) para obtener el tiempo solar verdadero. Antiguamente se consideraba como la corrección a aplicar al tiempo verdadero (obtenido con medidas astronómicas) para obtener el tiempo medio. Este cambio de definición se traduce en un cambio de signo respecto de ediciones del ANUARIO anteriores a 1994.

Noviembre 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	D	306	2459154,5	02	42	57,484	−1,141	+16	26
2	L	307	2459155,5	02	46	54,038	−1,142	+16	27
3	M	308	2459156,5	02	50	50,594	−1,141	+16	28
4	M	309	2459157,5	02	54	47,153	−1,137	+16	27
5	J	310	2459158,5	02	58	43,714	−1,132	+16	26
6	V	311	2459159,5	03	02	40,275	−1,127	+16	24
7	S	312	2459160,5	03	06	36,835	−1,121	+16	21
8	D	313	2459161,5	03	10	33,395	−1,118	+16	17
9	L	314	2459162,5	03	14	29,951	−1,116	+16	12
10	M	315	2459163,5	03	18	26,505	−1,118	+16	07
11	M	316	2459164,5	03	22	23,057	−1,122	+16	00
12	J	317	2459165,5	03	26	19,606	−1,128	+15	53
13	V	318	2459166,5	03	30	16,156	−1,133	+15	45
14	S	319	2459167,5	03	34	12,707	−1,137	+15	36
15	D	320	2459168,5	03	38	09,263	−1,137	+15	26
16	L	321	2459169,5	03	42	05,823	−1,132	+15	15
17	M	322	2459170,5	03	46	02,387	−1,123	+15	04
18	M	323	2459171,5	03	49	58,952	−1,114	+14	51
19	J	324	2459172,5	03	53	55,517	−1,104	+14	38
20	V	325	2459173,5	03	57	52,079	−1,097	+14	24
21	S	326	2459174,5	04	01	48,639	−1,093	+14	09
22	D	327	2459175,5	04	05	45,195	−1,092	+13	54
23	L	328	2459176,5	04	09	41,749	−1,094	+13	38
24	M	329	2459177,5	04	13	38,301	−1,097	+13	20
25	M	330	2459178,5	04	17	34,851	−1,102	+13	03
26	J	331	2459179,5	04	21	31,402	−1,107	+12	44
27	V	332	2459180,5	04	25	27,954	−1,110	+12	25
28	S	333	2459181,5	04	29	24,508	−1,112	+12	05
29	D	334	2459182,5	04	33	21,064	−1,111	+11	44
30	L	335	2459183,5	04	37	17,622	−1,108	+11	23

El valor absoluto máximo de la ecuación de tiempo no supera los 16,5 minutos. Su variación máxima en un día no excede los 30 segundos. La ecuación de tiempo para este año se puede calcular aproximadamente mediante la fórmula:

$$595^{s}\,\mathrm{sen}\,(198^{\circ} + 1{,}^{\circ}9713\,d) + 442^{s}\,\mathrm{sen}\,(175^{\circ} + 0{,}^{\circ}9856\,d)$$

siendo d el día del año. El error cometido es menor de medio minuto.

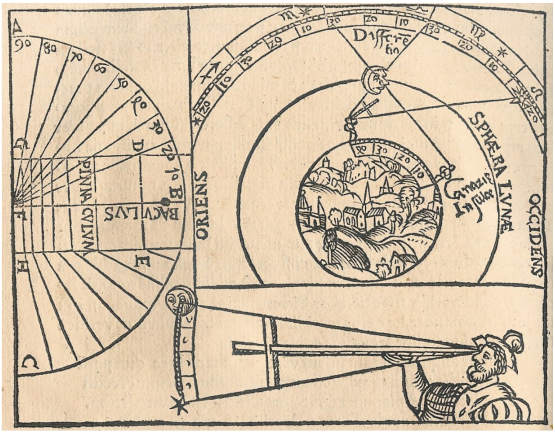
Diciembre 2020

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.−med.)	Ecuación de tiempo (v.−m.)	
				h	*m*	*s*	*s*	*m*	*s*
1	M	336	2459184,5	04	41	14,183	−1,102	+11	01
2	M	337	2459185,5	04	45	10,746	−1,095	+10	38
3	J	338	2459186,5	04	49	07,309	−1,087	+10	15
4	V	339	2459187,5	04	53	03,873	−1,079	+09	51
5	S	340	2459188,5	04	57	00,435	−1,072	+09	26
6	D	341	2459189,5	05	00	56,994	−1,068	+09	01
7	L	342	2459190,5	05	04	53,551	−1,067	+08	35
8	M	343	2459191,5	05	08	50,105	−1,068	+08	09
9	M	344	2459192,5	05	12	46,657	−1,071	+07	43
10	J	345	2459193,5	05	16	43,209	−1,075	+07	16
11	V	346	2459194,5	05	20	39,762	−1,078	+06	48
12	S	347	2459195,5	05	24	36,318	−1,077	+06	20
13	D	348	2459196,5	05	28	32,878	−1,072	+05	52
14	L	349	2459197,5	05	32	29,442	−1,064	+05	23
15	M	350	2459198,5	05	36	26,008	−1,053	+04	54
16	M	351	2459199,5	05	40	22,575	−1,041	+04	25
17	J	352	2459200,5	05	44	19,141	−1,030	+03	56
18	V	353	2459201,5	05	48	15,704	−1,023	+03	26
19	S	354	2459202,5	05	52	12,263	−1,019	+02	57
20	D	355	2459203,5	05	56	08,819	−1,018	+02	27
21	L	356	2459204,5	06	00	05,373	−1,020	+01	57
22	M	357	2459205,5	06	04	01,925	−1,023	+01	27
23	M	358	2459206,5	06	07	58,477	−1,027	+00	57
24	J	359	2459207,5	06	11	55,030	−1,029	+00	28
25	V	360	2459208,5	06	15	51,584	−1,031	−00	02
26	S	361	2459209,5	06	19	48,140	−1,030	−00	32
27	D	362	2459210,5	06	23	44,699	−1,026	−01	01
28	L	363	2459211,5	06	27	41,260	−1,021	−01	31
29	M	364	2459212,5	06	31	37,823	−1,013	−02	00
30	M	365	2459213,5	06	35	34,387	−1,004	−02	29
31	J	366	2459214,5	06	39	30,951	−0,996	−02	57

La ecuación de tiempo se anula en las siguientes cuatro fechas: 15 de abril, 12 de junio, 1 de setiembre y 24 de diciembre. En estas fechas, el tiempo solar medio y el verdadero prácticamente coinciden.

Su valor es mínimo el día 11 de febrero, con un mínimo secundario el 25 de julio. Su valor es máximo el día 2 de noviembre, con un máximo secundario el 13 de mayo.

EFEMERIDES ASTRONOMICAS



SOL

Datos solares
Efemérides diarias del Sol
Fórmulas para cálculos aproximados
Ortos y ocasos del Sol
Paso del Sol por el primer vertical
Crepúsculos
Duración del día (tiempo de insolación)
Paso del Sol por el meridiano
Rotaciones sinódicas del Sol
Manchas solares

Unidades prácticas

$\mathcal{R}_\odot$	= 695 660 km	= 6,957 10^{10} cm
$\mathcal{L}_\odot$	= 3,828 10^{26} W	= 3,828 10^{33} erg s^{-1}
$\mathcal{M}_\odot$	= 1,988547 10^{30} kg	= 1,989 10^{33} g
$G\mathcal{M}_\odot$	= 1,327 1244 10^{20} m^3 s^{-2}	= 39,476 93 UA^3 años^{-2}

Datos solares

Elementos medios de la órbita para 2020

Longitud media	$L_\odot =$	$279^\circ,142\,376 + 0^\circ,985\,647\,36\ d$
Anomalía media	$M_\odot =$	$355^\circ,860\,176 + 0^\circ,985\,600\,28\ d$
Longitud media del perigeo	$\varpi_\odot =$	$283^\circ,282\,200 + 0^\circ,000\,047\,08\ d$
Excentricidad promedio	$e_\odot =$	$0{,}016\,700\,49$
Oblicuidad media de la eclíptica	$\varepsilon =$	$23^\circ,436\,691 - 0^\circ,000\,000\,36\ d$

(En estas fórmulas d es el día del año, en la escala de TU.)

Longitud verdadera (error $< 30''$)

$$\begin{aligned}\odot &= L_\odot + 1^\circ,914\ \mathrm{sen}(M_\odot) + 0^\circ,020\ \mathrm{sen}(2\,M_\odot)\\ &= 279^\circ,144 + 0^\circ,98562\ d + 1^\circ,914\ \mathrm{sen}(0^\circ,9856\ d - 4^\circ,1)\\ &\quad + 0^\circ,020\ \mathrm{sen}(2^\circ d - 16^\circ)\end{aligned}$$

Duración de los años

año trópico:	$365^d,242\,188$	$365^d\ 05^h48^m45^s,08$	(equin.–equin.)
año sidéreo:	$365^d,256\,363$	$365^d\ 06^h09^m9^s,7$	(estrella–estrella)
año anomalístico:	$365^d,259\,636$	$365^d\ 06^h13^m52^s,6$	(nodo–nodo)

Distancia media

Semidiámetro a 1 ua	$15'59'',63$	$959'',63$
Distancia media	$1,000\,001\,018$ ua	$149\,598\,000$ km
Distancia media en tiempo luz	$\tau_A = 499^s,004\,784$	$\simeq 8^m19^s,0$
Paralaje horizontal ecuatorial a la distancia media		$8'',794\,148$

(La unidad astronómica de distancia es: 1 ua = 149 597 870,700 km.)

Datos físicos

			en unidades terrestres
Radio	$\mathcal{R}_\odot$	$= 695\,660$ km	$109\ \mathcal{R}_\oplus$
Superficie		$6,081\ \ 10^{12}$ km^2	11 900
Volumen		$1,4120\ \ 10^{18}$ km^3	1 300 000
Masa	$\mathcal{M}_\odot$	$= 1,988547\ \ 10^{30}$ kg	$333\,000\ \mathcal{M}_\oplus$
Densidad media		$1{,}410$ g cm^{-3}	0,256
Constante gravitatoria	$G\,\mathcal{M}_\odot$	$= 1,327\,1244\ \ 10^{20}$ m^{3}s^{-2}	332 946
Gravedad superficial		274 m s^{-2}	27,9
Velocidad de escape		$617{,}5$ km s^{-1}	55

Núcleo:

Densidad central	151 g cm^{-3}
Temperatura central	$15,6\ 10^6$ K
Presión central	$2,33\ 10^{11}$ atm
Fracción en masa del H	0,355

Generación de energía:

Por unidad de masa	1,9 erg g^{-1} s^{-1}
Consumo de masa	$4,3\ 10^{12}$ g s^{-1}
Potencia emitida	$\mathcal{L}_\odot = 3,846\ 10^{26}$ W = $3,846\ 10^{33}$erg s^{-1}
Emisividad superficial	$6,28\ 10^7$ W m^{-2}

Rotación

Velocidad angular (°/día)	$\omega = 14,713 - 2,396\ \text{sen}^2\phi_\odot - 1,787\ \text{sen}^4\phi_\odot$
Velocidad superficial en el ecuador solar ($\phi_\odot = 0°$)	2,1 km s^{-1}
Periodo de rotación sidéreo en el ecuador solar	$24^d\ 11^h14^m$
" " sidéreo (a $\phi_\odot = 26°$)	$25^d\ 09^h07^m$
" " sinódico (a $\phi_\odot = 26°$)	$27^d\ 06^h36^m$
Inclinación del ecuador sobre la eclíptica	$7°15'$
Longitud del nodo ascendente del ecuador solar	$76\overset{\circ}{,}0$
Orientación del Polo Norte solar	$\alpha_{PN} = 286\overset{\circ}{,}17$
	$\delta_{PN} = 63\overset{\circ}{,}90$

Luminosidad

Tipo estelar	G2 V	
Temperatura efectiva	$T_{eff} = 5\,772$ K	
Magnitudes absolutas	$M_{bol} = 4,74$	$M_U = 5,67$
	$M_V = 4,83$	$M_B = 5,48$

Temperatura equivalente de su emisión a longitudes de onda (λ) radio:

$T(\lambda < 2\text{ cm}) \simeq 10^4$ K

$T(\lambda > 2\text{ m}) \simeq 10^6$ K

Flujo fuera de la atmósfera terrestre:

Magnitudes aparentes	$m_{bol} = -26,832$	$m_U = -25,96$
	$V = m_V = -26,75$	$B = m_B = -26,09$
Constante solar	1 361 W m^{-2}	1,95 cal cm^{-2} min^{-1}

Fotosfera solar

presión del gas en superficie	0,868 mb
temperatura efectiva	5 780 K
grosor	$\sim$ 400 km
ciclo de manchas solares	11,04 años
composición	H (90,965%), He (8,889%)
	O, C, Ne, N ($< 10^{-4}$)

Campo magnético solar

campo general	$\sim$ 1 Gs
sombra de manchas solares	$\sim$ 3 000 Gs
penumbra de manchas solares	$\sim$ 1 500 Gs
protuberancias	2–100 Gs

Viento solar

pérdida de masa	$\sim 10^9$ kg s^{-1}
	$\sim 10^{-14}$ $\mathcal{M}_\odot$/año
velocidad del viento a 1 UA del Sol	$\sim$ 450 km s^{-1}
tiempo en alcanzar la Tierra	$\sim$ 5 días

Movimiento del Sol

Respecto de la velocidad media de sus estrellas vecinas, que constituye el denominado *Sistema de Referencia Local (LSR):*

Movimiento solar estándar:	$\alpha_{1900} = 271^\circ$	$\delta_{1900} = +30^\circ$
	V_{LSR} = 19,5 km s^{-1}= 0,01126 UA/día	
Según Mihalas y Binney:	$\alpha_{1900} = 267^\circ$	$\delta_{1900} = +28^\circ$
	V_{LSR} = 16,5 km s^{-1}= 0,00953 UA/día	
Convenio radioastronómico:	$\alpha_{1900} = 270^\circ$	$\delta_{1900} = +30^\circ$
	V_{LSR} = 20,0 km s^{-1}= 0,01155 UA/día	

Movimiento del LSR respecto de la Galaxia:

Distancia al centro galáctico	$\sim$8,5 kpc $\sim$ 28 000 años luz
Velocidad de traslación alrededor de la galaxia	220 km s^{-1}
Periodo de traslación	240 10^6 años

Abundancia de los elementos químicos en el sistema solar

La abundancia de los distintos elementos químicos en el Sistema Solar se basa principalmente en las abundancias medidas en la fotosfera del Sol y en los meteoritos. Se supone que tales abundancias también representan las *abundancias cósmicas*.

La abundancia de átomos de los elementos más comunes en el Sol se encuentra en la tabla siguiente, en la que se indica el número de átomos de cada especie por millón de átomos de hidrógeno (H). En ella constan los elementos cuya abundancia es superior a 1 en un millón.

Elemento	Número atómico	Abundancia ($H = 10^6$)
H	1	1 000 000
He	2	98 000
C	6	363
N	7	112
O	8	851
Ne	10	123
Na	11	2,1
Mg	12	38
Al	13	3,0
Si	14	35
S	16	16
Ar	18	3,6
Ca	20	2,2
Fe	26	33
Ni	28	1,8
el resto		$< 2{,}0$

Constantes para la época J2000.0

Convenio IAU 2006:

Precesión general en longitud, por siglo juliano	p	$= 5\,028{,}''796\,195$
Constante de nutación	N	$= 9{,}''205\,2331$
Constante de aberración	k	$= 20{,}''495\,51$
Oblicuidad de la eclíptica	$\varepsilon_\circ$	$= 23^\circ 26' 21{,}''406$
		$= 23{,}^\circ 439\,2794$
		$= 84\,382{,}''406$

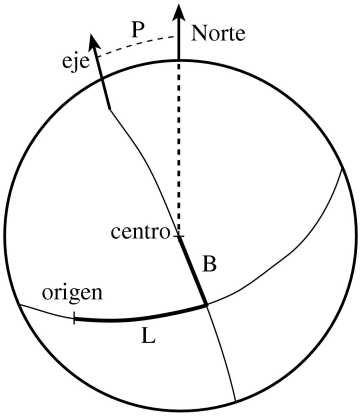
Efemérides del Sol para 2020

En las páginas siguientes se encuentran las efemérides del Sol para este año día a día. Los instantes de salida y puesta del Sol (**Orto** y **Ocaso**) han sido calculados para Madrid, corrigiendo por un valor medio de la refracción y prescindiendo del relieve en el horizonte. Se indica también, en la columna **Culminación**, el instante de paso del centro del disco solar por el meridiano de Madrid, lo que constituye el *mediodía verdadero*. Para conocer el tiempo *oficial* en que se da cada fenómeno, hay que sumar una o dos horas al valor obtenido de la tabla, dependiendo de la época del año. En páginas posteriores se explica cómo calcular el orto, el ocaso y la culminación del Sol en cualquier otro lugar de España (véanse los apartados *Ortos y ocasos del Sol* y *Paso del Sol por el meridiano*). Asímismo, un cálculo preciso para cualquier lugar de posición geográfica conocida se puede realizar consultando el apartado de **Efemérides** en la *web* del Real Instituto y Observatorio de la Armada: `http://www.roa.es`.

En las dos columnas centrales de las tablas se indica la posición aparente geocéntrica del Sol a las 0^h de TU, expresada en coordenadas ecuatoriales, **ascensión recta** y **declinación**. Para obtener las coordenadas en cualquier otro instante debe realizarse una interpolación de segundo grado partiendo de los valores de dichas columnas (véase el apartado *Interpolación* en la sección *TABLAS*).

En las últimas tres columnas figuran las efemérides necesarias para las observaciones físicas del Sol, o sea de aquellos fenómenos que tienen lugar en su superficie. Para indicar la posición en la superficie del Sol en que ha tenido lugar un fenómeno se utiliza un sistema de coordenadas heliográficas, cuya orientación viene dada en las tablas por los ángulos *P, B* y *L*. El ángulo *P* da la posición del extremo norte del eje de rotación del Sol, medido desde el norte positivamente hacia el este. *B* y *L* son la latitud y longitud heliográficas del centro del disco solar, es decir las coordenadas que sobre la superficie del Sol tiene el punto central del disco solar visto desde la Tierra. Las rotaciones del Sol se miden con respecto del origen de longitudes heliográficas ($L = 0$), según fue definido por R.C. Carrington en 1863.

En resumen, la salida, la culminación y la puesta del Sol vienen dadas en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid sin corrección por el relieve del horizonte. Las coordenadas ecuatoriales del Sol, Ascensión Recta ($\alpha_\odot$) y Declinación ($\delta_\odot$), y las coordenadas heliográficas *P, B* y *L* vienen dadas para las 0^h de TU.



Cálculos aproximados

Se llama culminación del Sol al paso del centro del Sol por el meridiano del lugar. El instante de la culminación del Sol en cualquier lugar de España se puede obtener de la siguiente manera aproximada:

(1) a la ascensión recta del día considerado se le resta el tiempo sidéreo en Greenwich a 0^{h} de TU de este día (tabla en *TIEMPOS*);

(2) se le resta la longitud Este del lugar (por ejemplo, en el caso de Madrid se suman 15^{m} (al ser la longitud de Madrid de -15^{m}); y

(3) si tenemos un tiempo negativo, se suman 24^{h}.

El ángulo de posición P del eje de rotación del Sol, así como la latitud B y longitud L heliográficas del centro del disco solar pueden ser calculados de manera aproximada mediante simples fórmulas:

$$P \simeq -23{,}^{\circ}5 \cos \odot - 7{,}^{\circ}2 \cos(\odot - 76^{\circ})$$
$$B \simeq 7{,}^{\circ}2 \operatorname{sen}(\odot - 76^{\circ})$$
$$L \simeq \odot + 81^{\circ} + 14{,}^{\circ}1844\,(2451545 - DJ)$$

siendo $\odot$ la longitud eclíptica del Sol y DJ el día juliano.

La latitud heliográfica B toma sus valores mínimo y máximo ($\pm 7{,}^{\circ}25$) cerca del 6 de marzo y de 8-9 de setiembre respectivamente, anulándose cerca del 6 de junio y el 7-8 de diciembre. El ángulo de posición P del eje del Sol respecto del Norte toma sus valores mínimo y máximo ($\pm 26{,}^{\circ}3$) cerca del 7 de abril y de 10-11 de octubre respectivamente, anulándose cerca del 5 de enero y el 6-7 de julio.

SOL Enero 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 M	7 38	12 18 05	16 59	18 43 33,3	−23 03 32	02,2	−2,9	70,9
2 J	7 38	12 18 33	16 59	18 47 58,3	−22 58 42	01,8	−3,1	57,7
3 V	7 38	12 19 01	17 00	18 52 23,0	−22 53 25	01,3	−3,2	44,6
4 S	7 38	12 19 28	17 01	18 56 47,3	−22 47 41	00,9	−3,2	31,3
5 D	7 38	12 19 56	17 02	19 01 11,2	−22 41 29	00,4	−3,4	18,2
6 L	7 38	12 20 22	17 03	19 05 34,6	−22 34 51	−00,1	−3,5	5,0
7 M	7 38	12 20 48	17 04	19 09 57,6	−22 27 46	−00,6	−3,6	351,8
8 M	7 38	12 21 14	17 05	19 14 20,1	−22 20 14	−01,1	−3,7	338,7
9 J	7 38	12 21 39	17 06	19 18 42,1	−22 12 15	−01,6	−3,9	325,5
10 V	7 38	12 22 04	17 07	19 23 03,6	−22 03 51	−02,0	−4,0	312,3
11 S	7 37	12 22 28	17 08	19 27 24,5	−21 55 01	−02,5	−4,0	299,2
12 D	7 37	12 22 52	17 09	19 31 44,9	−21 45 45	−03,0	−4,2	286,0
13 L	7 37	12 23 14	17 10	19 36 04,7	−21 36 04	−03,5	−4,3	272,8
14 M	7 36	12 23 37	17 11	19 40 23,8	−21 25 58	−03,9	−4,4	259,7
15 M	7 36	12 23 58	17 12	19 44 42,4	−21 15 27	−04,4	−4,5	246,5
16 J	7 36	12 24 19	17 13	19 49 00,3	−21 04 31	−04,9	−4,5	233,4
17 V	7 35	12 24 40	17 14	19 53 17,5	−20 53 11	−05,3	−4,7	220,1
18 S	7 35	12 24 59	17 16	19 57 34,1	−20 41 28	−05,8	−4,8	207,0
19 D	7 34	12 25 18	17 17	20 01 50,0	−20 29 20	−06,3	−4,9	193,9
20 L	7 34	12 25 37	17 18	20 06 05,2	−20 16 50	−06,7	−5,0	180,6
21 M	7 33	12 25 54	17 19	20 10 19,7	−20 03 56	−07,2	−5,0	167,5
22 M	7 33	12 26 11	17 20	20 14 33,4	−19 50 40	−07,5	−5,2	154,4
23 J	7 32	12 26 27	17 21	20 18 46,4	−19 37 01	−08,1	−5,2	141,1
24 V	7 31	12 26 42	17 23	20 22 58,6	−19 23 01	−08,5	−5,3	128,0
25 S	7 31	12 26 57	17 24	20 27 10,1	−19 08 39	−09,0	−5,4	114,9
26 D	7 30	12 27 11	17 25	20 31 20,7	−18 53 57	−09,4	−5,5	101,7
27 L	7 29	12 27 23	17 26	20 35 30,6	−18 38 53	−09,8	−5,5	88,5
28 M	7 28	12 27 36	17 27	20 39 39,6	−18 23 29	−10,3	−5,7	75,4
29 M	7 27	12 27 47	17 29	20 43 47,8	−18 07 45	−10,6	−5,8	62,2
30 J	7 27	12 27 57	17 30	20 47 55,2	−17 51 42	−11,1	−5,8	49,0
31 V	7 26	12 28 07	17 31	20 52 01,8	−17 35 19	−11,5	−5,9	35,9

SOL Febrero 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 S	7 25	12 28 15	17 32	20 56 07,5	−17 18 38	−11,9	−6,0	22,7
2 D	7 24	12 28 23	17 33	21 00 12,4	−17 01 38	−12,3	−6,0	9,5
3 L	7 23	12 28 30	17 35	21 04 16,5	−16 44 21	−12,6	−6,0	356,3
4 M	7 22	12 28 37	17 36	21 08 19,7	−16 26 45	−13,1	−6,2	343,2
5 M	7 21	12 28 42	17 37	21 12 22,1	−16 08 53	−13,5	−6,3	330,0
6 J	7 20	12 28 47	17 38	21 16 23,7	−15 50 44	−13,9	−6,3	316,8
7 V	7 19	12 28 50	17 40	21 20 24,4	−15 32 19	−14,3	−6,4	303,7
8 S	7 17	12 28 53	17 41	21 24 24,4	−15 13 38	−14,6	−6,4	290,5
9 D	7 16	12 28 56	17 42	21 28 23,5	−14 54 42	−15,1	−6,5	277,3
10 L	7 15	12 28 57	17 43	21 32 21,9	−14 35 31	−15,4	−6,5	264,2
11 M	7 14	12 28 58	17 44	21 36 19,4	−14 16 05	−15,8	−6,5	251,0
12 M	7 13	12 28 57	17 46	21 40 16,2	−13 56 25	−16,2	−6,7	237,9
13 J	7 12	12 28 57	17 47	21 44 12,3	−13 36 30	−16,5	−6,7	224,6
14 V	7 10	12 28 55	17 48	21 48 07,6	−13 16 23	−16,8	−6,8	211,5
15 S	7 09	12 28 53	17 49	21 52 02,2	−12 56 02	−17,2	−6,8	198,4
16 D	7 08	12 28 50	17 50	21 55 56,1	−12 35 29	−17,5	−6,8	185,1
17 L	7 06	12 28 46	17 52	21 59 49,3	−12 14 43	−17,8	−6,9	172,0
18 M	7 05	12 28 42	17 53	22 03 41,8	−11 53 46	−18,2	−6,9	158,9
19 M	7 04	12 28 36	17 54	22 07 33,6	−11 32 37	−18,5	−7,0	145,6
20 J	7 02	12 28 31	17 55	22 11 24,8	−11 11 17	−18,8	−7,0	132,5
21 V	7 01	12 28 24	17 56	22 15 15,3	−10 49 47	−19,1	−7,0	119,3
22 S	7 00	12 28 17	17 58	22 19 05,1	−10 28 07	−19,3	−7,0	106,2
23 D	6 58	12 28 10	17 59	22 22 54,3	−10 06 16	−19,7	−7,0	93,0
24 L	6 57	12 28 01	18 00	22 26 42,9	−09 44 17	−20,0	−7,0	79,8
25 M	6 55	12 27 52	18 01	22 30 30,9	−09 22 08	−20,3	−7,0	66,7
26 M	6 54	12 27 43	18 02	22 34 18,3	−08 59 52	−20,6	−7,2	53,5
27 J	6 52	12 27 33	18 03	22 38 05,1	−08 37 27	−20,8	−7,2	40,2
28 V	6 51	12 27 22	18 04	22 41 51,3	−08 14 54	−21,1	−7,2	27,2
29 S	6 49	12 27 11	18 06	22 45 37,0	−07 52 14	−21,3	−7,2	14,0

SOL Marzo 2020

Día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culmin. *h m s*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinac. ° ′ ″	a 0^h de TU P °	B °	L °
1 D	6 48	12 27 00	18 07	22 49 22,2	−07 29 28	−21,6	−7,2	0,8
2 L	6 46	12 26 47	18 08	22 53 06,8	−07 06 35	−21,8	−7,2	347,6
3 M	6 45	12 26 35	18 09	22 56 50,9	−06 43 36	−22,1	−7,2	334,5
4 M	6 43	12 26 22	18 10	23 00 34,6	−06 20 31	−22,3	−7,2	321,3
5 J	6 42	12 26 08	18 11	23 04 17,8	−05 57 22	−22,6	−7,3	308,1
6 V	6 40	12 25 54	18 12	23 08 00,5	−05 34 07	−22,8	−7,3	294,8
7 S	6 39	12 25 39	18 13	23 11 42,8	−05 10 48	−23,0	−7,3	281,8
8 D	6 37	12 25 25	18 14	23 15 24,7	−04 47 25	−23,2	−7,3	268,6
9 L	6 35	12 25 09	18 15	23 19 06,3	−04 23 59	−23,3	−7,2	255,4
10 M	6 34	12 24 54	18 17	23 22 47,4	−04 00 29	−23,6	−7,2	242,1
11 M	6 32	12 24 38	18 18	23 26 28,3	−03 36 56	−23,8	−7,2	229,1
12 J	6 31	12 24 22	18 19	23 30 08,8	−03 13 21	−24,0	−7,2	215,9
13 V	6 29	12 24 05	18 20	23 33 49,1	−02 49 43	−24,1	−7,2	202,6
14 S	6 27	12 23 49	18 21	23 37 29,1	−02 26 04	−24,3	−7,2	189,5
15 D	6 26	12 23 32	18 22	23 41 08,9	−02 02 23	−24,5	−7,2	176,3
16 L	6 24	12 23 15	18 23	23 44 48,5	−01 38 41	−24,6	−7,0	163,1
17 M	6 23	12 22 58	18 24	23 48 27,9	−01 14 58	−24,8	−7,0	150,0
18 M	6 21	12 22 40	18 25	23 52 07,1	−00 51 14	−24,8	−7,0	136,8
19 J	6 19	12 22 23	18 26	23 55 46,2	−00 27 30	−25,1	−7,0	123,5
20 V	6 18	12 22 05	18 27	23 59 25,1	−00 03 47	−25,2	−7,0	110,4
21 S	6 16	12 21 47	18 28	00 03 03,9	+00 19 56	−25,3	−7,0	97,2
22 D	6 14	12 21 29	18 29	00 06 42,6	+00 43 38	−25,3	−7,0	84,0
23 L	6 13	12 21 11	18 30	00 10 21,3	+01 07 18	−25,5	−6,9	70,9
24 M	6 11	12 20 53	18 31	00 13 59,9	+01 30 56	−25,6	−6,9	57,7
25 M	6 09	12 20 35	18 32	00 17 38,4	+01 54 33	−25,7	−6,9	44,5
26 J	6 08	12 20 17	18 33	00 21 16,9	+02 18 06	−25,8	−6,8	31,3
27 V	6 06	12 19 59	18 35	00 24 55,4	+02 41 37	−25,8	−6,8	18,1
28 S	6 05	12 19 41	18 36	00 28 33,9	+03 05 05	−25,8	−6,7	4,9
29 D	6 03	12 19 23	18 37	00 32 12,4	+03 28 29	−26,0	−6,7	351,8
30 L	6 01	12 19 05	18 38	00 35 51,0	+03 51 49	−26,1	−6,5	338,6
31 M	6 00	12 18 47	18 39	00 39 29,6	+04 15 04	−26,1	−6,5	325,3

Inicio de la primavera el día 20 a las 3^{h}50^m de TU.

SOL Abril 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 M	5 58	12 18 30	18 40	00 43 08,3	+04 38 15	−26,2	−6,5	312,2
2 J	5 56	12 18 12	18 41	00 46 47,1	+05 01 21	−26,2	−6,5	299,0
3 V	5 55	12 17 54	18 42	00 50 26,1	+05 24 21	−26,2	−6,4	285,8
4 S	5 53	12 17 37	18 43	00 54 05,1	+05 47 16	−26,2	−6,4	272,6
5 D	5 52	12 17 20	18 44	00 57 44,3	+06 10 04	−26,3	−6,3	259,3
6 L	5 50	12 17 03	18 45	01 01 23,7	+06 32 46	−26,3	−6,2	246,1
7 M	5 48	12 16 46	18 46	01 05 03,3	+06 55 20	−26,3	−6,2	233,0
8 M	5 47	12 16 29	18 47	01 08 43,0	+07 17 48	−26,3	−6,0	219,8
9 J	5 45	12 16 13	18 48	01 12 23,1	+07 40 08	−26,2	−6,0	206,6
10 V	5 44	12 15 57	18 49	01 16 03,4	+08 02 21	−26,2	−6,0	193,4
11 S	5 42	12 15 41	18 50	01 19 43,9	+08 24 25	−26,2	−5,9	180,1
12 D	5 41	12 15 25	18 51	01 23 24,8	+08 46 21	−26,2	−5,8	167,0
13 L	5 39	12 15 10	18 52	01 27 06,0	+09 08 09	−26,1	−5,8	153,8
14 M	5 37	12 14 55	18 53	01 30 47,6	+09 29 47	−26,1	−5,7	140,6
15 M	5 36	12 14 41	18 54	01 34 29,5	+09 51 16	−26,0	−5,5	127,4
16 J	5 34	12 14 27	18 55	01 38 11,8	+10 12 36	−25,8	−5,5	114,2
17 V	5 33	12 14 13	18 56	01 41 54,5	+10 33 45	−25,8	−5,4	101,0
18 S	5 31	12 14 00	18 57	01 45 37,6	+10 54 44	−25,8	−5,4	87,8
19 D	5 30	12 13 47	18 58	01 49 21,0	+11 15 32	−25,7	−5,3	74,5
20 L	5 29	12 13 34	18 59	01 53 04,9	+11 36 10	−25,6	−5,2	61,4
21 M	5 27	12 13 22	19 00	01 56 49,3	+11 56 35	−25,5	−5,0	48,2
22 M	5 26	12 13 11	19 01	02 00 34,1	+12 16 49	−25,3	−5,0	35,0
23 J	5 24	12 13 00	19 02	02 04 19,3	+12 36 51	−25,3	−4,9	21,7
24 V	5 23	12 12 49	19 03	02 08 05,0	+12 56 41	−25,1	−4,8	8,5
25 S	5 21	12 12 39	19 04	02 11 51,2	+13 16 18	−25,0	−4,7	355,3
26 D	5 20	12 12 30	19 06	02 15 37,8	+13 35 41	−24,8	−4,5	342,1
27 L	5 19	12 12 20	19 07	02 19 25,0	+13 54 52	−24,7	−4,5	328,8
28 M	5 17	12 12 12	19 08	02 23 12,6	+14 13 48	−24,6	−4,4	315,7
29 M	5 16	12 12 04	19 09	02 27 00,8	+14 32 30	−24,3	−4,3	302,5
30 J	5 15	12 11 56	19 10	02 30 49,4	+14 50 58	−24,2	−4,3	289,3

SOL Mayo 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 V	5 14	12 11 49	19 11	02 34 38,6	+15 09 11	−24,0	−4,2	276,0
2 S	5 12	12 11 42	19 12	02 38 28,3	+15 27 09	−23,8	−4,0	262,8
3 D	5 11	12 11 36	19 13	02 42 18,5	+15 44 51	−23,7	−3,9	249,6
4 L	5 10	12 11 30	19 14	02 46 09,2	+16 02 17	−23,5	−3,7	236,4
5 M	5 09	12 11 25	19 15	02 50 00,5	+16 19 28	−23,3	−3,7	223,1
6 M	5 08	12 11 21	19 16	02 53 52,3	+16 36 22	−23,1	−3,6	209,9
7 J	5 06	12 11 17	19 17	02 57 44,7	+16 52 59	−22,8	−3,5	196,6
8 V	5 05	12 11 14	19 18	03 01 37,6	+17 09 20	−22,6	−3,4	183,5
9 S	5 04	12 11 11	19 19	03 05 31,1	+17 25 23	−22,3	−3,2	170,3
10 D	5 03	12 11 09	19 20	03 09 25,2	+17 41 09	−22,1	−3,2	157,1
11 L	5 02	12 11 07	19 21	03 13 19,9	+17 56 37	−21,8	−3,1	143,8
12 M	5 01	12 11 06	19 22	03 17 15,2	+18 11 47	−21,6	−3,0	130,6
13 M	5 00	12 11 06	19 23	03 21 11,0	+18 26 39	−21,3	−2,9	117,4
14 J	4 59	12 11 06	19 24	03 25 07,5	+18 41 12	−21,1	−2,7	104,2
15 V	4 58	12 11 07	19 25	03 29 04,5	+18 55 27	−20,8	−2,6	90,9
16 S	4 57	12 11 08	19 26	03 33 02,1	+19 09 22	−20,6	−2,5	77,7
17 D	4 56	12 11 10	19 27	03 37 00,3	+19 22 58	−20,3	−2,4	64,5
18 L	4 56	12 11 13	19 27	03 40 59,0	+19 36 14	−20,0	−2,2	51,2
19 M	4 55	12 11 16	19 28	03 44 58,4	+19 49 11	−19,7	−2,2	38,0
20 M	4 54	12 11 19	19 29	03 48 58,2	+20 01 47	−19,3	−2,1	24,8
21 J	4 53	12 11 23	19 30	03 52 58,7	+20 14 02	−19,1	−2,0	11,6
22 V	4 52	12 11 28	19 31	03 56 59,6	+20 25 57	−18,8	−1,8	358,3
23 S	4 52	12 11 33	19 32	04 01 01,1	+20 37 31	−18,3	−1,7	345,1
24 D	4 51	12 11 39	19 33	04 05 03,1	+20 48 43	−18,1	−1,6	331,8
25 L	4 50	12 11 45	19 34	04 09 05,7	+20 59 35	−17,8	−1,5	318,7
26 M	4 50	12 11 52	19 34	04 13 08,7	+21 10 04	−17,3	−1,3	305,3
27 M	4 49	12 11 59	19 35	04 17 12,1	+21 20 11	−17,1	−1,2	292,2
28 J	4 49	12 12 07	19 36	04 21 16,0	+21 29 56	−16,7	−1,1	279,0
29 V	4 48	12 12 15	19 37	04 25 20,4	+21 39 19	−16,3	−1,0	265,7
30 S	4 48	12 12 23	19 38	04 29 25,1	+21 48 19	−16,0	−0,9	252,5
31 D	4 47	12 12 32	19 38	04 33 30,3	+21 56 57	−15,6	−0,8	239,3

SOL Junio 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 L	4 47	12 12 41	19 39	04 37 35,8	+22 05 11	−15,3	−0,6	226,0
2 M	4 46	12 12 51	19 40	04 41 41,7	+22 13 02	−14,9	−0,5	212,8
3 M	4 46	12 13 00	19 40	04 45 48,0	+22 20 30	−14,5	−0,4	199,6
4 J	4 46	12 13 11	19 41	04 49 54,6	+22 27 34	−14,1	−0,3	186,3
5 V	4 45	12 13 21	19 42	04 54 01,6	+22 34 15	−13,6	−0,2	173,1
6 S	4 45	12 13 32	19 42	04 58 08,9	+22 40 32	−13,3	+0,0	159,9
7 D	4 45	12 13 43	19 43	05 02 16,4	+22 46 25	−12,9	+0,1	146,6
8 L	4 45	12 13 55	19 44	05 06 24,3	+22 51 54	−12,5	+0,2	133,4
9 M	4 44	12 14 06	19 44	05 10 32,4	+22 56 59	−12,1	+0,3	120,2
10 M	4 44	12 14 18	19 45	05 14 40,8	+23 01 40	−11,6	+0,5	106,9
11 J	4 44	12 14 31	19 45	05 18 49,4	+23 05 56	−11,3	+0,6	93,7
12 V	4 44	12 14 43	19 46	05 22 58,3	+23 09 49	−10,9	+0,6	80,4
13 S	4 44	12 14 56	19 46	05 27 07,3	+23 13 17	−10,5	+0,8	67,2
14 D	4 44	12 15 08	19 46	05 31 16,5	+23 16 20	−10,0	+0,9	54,0
15 L	4 44	12 15 21	19 47	05 35 25,8	+23 18 59	−09,6	+1,1	40,7
16 M	4 44	12 15 34	19 47	05 39 35,3	+23 21 13	−09,1	+1,2	27,5
17 M	4 44	12 15 47	19 47	05 43 44,9	+23 23 02	−08,8	+1,3	14,3
18 J	4 44	12 16 00	19 48	05 47 54,5	+23 24 26	−08,3	+1,3	1,0
19 V	4 44	12 16 13	19 48	05 52 04,2	+23 25 26	−07,9	+1,5	347,8
20 S	4 45	12 16 27	19 48	05 56 13,9	+23 26 01	−07,4	+1,6	334,6
21 D	4 45	12 16 40	19 49	06 00 23,7	+23 26 11	−07,0	+1,8	321,3
22 L	4 45	12 16 53	19 49	06 04 33,3	+23 25 57	−06,5	+1,8	308,1
23 M	4 45	12 17 06	19 49	06 08 43,0	+23 25 17	−06,0	+2,0	294,8
24 M	4 46	12 17 19	19 49	06 12 52,5	+23 24 13	−05,7	+2,1	281,6
25 J	4 46	12 17 32	19 49	06 17 01,9	+23 22 44	−05,2	+2,2	268,3
26 V	4 46	12 17 44	19 49	06 21 11,2	+23 20 51	−04,8	+2,2	255,1
27 S	4 47	12 17 57	19 49	06 25 20,3	+23 18 32	−04,3	+2,5	241,9
28 D	4 47	12 18 09	19 49	06 29 29,2	+23 15 49	−03,9	+2,6	228,6
29 L	4 48	12 18 21	19 49	06 33 37,8	+23 12 42	−03,4	+2,7	215,4
30 M	4 48	12 18 33	19 49	06 37 46,3	+23 09 10	−03,0	+2,7	202,1

Inicio del verano el día 20 a las 21^h44^m de TU.

SOL Julio 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 M	4 48	12 18 44	19 49	06 41 54,5	+23 05 14	−02,5	+2,9	188,9
2 J	4 49	12 18 55	19 49	06 46 02,3	+23 00 53	−02,0	+3,0	175,6
3 V	4 50	12 19 06	19 48	06 50 09,9	+22 56 09	−01,6	+3,1	162,5
4 S	4 50	12 19 17	19 48	06 54 17,2	+22 51 01	−01,1	+3,2	149,1
5 D	4 51	12 19 27	19 48	06 58 24,2	+22 45 28	−00,6	+3,2	136,0
6 L	4 51	12 19 37	19 48	07 02 30,8	+22 39 32	−00,2	+3,4	122,8
7 M	4 52	12 19 46	19 47	07 06 37,0	+22 33 13	00,2	+3,5	109,5
8 M	4 53	12 19 55	19 47	07 10 42,9	+22 26 30	00,6	+3,7	96,3
9 J	4 53	12 20 04	19 47	07 14 48,4	+22 19 24	01,1	+3,7	83,0
10 V	4 54	12 20 12	19 46	07 18 53,5	+22 11 55	01,6	+3,9	69,8
11 S	4 55	12 20 20	19 46	07 22 58,1	+22 04 03	02,0	+4,0	56,6
12 D	4 55	12 20 28	19 45	07 27 02,3	+21 55 48	02,5	+4,0	43,4
13 L	4 56	12 20 35	19 45	07 31 06,1	+21 47 11	02,9	+4,2	30,1
14 M	4 57	12 20 41	19 44	07 35 09,4	+21 38 11	03,4	+4,3	16,8
15 M	4 58	12 20 47	19 44	07 39 12,3	+21 28 49	03,7	+4,4	3,7
16 J	4 58	12 20 53	19 43	07 43 14,6	+21 19 05	04,2	+4,5	350,3
17 V	4 59	12 20 58	19 42	07 47 16,5	+21 08 60	04,7	+4,5	337,2
18 S	5 00	12 21 02	19 42	07 51 17,8	+20 58 33	05,0	+4,5	324,0
19 D	5 01	12 21 06	19 41	07 55 18,6	+20 47 44	05,5	+4,7	310,7
20 L	5 02	12 21 10	19 40	07 59 18,9	+20 36 35	06,0	+4,8	297,5
21 M	5 03	12 21 13	19 39	08 03 18,6	+20 25 05	06,4	+4,9	284,3
22 M	5 03	12 21 15	19 39	08 07 17,7	+20 13 14	06,9	+5,0	271,0
23 J	5 04	12 21 17	19 38	08 11 16,3	+20 01 03	07,3	+5,0	257,8
24 V	5 05	12 21 18	19 37	08 15 14,2	+19 48 32	07,7	+5,2	244,6
25 S	5 06	12 21 18	19 36	08 19 11,5	+19 35 41	08,1	+5,3	231,4
26 D	5 07	12 21 18	19 35	08 23 08,3	+19 22 30	08,5	+5,3	218,1
27 L	5 08	12 21 17	19 34	08 27 04,4	+19 09 01	09,0	+5,4	204,9
28 M	5 09	12 21 16	19 33	08 30 59,9	+18 55 12	09,4	+5,5	191,6
29 M	5 10	12 21 14	19 32	08 34 54,7	+18 41 05	09,8	+5,5	178,4
30 J	5 11	12 21 11	19 31	08 38 49,0	+18 26 40	10,1	+5,7	165,1
31 V	5 12	12 21 08	19 30	08 42 42,6	+18 11 56	10,6	+5,7	152,0

SOL Agosto 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 S	5 12	12 21 04	19 29	08 46 35,6	+17 56 55	11,0	+5,8	138,8
2 D	5 13	12 20 59	19 28	08 50 28,0	+17 41 36	11,4	+5,9	125,5
3 L	5 14	12 20 54	19 27	08 54 19,7	+17 25 60	11,8	+5,9	112,3
4 M	5 15	12 20 49	19 26	08 58 10,9	+17 10 07	12,1	+6,0	99,0
5 M	5 16	12 20 42	19 25	09 02 01,4	+16 53 57	12,5	+6,0	85,9
6 J	5 17	12 20 35	19 23	09 05 51,4	+16 37 31	12,9	+6,0	72,5
7 V	5 18	12 20 28	19 22	09 09 40,7	+16 20 50	13,3	+6,2	59,4
8 S	5 19	12 20 20	19 21	09 13 29,5	+16 03 52	13,6	+6,3	46,2
9 D	5 20	12 20 11	19 20	09 17 17,7	+15 46 38	14,0	+6,3	33,0
10 L	5 21	12 20 02	19 18	09 21 05,4	+15 29 10	14,4	+6,4	19,7
11 M	5 22	12 19 52	19 17	09 24 52,5	+15 11 27	14,6	+6,4	6,5
12 M	5 23	12 19 42	19 16	09 28 39,1	+14 53 29	15,1	+6,5	353,3
13 J	5 24	12 19 31	19 14	09 32 25,1	+14 35 16	15,4	+6,5	340,1
14 V	5 25	12 19 20	19 13	09 36 10,6	+14 16 50	15,8	+6,5	326,8
15 S	5 26	12 19 08	19 12	09 39 55,5	+13 58 10	16,1	+6,7	313,7
16 D	5 27	12 18 56	19 10	09 43 40,0	+13 39 16	16,5	+6,7	300,3
17 L	5 28	12 18 43	19 09	09 47 23,9	+13 20 10	16,8	+6,7	287,2
18 M	5 29	12 18 30	19 07	09 51 07,4	+13 00 51	17,1	+6,8	274,0
19 M	5 30	12 18 16	19 06	09 54 50,3	+12 41 19	17,3	+6,8	260,8
20 J	5 31	12 18 01	19 05	09 58 32,8	+12 21 35	17,8	+6,9	247,6
21 V	5 32	12 17 47	19 03	10 02 14,8	+12 01 40	18,1	+6,9	234,4
22 S	5 33	12 17 31	19 02	10 05 56,3	+11 41 33	18,3	+6,9	221,1
23 D	5 34	12 17 15	19 00	10 09 37,3	+11 21 15	18,7	+7,0	207,9
24 L	5 35	12 16 59	18 59	10 13 17,9	+11 00 47	19,0	+7,0	194,6
25 M	5 36	12 16 43	18 57	10 16 58,1	+10 40 08	19,3	+7,0	181,5
26 M	5 37	12 16 26	18 56	10 20 37,8	+10 19 19	19,5	+7,0	168,3
27 J	5 38	12 16 08	18 54	10 24 17,1	+09 58 20	19,8	+7,0	155,1
28 V	5 39	12 15 50	18 52	10 27 56,1	+09 37 12	20,1	+7,0	141,9
29 S	5 40	12 15 32	18 51	10 31 34,6	+09 15 55	20,3	+7,0	128,6
30 D	5 40	12 15 14	18 49	10 35 12,9	+08 54 29	20,6	+7,2	115,4
31 L	5 41	12 14 55	18 48	10 38 50,7	+08 32 54	20,8	+7,2	102,2

SOL Setiembre 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 M	5 42	12 14 36	18 46	10 42 28,3	+08 11 12	21,2	+7,2	89,0
2 M	5 43	12 14 16	18 45	10 46 05,5	+07 49 21	21,3	+7,2	75,8
3 J	5 44	12 13 57	18 43	10 49 42,5	+07 27 24	21,6	+7,2	62,6
4 V	5 45	12 13 37	18 41	10 53 19,2	+07 05 18	21,8	+7,2	49,4
5 S	5 46	12 13 16	18 40	10 56 55,6	+06 43 06	22,1	+7,2	36,2
6 D	5 47	12 12 56	18 38	11 00 31,9	+06 20 48	22,3	+7,2	23,0
7 L	5 48	12 12 35	18 36	11 04 08,0	+05 58 23	22,6	+7,3	9,8
8 M	5 49	12 12 15	18 35	11 07 43,8	+05 35 52	22,8	+7,3	356,6
9 M	5 50	12 11 54	18 33	11 11 19,6	+05 13 15	23,0	+7,3	343,3
10 J	5 51	12 11 33	18 31	11 14 55,2	+04 50 33	23,2	+7,3	330,2
11 V	5 52	12 11 12	18 30	11 18 30,7	+04 27 46	23,3	+7,2	316,8
12 S	5 53	12 10 51	18 28	11 22 06,1	+04 04 54	23,6	+7,2	303,7
13 D	5 54	12 10 29	18 26	11 25 41,4	+03 41 58	23,8	+7,2	290,5
14 L	5 55	12 10 08	18 25	11 29 16,7	+03 18 57	23,8	+7,2	277,3
15 M	5 56	12 09 47	18 23	11 32 51,9	+02 55 53	24,1	+7,2	264,1
16 M	5 57	12 09 25	18 21	11 36 27,1	+02 32 46	24,3	+7,2	250,9
17 J	5 58	12 09 04	18 20	11 40 02,3	+02 09 35	24,3	+7,2	237,6
18 V	5 59	12 08 43	18 18	11 43 37,5	+01 46 22	24,6	+7,2	224,5
19 S	6 00	12 08 21	18 16	11 47 12,7	+01 23 06	24,7	+7,0	211,3
20 D	6 01	12 08 00	18 15	11 50 48,0	+00 59 48	24,8	+7,0	198,1
21 L	6 02	12 07 39	18 13	11 54 23,3	+00 36 29	25,0	+7,0	184,9
22 M	6 03	12 07 18	18 11	11 57 58,7	+00 13 09	25,1	+7,0	171,6
23 M	6 04	12 06 57	18 10	12 01 34,2	−00 10 13	25,3	+7,0	158,5
24 J	6 05	12 06 36	18 08	12 05 09,8	−00 33 35	25,3	+7,0	145,3
25 V	6 06	12 06 15	18 06	12 08 45,5	−00 56 57	25,5	+7,0	132,1
26 S	6 07	12 05 55	18 05	12 12 21,4	−01 20 19	25,6	+6,9	118,9
27 D	6 07	12 05 34	18 03	12 15 57,5	−01 43 40	25,7	+6,9	105,7
28 L	6 08	12 05 14	18 01	12 19 33,7	−02 07 00	25,8	+6,8	92,5
29 M	6 09	12 04 54	18 00	12 23 10,2	−02 30 20	25,8	+6,8	79,3
30 M	6 10	12 04 34	17 58	12 26 46,9	−02 53 37	25,8	+6,8	66,2

Inicio del otoño el día 22 a las $13^{h}31^{m}$ de TU.

SOL Octubre 2020

	en Madrid (TU)			a 0^h de TU		a 0^h de TU		
Día	Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. recta	Declinac.	P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 J	6 11	12 04 15	17 56	12 30 23,9	−03 16 53	26,0	+6,7	53,0
2 V	6 12	12 03 56	17 55	12 34 01,2	−03 40 07	26,0	+6,7	39,7
3 S	6 13	12 03 37	17 53	12 37 38,7	−04 03 18	26,1	+6,5	26,6
4 D	6 14	12 03 18	17 51	12 41 16,7	−04 26 27	26,1	+6,5	13,4
5 L	6 16	12 03 00	17 50	12 44 54,9	−04 49 32	26,2	+6,5	0,2
6 M	6 17	12 02 43	17 48	12 48 33,6	−05 12 33	26,2	+6,5	347,0
7 M	6 18	12 02 25	17 47	12 52 12,7	−05 35 31	26,2	+6,4	333,8
8 J	6 19	12 02 09	17 45	12 55 52,2	−05 58 25	26,3	+6,3	320,6
9 V	6 20	12 01 52	17 44	12 59 32,1	−06 21 14	26,3	+6,3	307,3
10 S	6 21	12 01 36	17 42	13 03 12,6	−06 43 58	26,3	+6,2	294,2
11 D	6 22	12 01 21	17 40	13 06 53,5	−07 06 37	26,3	+6,0	281,0
12 L	6 23	12 01 06	17 39	13 10 34,9	−07 29 10	26,2	+6,0	267,8
13 M	6 24	12 00 52	17 37	13 14 16,8	−07 51 37	26,2	+6,0	254,6
14 M	6 25	12 00 38	17 36	13 17 59,3	−08 13 58	26,2	+5,9	241,4
15 J	6 26	12 00 25	17 34	13 21 42,3	−08 36 12	26,2	+5,9	228,1
16 V	6 27	12 00 12	17 33	13 25 25,9	−08 58 18	26,1	+5,8	215,1
17 S	6 28	12 00 00	17 31	13 29 10,1	−09 20 17	26,1	+5,7	201,9
18 D	6 29	11 59 48	17 30	13 32 54,9	−09 42 09	26,0	+5,5	188,6
19 L	6 30	11 59 38	17 28	13 36 40,3	−10 03 51	26,0	+5,5	175,5
20 M	6 31	11 59 27	17 27	13 40 26,3	−10 25 25	25,8	+5,5	162,3
21 M	6 32	11 59 18	17 26	13 44 13,0	−10 46 49	25,8	+5,4	149,1
22 J	6 34	11 59 09	17 24	13 48 00,3	−11 08 04	25,7	+5,3	135,9
23 V	6 35	11 59 01	17 23	13 51 48,2	−11 29 09	25,6	+5,2	122,7
24 S	6 36	11 58 53	17 21	13 55 36,8	−11 50 03	25,5	+5,0	109,5
25 D	6 37	11 58 46	17 20	13 59 26,2	−12 10 46	25,3	+5,0	96,4
26 L	6 38	11 58 40	17 19	14 03 16,2	−12 31 18	25,3	+4,9	83,2
27 M	6 39	11 58 35	17 17	14 07 06,9	−12 51 38	25,2	+4,9	70,0
28 M	6 40	11 58 30	17 16	14 10 58,4	−13 11 46	25,0	+4,8	56,7
29 J	6 41	11 58 26	17 15	14 14 50,6	−13 31 42	24,8	+4,7	43,6
30 V	6 43	11 58 23	17 14	14 18 43,6	−13 51 25	24,7	+4,5	30,3
31 S	6 44	11 58 20	17 12	14 22 37,3	−14 10 54	24,6	+4,5	17,2

SOL Noviembre 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 D	6 45	11 58 19	17 11	14 26 31,9	−14 30 10	24,3	+4,4	4,0
2 L	6 46	11 58 18	17 10	14 30 27,2	−14 49 12	24,2	+4,3	350,8
3 M	6 47	11 58 18	17 09	14 34 23,4	−15 07 60	24,1	+4,2	337,7
4 M	6 48	11 58 19	17 08	14 38 20,4	−15 26 32	23,8	+4,0	324,5
5 J	6 50	11 58 20	17 07	14 42 18,2	−15 44 50	23,7	+3,9	311,3
6 V	6 51	11 58 23	17 06	14 46 16,9	−16 02 52	23,5	+3,7	298,1
7 S	6 52	11 58 26	17 05	14 50 16,4	−16 20 38	23,3	+3,7	284,8
8 D	6 53	11 58 31	17 04	14 54 16,8	−16 38 08	23,0	+3,6	271,7
9 L	6 54	11 58 36	17 03	14 58 18,0	−16 55 21	22,8	+3,5	258,6
10 M	6 55	11 58 42	17 02	15 02 20,1	−17 12 17	22,6	+3,4	245,4
11 M	6 57	11 58 49	17 01	15 06 23,1	−17 28 55	22,3	+3,2	232,1
12 J	6 58	11 58 56	17 00	15 10 26,9	−17 45 15	22,1	+3,2	219,0
13 V	6 59	11 59 05	16 59	15 14 31,6	−18 01 17	21,8	+3,1	205,8
14 S	7 00	11 59 14	16 58	15 18 37,2	−18 17 01	21,6	+2,9	192,6
15 D	7 01	11 59 25	16 57	15 22 43,6	−18 32 25	21,3	+2,7	179,5
16 L	7 02	11 59 36	16 56	15 26 50,9	−18 47 29	21,0	+2,7	166,3
17 M	7 04	11 59 48	16 56	15 30 59,0	−19 02 14	20,7	+2,6	153,1
18 M	7 05	12 00 00	16 55	15 35 07,9	−19 16 38	20,3	+2,5	139,9
19 J	7 06	12 00 14	16 54	15 39 17,7	−19 30 41	20,1	+2,4	126,7
20 V	7 07	12 00 28	16 54	15 43 28,2	−19 44 23	19,8	+2,2	113,5
21 S	7 08	12 00 44	16 53	15 47 39,6	−19 57 43	19,5	+2,1	100,4
22 D	7 09	12 01 00	16 52	15 51 51,7	−20 10 42	19,2	+2,0	87,2
23 L	7 10	12 01 16	16 52	15 56 04,6	−20 23 18	18,8	+1,8	74,0
24 M	7 11	12 01 34	16 51	16 00 18,3	−20 35 32	18,5	+1,7	60,7
25 M	7 13	12 01 52	16 51	16 04 32,7	−20 47 22	18,1	+1,6	47,6
26 J	7 14	12 02 11	16 50	16 08 47,8	−20 58 49	17,8	+1,5	34,5
27 V	7 15	12 02 31	16 50	16 13 03,6	−21 09 53	17,3	+1,3	21,3
28 S	7 16	12 02 51	16 50	16 17 20,2	−21 20 33	17,1	+1,2	8,1
29 D	7 17	12 03 12	16 49	16 21 37,5	−21 30 48	16,7	+1,1	354,8
30 L	7 18	12 03 34	16 49	16 25 55,4	−21 40 39	16,3	+1,0	341,7

SOL Diciembre 2020

Día	en Madrid (TU) Orto	Culmin.	Ocaso	a 0^h de TU Asc. recta	Declinac.	a 0^h de TU P	B	L
	h m	*h m s*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	°	°	°
1 M	7 19	12 03 56	16 49	16 30 14,0	−21 50 05	15,9	+0,9	328,6
2 M	7 20	12 04 19	16 49	16 34 33,3	−21 59 06	15,5	+0,6	315,3
3 J	7 21	12 04 43	16 48	16 38 53,2	−22 07 42	15,1	+0,6	302,2
4 V	7 22	12 05 07	16 48	16 43 13,6	−22 15 52	14,6	+0,5	289,0
5 S	7 23	12 05 32	16 48	16 47 34,7	−22 23 37	14,3	+0,4	275,8
6 D	7 24	12 05 57	16 48	16 51 56,3	−22 30 55	13,9	+0,2	262,7
7 L	7 25	12 06 23	16 48	16 56 18,5	−22 37 47	13,5	+0,1	249,5
8 M	7 25	12 06 49	16 48	17 00 41,2	−22 44 13	13,1	+0,0	236,3
9 M	7 26	12 07 16	16 48	17 05 04,4	−22 50 11	12,6	−0,2	223,1
10 J	7 27	12 07 44	16 48	17 09 28,0	−22 55 43	12,1	−0,3	210,0
11 V	7 28	12 08 11	16 48	17 13 52,0	−23 00 48	11,8	−0,4	196,8
12 S	7 29	12 08 39	16 48	17 18 16,5	−23 05 25	11,4	−0,6	183,6
13 D	7 29	12 09 08	16 49	17 22 41,3	−23 09 35	10,9	−0,6	170,4
14 L	7 30	12 09 37	16 49	17 27 06,5	−23 13 18	10,5	−0,8	157,3
15 M	7 31	12 10 06	16 49	17 31 32,0	−23 16 32	10,0	−0,9	144,1
16 M	7 32	12 10 35	16 50	17 35 57,7	−23 19 19	09,6	−1,1	130,9
17 J	7 32	12 11 04	16 50	17 40 23,6	−23 21 38	09,1	−1,2	117,7
18 V	7 33	12 11 34	16 50	17 44 49,7	−23 23 28	08,6	−1,3	104,5
19 S	7 33	12 12 04	16 51	17 49 15,9	−23 24 51	08,1	−1,3	91,4
20 D	7 34	12 12 33	16 51	17 53 42,2	−23 25 45	07,7	−1,6	78,2
21 L	7 34	12 13 03	16 52	17 58 08,6	−23 26 11	07,2	−1,7	65,0
22 M	7 35	12 13 33	16 52	18 02 35,0	−23 26 09	06,8	−1,8	51,9
23 M	7 35	12 14 03	16 53	18 07 01,4	−23 25 38	06,3	−1,8	38,7
24 J	7 36	12 14 33	16 53	18 11 27,8	−23 24 39	05,8	−2,1	25,5
25 V	7 36	12 15 03	16 54	18 15 54,1	−23 23 12	05,3	−2,2	12,4
26 S	7 37	12 15 32	16 55	18 20 20,3	−23 21 17	04,9	−2,2	359,2
27 D	7 37	12 16 02	16 55	18 24 46,3	−23 18 54	04,4	−2,4	346,0
28 L	7 37	12 16 31	16 56	18 29 12,2	−23 16 02	03,9	−2,6	332,8
29 M	7 37	12 17 00	16 57	18 33 37,9	−23 12 42	03,4	−2,7	319,7
30 M	7 38	12 17 29	16 57	18 38 03,4	−23 08 55	02,9	−2,7	306,5
31 J	7 38	12 17 57	16 58	18 42 28,7	−23 04 40	02,4	−2,9	293,3

Inicio del invierno el día 21 a las $10^h\ 2^m$ de TU.

Fórmulas para cálculos aproximados

Algunos de los parámetros que figuran en la tabla adjunta y en otras de este apartado pueden ser calculados de manera aproximada mediante sencillas fórmulas. Varias de ellas se basan en el cálculo previo de la distancia de la Tierra al Sol:

$$R \simeq 1{,}000 - 0{,}017 \cos(0{,}^\circ 986\, d - 4^\circ)$$

donde d es el día del año. En función de la distancia R se pueden calcular el semidiámetro, el movimiento diario, la paralaje horizontal ecuatorial, y el tiempo que tarda la luz en recorrer la distancia entre el Sol y la Tierra:

$$\begin{aligned}
&\text{semidiámetro} && s = \frac{0{,}^\circ 269}{R} = \frac{960''}{R} \\
&\text{movim. diario} && \simeq \frac{59',1}{R^2} \\
&\text{paralaje} && p = \frac{8{,}''794}{R} \\
&\text{tiempo luz} && \tau = 499^{\mathrm{s}} R \simeq 499^{\mathrm{s}} - 8^{\mathrm{s}} \cos(0{,}^\circ 986\, d)
\end{aligned}$$

El tiempo de paso del semidiámetro del Sol por el meridiano requiere una fórmula más complicada:

$$\text{paso del semidiámetro} \simeq \frac{66^{\mathrm{s}},6}{R}\,[1 + 0{,}043\, \cos(2d + 13^\circ)]$$

La velocidad de traslación de la Tierra alrededor del Sol se obtiene con:

$$\text{velocidad} \simeq \frac{29{,}786}{R}\ \mathrm{km\,s^{-1}}$$

La longitud y latitud eclípticas del Sol viene dadas por:

$$\begin{aligned}
&\lambda_\odot \simeq \odot \simeq 279^\circ + 0{,}^\circ 9857\, d + 1{,}^\circ 9\ \mathrm{sen}\,(0{,}^\circ 9856\, d - 4^\circ) \\
&\beta_\odot \simeq 0^\circ
\end{aligned}$$

Las coordenadas rectangulares ecuatoriales del Sol viene dadas por:

$$\begin{aligned}
x &= R\, \cos \odot \\
y &= 0{,}917\, R\, \mathrm{sen}\, \odot \\
z &= 0{,}398\, R\, \mathrm{sen}\, \odot
\end{aligned}$$

A partir de ellas se pueden calcular las coordenadas ecuatoriales, ascensión recta $\alpha_\odot$ y declinación $\delta_\odot$:

$$\begin{aligned}
&\tan \alpha_\odot = y/x \qquad (\alpha_\odot \text{ en el mismo cuadrante que } \odot) \\
&\mathrm{sen}\, \delta_\odot = z/R
\end{aligned}$$

SOL **2020**

Fecha		distancia *R* (UA)	semidiá–metro, *s*	movimiento diario (′/día)	paralaje horizontal	paso semidiám. por meridiano
Ene	1	0,98329	16′18″	61	8″,94	70^{s},6
Ene	11	0,98334	16′17″	61	8″,94	70^{s},0
Ene	21	0,98399	16′17″	61	8″,94	69^{s},1
Ene	31	0,98507	16′16″	61	8″,93	68^{s},0
Feb	10	0,98657	16′14″	61	8″,91	66^{s},9
Feb	20	0,98857	16′12″	61	8″,90	65^{s},9
Mar	1	0,99084	16′10″	60	8″,88	65^{s},0
Mar	11	0,99336	16′08″	60	8″,85	64^{s},5
Mar	21	0,99616	16′05″	60	8″,83	64^{s},1
Mar	31	0,99899	16′02″	59	8″,80	64^{s},1
Abr	10	1,00183	15′59″	59	8″,78	64^{s},4
Abr	20	1,00470	15′57″	59	8″,75	64^{s},9
Abr	30	1,00734	15′54″	58	8″,73	65^{s},6
May	10	1,00976	15′52″	58	8″,71	66^{s},4
May	20	1,01197	15′50″	58	8″,69	67^{s},2
May	30	1,01375	15′48″	58	8″,67	67^{s},9
Jun	9	1,01514	15′47″	57	8″,66	68^{s},4
Jun	19	1,01616	15′46″	57	8″,65	68^{s},5
Jun	29	1,01664	15′45″	57	8″,65	68^{s},4
Jul	9	1,01666	15′45″	57	8″,65	67^{s},9
Jul	19	1,01627	15′46″	57	8″,65	67^{s},3
Jul	29	1,01533	15′47″	57	8″,66	66^{s},4
Ago	8	1,01398	15′48″	57	8″,67	65^{s},6
Ago	18	1,01228	15′50″	58	8″,69	64^{s},8
Ago	28	1,01014	15′52″	58	8″,71	64^{s},2
Set	7	1,00773	15′54″	58	8″,73	63^{s},8
Set	17	1,00515	15′56″	59	8″,75	63^{s},6
Set	27	1,00231	15′59″	59	8″,77	63^{s},8
Oct	7	0,99945	16′02″	59	8″,80	64^{s},3
Oct	17	0,99664	16′04″	60	8″,82	65^{s},0
Oct	27	0,99382	16′07″	60	8″,85	66^{s},0
Nov	6	0,99124	16′10″	60	8″,87	67^{s},1
Nov	16	0,98895	16′12″	60	8″,89	68^{s},3
Nov	26	0,98690	16′14″	61	8″,91	69^{s},4
Dic	6	0,98530	16′16″	61	8″,93	70^{s},2
Dic	16	0,98417	16′17″	61	8″,94	70^{s},7
Dic	26	0,98344	16′17″	61	8″,94	70^{s},8

Estos valores se refieren a las 0^{h} de Tiempo Universal.
1 ua (unidad astronómica) = 149 597 871 km

Ortos y ocasos del Sol

En las tablas de efemérides solares constan los instantes de salida y puesta del Sol (orto y ocaso) para Madrid día a día, expresados en la escala de Tiempo Universal (TU). Para conocer el instante de salida o de puesta del Sol en otro lugar de España es necesario aplicar dos correcciones, una debida a la diferente latitud y otra debida a la diferente longitud. Para conocer el tiempo oficial (TO), habrá que añadir una tercera corrección, que depende de la época del año: $+1^h$ o $+2^h$ en la Península y Baleares, 0^h o $+1^h$ en Canarias.

La corrección en longitud siempre tiene el mismo signo, se trate de orto o de ocaso: en los lugares situados al Este de Madrid el Sol sale y se pone antes que en Madrid; al Oeste de Madrid, orto y ocaso tienen lugar más tarde. Esta corrección viene dada simplemente por la diferencia de longitudes; se encuentra en la tabla siguiente, expresada en minutos de tiempo.

La corrección en latitud depende de la diferencia de latitudes y de la declinación del Sol, o sea de la época del año. Puede encontrarse, para varios paralelos, en la página 150. El paralelo 28° corresponde a las Canarias. El signo que figura en la tabla corresponde al orto; para el ocaso la corrección debe tener signo contrario.

Cálculo de orto y ocaso del Sol en una capital de provincia

Se puede calcular los instantes de salida y puesta del Sol para un día dado en una capital de provincia partiendo de los instantes de orto y ocaso en Madrid para tal fecha. Para ello basta realizar dos correcciones, cuyos valores viene dados en estas dos tablas. La corrección por longitud sólo depende del lugar y se aplica según el signo que aparece en la tabla correspondiente. La corrección en latitud depende de la fecha y se aplica de manera distinta según se trate del orto o del ocaso. Los cálculos a realizar son:

orto = orto en Madrid + corrección por longitud + corrección por latitud
ocaso = ocaso en Madrid + corrección por longitud – corrección por latitud

Ejemplo: cálculo de orto y ocaso del Sol el día 9 de febrero en León. En las dos tablas siguientes se encuentra que las correcciones a aplicar son de $+8^m$ en longitud y de $+4^m$ en latitud (para la latitud de 42°,5).

$$\text{orto} = 7^h16^m + (+8^m) + (+4^m) = 7^h28^m \text{ TU}$$
$$\text{ocaso} = 17^h42^m + (+8^m) - (+4^m) = 17^h46^m \text{ TU}$$

A continuación debe aplicarse la corrección al horario oficial, de $+1^h$ en este caso pues corresponde al horario de invierno en la península

Cálculo de orto y ocaso del Sol en un lugar cualquiera de España

Para un lugar de longitud λ_E:

$$\begin{aligned}\text{orto} &= \text{orto en Madrid} - 15^{\text{m}} - \lambda_E + \text{corrección por latitud}\\ \text{ocaso} &= \text{ocaso en Madrid} - 15^{\text{m}} - \lambda_E - \text{corrección por latitud}\end{aligned}$$

Ejemplo: orto y ocaso del Sol el día 1 de abril en un lugar de las Canarias de latitud $\phi = 28^\circ 06'$ y longitud $\lambda_E = -1^{\text{h}}1^{\text{m}}39^{\text{s}}$, en horario de verano:

$$\begin{aligned}\text{orto} &= 5^{\text{h}}58^{\text{m}} - 15^{\text{m}} - (-1^{\text{h}}2^{\text{m}}) + 6^{\text{m}} = 6^{\text{h}}51^{\text{m}}\ \text{TU} = 7^{\text{h}}51^{\text{m}}\ \text{TO}\\ \text{ocaso} &= 18^{\text{h}}40^{\text{m}} - 15^{\text{m}} - (-1^{\text{h}}2^{\text{m}}) - 6^{\text{m}} = 19^{\text{h}}21^{\text{m}}\ \text{TU} = 20^{\text{h}}21^{\text{m}}\ \text{TO}\end{aligned}$$

Corrección por longitud a las horas de orto, culminación y ocaso del Sol para las capitales de provincia, en minutos

Ciudad	Correc.	Lat.	Ciudad	Correc.	Lat.
Albacete	–7m	39°	Alicante / Alacant	–13m	38°4
Almería	–5m	37°	Avila	+4m	40°5
Badajoz	+13m	39°	Barcelona	–23m	41°5
Bilbao	–3m	43°	Burgos	0m	42°5
Cáceres	+11m	39°5	Cádiz	+10m	36°5
Castellón de la Plana	–15m	40°	Ceuta	+6m	36°
Ciudad Real	+1m	39°	Córdoba	+4m	38°
Coruña, A (La Coruña)	+19m	43°5	Cuenca	–6m	40°
Donostia-San Sebastián	–7m	43°5	Girona (Gerona)	–26m	42°
Granada	0m	37°	Guadalajara	–2m	40°5
Huelva	+13m	37°	Huesca	–13m	42°
Jaén	0m	38°	León	+8m	42°5
Logroño	–5m	42°5	Lugo	+15m	43°
Lleida (Lérida)	–17m	41°5	Madrid	0m	40°5
Málaga	+3m	36°5	Melilla	–3m	35°5
Murcia	–10m	38°	Ourense (Orense)	+17m	42°5
Oviedo	+9m	43°5	Palencia	+3m	42°
Palma de Mallorca	–25m	39°5	Palmas de G. C., Las	+47m	28°
Pamplona / Iruña	–8m	43°	Pontevedra	+20m	42°5
Salamanca	+8m	41°	Santa Cruz de Tenerife	+50m	28°5
Santander	0m	43°5	Segovia	+2m	41°
Sevilla	+9m	37°5	Soria	–5m	42°
Tarragona	–20m	41°	Teruel	–10m	40°5
Toledo	+1m	40°	Valencia	–13m	39°5
Valladolid	+4m	41°5	Vitoria-Gasteiz	–4m	43°
Zamora	+8m	41°5	Zaragoza	–11m	41°5

Corrección, en minutos, a las horas de orto y ocaso del Sol en diversos paralelos

Fecha	Latitud 28°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	Fecha
Dic 21	−33	−13	−10	−7	−5	−2	2	5	8	12	Dic 22
Dic 26	−32	−13	−10	−7	−4	−1	2	5	8	12	Dic 17
Dic 31	−32	−13	−10	−7	−4	−1	2	5	8	12	Dic 12
Ene 5	−31	−12	−10	−7	−4	−1	2	5	8	11	Dic 7
Ene 10	−30	−12	−9	−7	−4	−1	2	5	8	11	Dic 2
Ene 15	−29	−11	−9	−6	−4	−1	2	4	7	10	Nov 27
Ene 20	−27	−11	−8	−6	−4	−1	2	4	7	10	Nov 22
Ene 25	−25	−10	−8	−6	−3	−1	1	4	7	9	Nov 17
Ene 30	−23	−9	−7	−5	−3	−1	1	4	6	8	Nov 12
Feb 4	−21	−8	−7	−5	−3	−1	1	3	5	8	Nov 7
Feb 9	−19	−7	−6	−4	−2	−1	1	3	5	7	Nov 2
Feb 14	−17	−7	−5	−4	−2	−1	1	3	4	6	Oct 28
Feb 19	−14	−6	−4	−3	−2	−1	1	2	4	5	Oct 23
Feb 24	−12	−5	−4	−3	−2	0	1	2	3	4	Oct 18
Feb 29	−9	−4	−3	−2	−1	0	1	1	2	3	Oct 13
Mar 5	−7	−3	−2	−1	−1	0	0	1	2	2	Oct 8
Mar 10	−4	−2	−1	−1	−1	0	0	1	1	2	Oct 3
Mar 15	−2	−1	−1	0	0	0	0	0	0	1	Set 28
Mar 20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Set 22
Mar 25	3	1	1	1	0	0	0	−1	−1	−1	Set 17
Mar 30	6	2	2	1	1	0	0	−1	−1	−2	Set 12
Abr 4	8	3	3	2	1	0	0	−1	−2	−3	Set 7
Abr 9	11	4	3	2	1	0	−1	−2	−3	−4	Set 2
Abr 14	13	5	4	3	2	1	−1	−2	−3	−5	Ago 28
Abr 19	15	6	5	3	2	1	−1	−2	−4	−6	Ago 23
Abr 24	18	7	5	4	2	1	−1	−3	−5	−6	Ago 18
Abr 29	20	8	6	4	3	1	−1	−3	−5	−7	Ago 13
May 4	22	9	7	5	3	1	−1	−3	−6	−8	Ago 8
May 9	24	10	8	5	3	1	−1	−4	−6	−9	Ago 3
May 14	26	10	8	6	3	1	−2	−4	−7	−10	Jul 29
May 19	28	11	9	6	4	1	−2	−4	−7	−10	Jul 24
May 24	30	12	9	7	4	1	−2	−5	−8	−11	Jul 19
May 29	31	12	10	7	4	1	−2	−5	−8	−12	Jul 14
Jun 3	32	13	10	7	4	1	−2	−5	−8	−12	Jul 9
Jun 8	33	13	10	7	4	1	−2	−5	−9	−12	Jul 4
Jun 13	34	13	11	8	5	1	−2	−5	−9	−13	Jun 29
Jun 18	34	14	11	8	5	1	−2	−5	−9	−13	Jun 24

orto = orto en Madrid $-15^{\mathrm{m}} - \lambda_E +$ corrección por latitud
ocaso = ocaso en Madrid $-15^{\mathrm{m}} - \lambda_E -$ corrección por latitud

Los instantes de orto y ocaso del Sol para un lugar dado de latitud ϕ pueden ser calculados de manera aproximada:

(1) se calculan la longitud del Sol, $\odot$, y el instante de culminación para el lugar usando la corrección dada en tabla de la página 149 o según de indica en la sección **Paso del Sol por el meridiano**.

(2) se calcula el tiempo auxiliar:

$$H = 6^{\mathrm{h}}5^{\mathrm{m}} + 99^{\mathrm{m}} \tan\phi \operatorname{sen}\odot$$

(3) para determinar el orto, se resta el valor H al instante de la culminación.

(4) para determinar el ocaso, se suman ambos valores.

La presencia de montañas o colinas en el horizonte tiene como efecto el retrasar el instante del orto o adelantar el del ocaso. Si el Sol sale en un lugar del horizonte en que el relieve alcanza una altura h (en metros) por encima del lugar de observación y se encuentra a una distancia D (en km), el retraso en el orto viene dado aproximadamente por: $19^{\mathrm{s}}\, h(\mathrm{m})/D(\mathrm{km})$. El adelanto en el ocaso se calcula análogamente. En Canarias, usar 16^{s} como factor multiplicativo.

Orientación del orto y del ocaso

El lugar en el horizonte en que sale o se pone el Sol se indica con el *acimut*, ángulo que se mide desde el Sur (acimut=0°) y es positivo hacia el Oeste. Utilizando desarrollos antes explicados, el acimut, a, del ocaso viene dado por:

$$a \simeq \arccos(-0{,}012 - 0{,}523 \operatorname{sen}\odot), \quad \text{en la Península y Baleares}$$
$$a \simeq \arccos(-0{,}008 - 0{,}452 \operatorname{sen}\odot), \quad \text{en Canarias.}$$

El acimut del orto se calcula de igual manera pero se toma con signo negativo.

Alternativamente, la orientación se puede referir a las direcciones Este y Oeste. El lugar del horizonte por el que tiene lugar la salida o puesta del Sol varía a lo largo del año, produciéndose en los puntos cardinales Este y Oeste sólo en los equinoccios (días en que se inician la primavera y el otoño). La desviación, en grados, respecto de las direcciones Este y Oeste puede encontrarse en la tabla correspondiente. El signo positivo indica que el orto y el ocaso tienen lugar más hacia el Norte y el signo negativo, más hacia el Sur de la línea Este−Oeste.

Ejemplo: En el día 21 de diciembre, en un lugar de latitud 40°, el Sol sale 30° al sur de la dirección Este y se pone 30° al sur de la dirección Oeste.

Lugares del horizonte por donde sale y se oculta el Sol, referidos al Este y al Oeste

Fecha		Latitud 28°	32°	36°	40°	44°	Fecha	
Dic	21	−26	−27	−29	−30	−33	Dic	22
Dic	26	−26	−27	−29	−30	−33	Dic	17
Dic	31	−26	−27	−28	−30	−32	Dic	12
Ene	5	−25	−26	−28	−29	−31	Dic	7
Ene	10	−25	−26	−27	−29	−30	Dic	2
Ene	15	−24	−25	−26	−27	−29	Nov	27
Ene	20	−23	−23	−25	−26	−28	Nov	22
Ene	25	−21	−22	−23	−24	−26	Nov	17
Ene	30	−20	−21	−22	−23	−24	Nov	12
Feb	4	−18	−19	−20	−21	−22	Nov	7
Feb	9	−16	−17	−18	−19	−20	Nov	2
Feb	14	−15	−15	−16	−17	−18	Oct	28
Feb	19	−13	−13	−14	−14	−15	Oct	23
Feb	24	−10	−11	−11	−12	−13	Oct	18
Feb	29	−8	−9	−9	−9	−10	Oct	13
Mar	5	−6	−6	−7	−7	−7	Oct	8
Mar	10	−4	−4	−4	−4	−5	Oct	3
Mar	15	−2	−2	−2	−2	−2	Set	28
Mar	20	0	1	1	1	1	Set	22
Mar	25	3	3	3	3	4	Set	17
Mar	30	5	5	6	6	6	Set	12
Abr	4	7	7	8	8	9	Set	7
Abr	9	9	10	10	11	12	Set	2
Abr	14	11	12	12	13	14	Ago	28
Abr	19	13	14	15	16	17	Ago	23
Abr	24	15	16	17	18	19	Ago	18
Abr	29	17	18	19	20	21	Ago	13
May	4	19	20	21	22	24	Ago	8
May	9	20	21	22	24	26	Ago	3
May	14	22	23	24	26	27	Jul	29
May	19	23	24	26	27	29	Jul	24
May	24	24	25	27	28	31	Jul	19
May	29	25	26	28	30	32	Jul	14
Jun	3	26	27	29	31	33	Jul	9
Jun	8	27	28	29	31	34	Jul	4
Jun	13	27	28	30	32	34	Jun	29
Jun	18	27	29	30	32	35	Jun	24

Para el día d del año, en un lugar de latitud ϕ se tiene, aproximadamente:

$$\textit{desviación} = 1^\circ - 24^\circ \cos(0.^\circ 986\, d + 10^\circ)/\cos\phi$$

Paso del Sol por el primer vertical en el meridiano de Madrid

Fecha		Latitud 36° Este	36° Oeste	38° Este	38° Oeste	40° Este	40° Oeste	42° Este	42° Oeste	44° Este	44° Oeste
		h m	*h m*	*h m*	*h m*	*h m*	*h m*	*h m*	*h m*	*h m*	*h m*
Mar	25	6 32	18 08	6 31	18 09	6 30	18 10	6 30	18 11	6 29	18 11
Mar	30	6 41	17 56	6 40	17 58	6 38	17 59	6 37	18 01	6 36	18 02
Abr	4	6 50	17 44	6 48	17 46	6 46	17 48	6 44	17 50	6 42	17 52
Abr	9	7 00	17 32	6 57	17 35	6 54	17 38	6 51	17 40	6 49	17 43
Abr	14	7 09	17 20	7 05	17 24	7 02	17 28	6 58	17 31	6 55	17 34
Abr	19	7 18	17 09	7 13	17 13	7 09	17 18	7 05	17 21	7 02	17 25
Abr	24	7 27	16 58	7 22	17 03	7 17	17 08	7 12	17 12	7 08	17 17
Abr	29	7 36	16 47	7 30	16 53	7 25	16 59	7 20	17 04	7 15	17 09
May	4	7 45	16 37	7 38	16 44	7 32	16 50	7 26	16 56	7 21	17 01
May	9	7 54	16 28	7 46	16 35	7 40	16 42	7 33	16 49	7 27	16 54
May	14	8 03	16 19	7 54	16 27	7 47	16 35	7 40	16 42	7 33	16 48
May	19	8 11	16 11	8 02	16 20	7 53	16 29	7 46	16 36	7 39	16 43
May	24	8 18	16 05	8 08	16 14	8 00	16 23	7 52	16 31	7 45	16 38
May	29	8 25	15 59	8 15	16 09	8 06	16 19	7 57	16 27	7 50	16 35
Jun	3	8 31	15 55	8 20	16 06	8 11	16 15	8 02	16 24	7 54	16 32
Jun	8	8 36	15 52	8 25	16 03	8 15	16 13	8 06	16 22	7 58	16 30
Jun	13	8 40	15 50	8 28	16 01	8 18	16 12	8 09	16 21	8 00	16 29
Jun	18	8 42	15 50	8 31	16 01	8 20	16 12	8 11	16 21	8 03	16 29
Jun	23	8 43	15 51	8 32	16 03	8 21	16 13	8 12	16 22	8 04	16 31
Jun	28	8 43	15 53	8 32	16 05	8 21	16 15	8 12	16 24	8 04	16 33
Jul	3	8 41	15 57	8 30	16 08	8 20	16 18	8 11	16 27	8 03	16 35
Jul	8	8 38	16 02	8 27	16 13	8 18	16 23	8 09	16 31	8 01	16 39
Jul	13	8 34	16 08	8 23	16 18	8 14	16 27	8 06	16 36	7 58	16 43
Jul	18	8 28	16 15	8 18	16 24	8 09	16 33	8 01	16 41	7 54	16 48
Jul	23	8 21	16 22	8 12	16 31	8 04	16 39	7 56	16 47	7 50	16 53
Jul	28	8 13	16 30	8 05	16 38	7 57	16 46	7 50	16 53	7 44	16 59
Ago	2	8 05	16 38	7 57	16 46	7 50	16 53	7 44	16 59	7 38	17 05
Ago	7	7 55	16 46	7 48	16 53	7 42	17 00	7 36	17 05	7 31	17 11
Ago	12	7 45	16 55	7 39	17 01	7 33	17 07	7 28	17 12	7 23	17 17
Ago	17	7 34	17 04	7 29	17 09	7 24	17 14	7 19	17 19	7 15	17 23
Ago	22	7 23	17 13	7 18	17 17	7 14	17 22	7 10	17 25	7 07	17 29
Ago	27	7 12	17 22	7 08	17 25	7 04	17 29	7 01	17 32	6 58	17 35
Set	1	7 00	17 30	6 57	17 33	6 54	17 36	6 51	17 39	6 49	17 41
Set	6	6 48	17 39	6 45	17 42	6 43	17 44	6 41	17 46	6 39	17 48
Set	11	6 35	17 48	6 34	17 50	6 32	17 51	6 31	17 52	6 29	17 54
Set	16	6 23	17 57	6 22	17 58	6 21	17 59	6 20	17 59	6 20	18 00

Primer vertical es el plano vertical orientado según la dirección Este–Oeste.

Crepúsculos

Se denomina *crepúsculo* a la claridad variable que precede la salida del Sol o sigue su puesta. Es producido por la difusión de la luz del Sol por las capas altas de la atmósfera, por lo que su intensidad depende de la latitud y altitud del observador, la época del año (o sea, de la declinación del Sol) y del tiempo atmosférico. Por convenio se han definido tres tipos de crepúsculos, en base a la altura h, por debajo del horizonte, a que el Sol se encuentra en el inicio o fin del crepúsculo. Cuando tal altura es $h = -6^\circ$ se habla de crepúsculo **civil**; en tal instante son visibles algunos planetas y estrellas de primera magnitud. Cuando es $h = -12^\circ$ se habla de crepúsculo **náutico**; en este instante son visibles el horizonte y las estrellas más brillantes de las principales constelaciones. Cuando es $h = -18^\circ$ se habla de crepúsculo **astronómico**; en este momento es noche cerrada y, si el cielo está bien despejado, son visibles estrellas de hasta sexta magnitud.

En las tablas siguientes figura la duración en minutos de cada tipo de crepúsculo, tomando como referencia el instante de salida o puesta del Sol. Para latitudes y fechas intermedias, deben realizarse interpolaciones.

Duración, en minutos, del crepúsculo civil el día 15 del mes

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
28°	25	24	23	24	26	27	26	25	24	24	25	26
32°	27	25	24	25	27	28	28	26	25	25	26	27
36°	28	26	26	26	29	30	30	27	26	26	27	29
40°	30	28	27	28	31	33	32	29	27	27	29	31
44°	32	30	29	30	33	36	35	31	29	29	31	33

Duración, en minutos, del crepúsculo náutico el día 15 del mes

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
28°	54	52	51	52	56	59	58	54	51	51	53	55
32°	56	54	53	55	59	63	61	56	53	53	55	57
36°	59	56	55	58	63	68	66	60	56	56	58	61
40°	63	59	58	62	69	74	72	64	59	59	62	65
44°	68	63	62	66	76	84	80	70	63	62	66	69

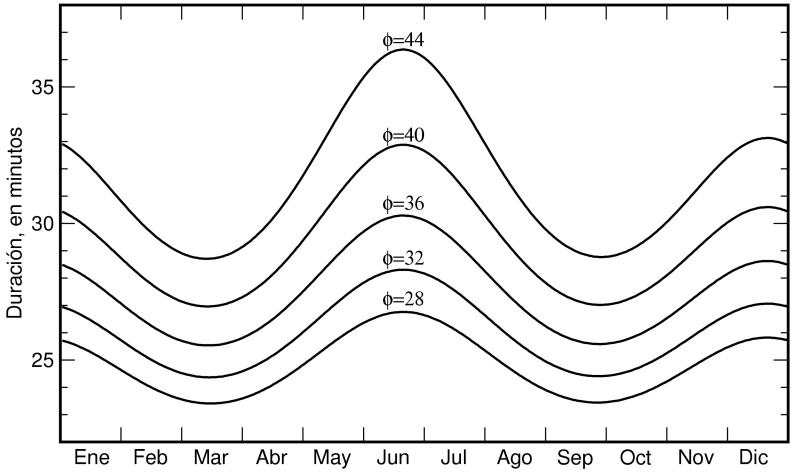
Duración, en minutos, del crepúsculo astronómico el día 15 del mes

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
28°	82	79	78	81	88	93	91	84	79	78	81	84
32°	86	82	81	85	93	100	97	88	82	81	84	87
36°	90	86	85	90	101	109	105	94	86	85	88	92
40°	96	91	90	97	110	123	117	102	92	90	94	97
44°	102	97	96	105	124	144	134	112	99	96	100	104

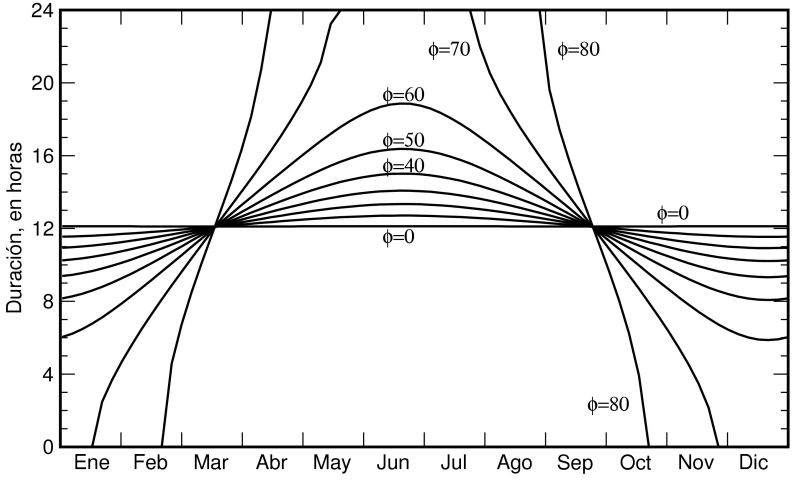
La duración aproximada del crepúsculo civil puede ser calculada mediante la siguiente fórmula, en la que ϕ es la latitud del lugar y $\delta_\odot$ es la declinación del Sol para el día considerado:

$$\text{Duración del crepúsculo civil} = \frac{21^{\text{m}}}{\sqrt{\cos(\phi - \delta_{\odot})\ \cos(\phi + \delta_{\odot})}}$$

Duración del crepúsculo civil en función de la latitud ϕ



Duración del día en función de la latitud ϕ



Tiempo de insolación (o duración del día)

Se denomina *tiempo de insolación* al intervalo de tiempo que transcurre entre la salida y la puesta del Sol en un lugar dado, lo que comúnmente se conoce como *duración del día*. Prescindiendo de efectos geométricos debidos al relieve en el horizonte y a condiciones atmosféricas adversas, tal intervalo de tiempo depende exclusivamente de la época del año y de la latitud del lugar. Su duración máxima se da en el solsticio de verano correspondiente al hemisferio y su duración mínima se da en el solsticio de invierno. La diferencia entre la duración máxima y mínima depende fuertemente de la latitud, siendo tales duraciones prácticamente idénticas en el ecuador. En nuestras latitudes, tal diferencia es de casi 6 horas. Entre cada círculo polar y el polo correspondiente, el día llega a durar 24 horas. En el hemisferio Norte, el Sol no se pone en un lugar dado cuando la suma de la latitud de tal lugar (ϕ) y la declinación del Sol ($\delta_\odot$) supera los 90°.

El tiempo de insolación a lo largo del año para distintas latitudes puede verse en la última figura de la página anterior. La duración mínima y máxima del tiempo de insolación para diversas latitudes se detalla en la tabla siguiente. Se ha tenido en cuenta el efecto de la refracción atmosférica media.

Tiempo de insolación

Latitud ϕ (°)	Duración máxima (h min)	Duración mínima (h min)	Diferencia máx–mín (h min)	Cociente máx/mín
0	12 07	12 07	0	1,00
10	12 42	11 32	1 10	1,10
20	13 20	10 55	2 25	1,22
30	14 05	10 13	3 52	1,38
40	15 01	09 19	5 44	1,61
50	16 22	08 04	8 18	2,03
60	18 52	05 52	13 0	3,22
70	24 00	00 00		

En Madrid se tiene, para el año 2020:

Día en que el Sol sale más tarde: 5 de enero
Día en que el Sol sale más pronto: 14 de junio
Día en que el Sol se pone más tarde: 27 de junio
Día en que el Sol se pone más pronto: 7 de diciembre
Día de mayor duración: 20 de junio (15^h3^m)
Día de menor duración: 21 de diciembre (9^h17^m)

Paso del Sol por el meridiano

Los instantes de paso del Sol por el meridiano que figuran en las tablas mensuales se refieren al centro del Sol y el observador en Madrid. Para obtener el instante de paso del centro del Sol por el meridiano en otro lugar, basta con corregir por la diferencia de longitudes (si tal diferencia no es muy grande). Si la longitud, expresada en hms, es λ_E, el instante de paso será:

$$paso\ meridiano = paso\ meridiano\ en\ Madrid - 14^{\mathrm{m}}45^{\mathrm{s}} - \lambda_E$$

Tal instante nos indica la dirección Sur.

El instante de la culminación del Sol puede obtenerse también a partir de la Ecuación de Tiempo ($EcTi$) que se encuentra en las tablas de la sección *TIEMPOS*. En un lugar de longitud $\lambda_E(hms)$, el instante de culminación del Sol viene dado por:

$$paso\ meridiano = 12^{\mathrm{h}} - EcTi - \lambda_E$$

Ejemplo: al mediodía del día 1 de abril la Ecuación de Tiempo es $-3^{\mathrm{m}}52^{\mathrm{s}}$, luego el Sol pasará por el meridiano de Madrid a las:

$$12^{\mathrm{h}} - (-3^{\mathrm{m}}52^{\mathrm{s}}) - (-14^{\mathrm{m}}45^{\mathrm{s}}) = 12^{\mathrm{h}}18^{\mathrm{m}}37^{\mathrm{s}}\ \mathrm{TU}$$

valor que coincide con el dado en la tabla correspondiente.

Si se desea obtener el instante de paso por el meridiano del borde anterior o del posterior, hay que realizar una corrección adicional, para tener en cuenta el tiempo de paso del semidiámetro, el cual viene indicado para cada diez días en la tabla de la página 147:

$$paso\ borde\ anterior = paso\ centro - paso\ semidiámetro$$
$$paso\ borde\ posterior = paso\ centro + paso\ semidiámetro$$

Rotaciones sinódicas del Sol

Las rotaciones sinódicas del Sol (o sea, tal como son vistas desde la Tierra) empezaron a numerarse a partir del 9 de noviembre de 1853 y su periodo medio es de $27^{\mathrm{d}}{,}2753$, correspondiente a una latitud heliográfica de 26°. Se considera que una rotación se inicia cuando la longitud heliográfica del centro del Sol es $L = 0$. El número de rotación de Carrington (*NRC*) para las 0^{h} TU de un día cualquiera se puede calcular aproximadamente mediante la fórmula:

$$NRC = 1958 + \frac{DJ - 2451545{,}11}{27{,}2753}$$

y tomando el valor entero (truncado) del resultado. *DJ* es el día juliano considerado. El instante de inicio de una rotación puede obtenerse con mayor precisión en las tablas mensuales del *SOL*, determinando, por interpolación, el instante en que la longitud heliográfica *L* se anula.

Instante de inicio de las rotaciones sinódicas del Sol en 2020

NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora
2226	Ene	6	9	2231	May	21	21	2236	Oct	5	0
2227	Feb	2	17	2232	Jun	18	2	2237	Nov	1	7
2228	Mar	1	1	2233	Jul	15	7	2238	Nov	28	15
2229	Mar	28	9	2234	Ago	11	12	2239	Dic	25	23
2230	Abr	24	15	2235	Set	7	18	2240	Ene	22	7

La primera rotación que se iniciará en 2020 es la número 2226, lo cual tendrá lugar el día 6 de enero a las $9^{h},2$ TU. La primera rotación en 2021 será la número 2240, iniciándose el 22 de enero a las $6^{h},6$ TU.

Manchas solares

Una mancha solar es una región de la superficie del sol con una zona central oscura (umbra) rodeada por una más clara (penumbra). Las manchas solares se caracterizan por tener una temperatura más baja que sus alrededores y una intensa actividad magnética. El número de manchas solares crece y decrece de unos años a otros de forma cíclica dando lugar a máximos y mínimos. Estos ciclos tienen un periodo medio de once años entre dos máximos consecutivos.

En la siguiente tabla se proporcionan los promedios anuales del número de manchas diario observado en los últimos 20 años, basada en la recalibración introducida el pasado 1 de julio de 2015 por el SIDC (Solar Influences Data Analysis Center, http://sidc.oma.be/silso/).

Número relativo de manchas solares en los últimos 20 años

año	manchas	año	manchas	año	manchas	año	manchas
2000	170	2005	45	2010	26	2015	72
2001	168	2006	26	2011	73	2016	41
2002	160	2007	13	2012	90	2017	21
2003	103	2008	4	2013	95	2018	8
2004	66	2009	6	2014	107	2019	2

El número de manchas del último año de la tabla es un valor provisional.

LUNA

Datos lunares
Coordenadas topocéntricas de la Luna
Efemérides diarias de la Luna
Ortos y ocasos de la Luna
Paso de la Luna por el meridiano
Distancia, semidiámetro y paralaje horizontal
Fases de la Luna
Perigeos y apogeos

Unidades prácticas

$\mathcal{R}_{(}$	= 1 738,14 km	= 0,2725 $\mathcal{R}_{\oplus}$
$\mathcal{M}_{(}$	= 7,3463 10^{22} kg	= 0,0123 $\mathcal{M}_{\oplus}$
$G\mathcal{M}_{(}$	= 4,902 8001 10^{12} $m^3\ s^{-2}$	= 0,012 300 0371 G $\mathcal{M}_{\oplus}$

Datos lunares

Elementos medios de la órbita para 2020

Longitud media	$L_{(} = 332^{\circ},138816 + 13^{\circ},17639645\ d$
Anomalía media	$M_{(} = 155^{\circ},150009 + 13^{\circ},06499304\ d$
Longitud del perigeo medio	$\varpi_{(} = 176^{\circ},988803 + 0^{\circ},11140341\ d$
Long. media del nodo ascendente	$\Omega_{(} = 98^{\circ},296743 - 0^{\circ},05295374\ d$
Elongación media referida al Sol	$D_{(} = 52^{\circ},996443 + 12^{\circ},19074909\ d$

(En estas fórmulas d es el día del año, en la escala de TU.)

Coordenadas eclípticas verdaderas

Desarrollos aproximados de longitud eclíptica, latitud eclíptica y paralaje:

$$\lambda_{(} = L_{(} + 377'\operatorname{sen} M_{(} + 76'\operatorname{sen}(2\,D_{(} - M_{(}) + 40'\operatorname{sen}(2\,D_{(}) + 13'\operatorname{sen}(2\,M_{(})$$
$$\beta_{(} = 309'\ \operatorname{sen}\,(\lambda_{(} - \Omega_{(})$$
$$\pi_{(} = 57' + 3'\ \cos M_{(}$$

A partir de la paralaje ecuatorial $\pi_{(}$ se pueden calcular:

$$\text{semidiámetro} = 0,2725\ \pi_{(}, \qquad \text{distancia geocéntrica} = \frac{1}{\operatorname{sen}\pi_{(}} R_{\oplus}$$

Distancia

Distancia media	384 400 km	60,268 $\mathcal{R}_{\oplus}$
	en tiempo luz	$1^{\mathrm{s}},282\,22$
Distancias extremas:	mínima	356 375 km = 55,874 $\mathcal{R}_{\oplus}$
	máxima	406 720 km = 63,768 $\mathcal{R}_{\oplus}$
Semidiámetro medio:	geocéntrico	$15'32'',6$
	topocéntrico (cénit)	$15'48'',3$
Paralaje ecuatorial horizontal media		$3422'',608 = 57'02'',608$

Otros datos orbitales

Excentricidad	$e_{(} = 0,054\,900\,489$	
Inclinación orbital media:		
	respecto de la eclíptica	$5^{\circ},145\,396$
	respecto del ecuador lunar	$6^{\circ}41'$
	respecto del ecuador terrestre	$18^{\circ},28$ a $28^{\circ},58$
Inclinación del ecuador lunar medio respecto de la eclíptica:	$1^{\circ},542\,42\ =\ 1^{\circ}32'32'',7$	

Movimiento sidéreo medio diario	$13^\circ,176\,358$
Intervalo medio entre tránsitos o pasos por el meridiano	$24^h51^m28^s$
Velocidad orbital media	1,023 km s^{-1} = 3683 km h^{-1}
Aumento de la distancia a la Tierra	$\sim$4 m/siglo

Traslación y rotación

Duración media de los meses:

mes sinódico (luna nueva)	$29^d,530\,5884$	$29^d12^h44^m02^s,8$
mes sidéreo (estrella a estrella)	$27^d,321\,6616$	$27^d07^h43^m11^s,6$
mes anomalístico (perigeo)	$27^d,554\,5501$	$27^d13^h18^m33^s,1$
mes trópico (equinoccio)	$27^d,321\,5823$	$27^d07^h43^m04^s,7$
mes draconítico (nodo)	$27^d,212\,220$	$27^d05^h05^m35^s,8$

Algunos periodos de interés:

periodo de rotación del perigeo 3232 días
periodo de retrogradación del nodo 6798 días = 18,61 años trópicos
año eclíptico (pasos sucesivos del Sol por el nodo lunar): $346^d,620\,05$
periodo Saros = 223 meses sinódicos = 19 años eclípticos
= 6585,32 días = 18,030 01 años trópicos

Libraciones:

Desplazamiento máximo: en longitud: $7^\circ,9$ (periodo=mes anomalístico)
en latitud: $6^\circ,8$ (periodo=mes draconítico)
diurna: $1^\circ,0$
Desplazamiento medio:
libración óptica en longitud: $6^\circ,15$
libración óptica en latitud: $6^\circ,69$
libración física en longitud: $0^\circ,025$
libración física en latitud: $0^\circ,04$

Datos físicos

			en unidades terrestres
Radio ecuatorial	$\mathcal{R}_\mathbb{(}$	= 1738,14 km	0,2725 $\mathcal{R}_\oplus$
Radio medio		1737,42 km	
Superficie		3,788 10^7 km^2	0,0743
Volumen		2,199 10^{10} km^3	0,0203

Masa	$\mathcal{M}_{(} = 7{,}3460\ 10^{22}$ kg	$0{,}0123\ \mathcal{M}_{\oplus}$
Densidad media	$3{,}344$ g cm^{-3}	0,6063
Constante gravitatoria	$G\,\mathcal{M}_{(} = 4{,}902\,800\ 10^{12}$ m^3 s^{-2}	0,012 300 0371
Gravedad superficial	$1{,}623$ m s^{-2}	0,1652
Velocidad de escape	$2{,}375$ km s^{-1}	0,2123
Momento de inercia	$0{,}394\ \mathcal{M}_{(}\mathcal{R}_{(}^2$	
Momento gravitatorio J_2	$202{,}7\ 10^{-6}$	

Datos fotométricos

Albedo	0,12
Magnitud aparente en su oposición media:	V$= -12{,}74$
	B$= -11{,}82$
Magnitud visual V(1,0) a 1 ua	+0,21
Temperaturas medias: noche	104 K = -169 °C
día	365 K = 92 °C
ondas radio	$\sim$200 K
equivalente	395 K = 122 °C
del cuerpo negro	274,5 K

Coordenadas topocéntricas de la Luna

Las *coordenadas topocéntricas* se refieren a un sistema de coordenadas (ecuatoriales, etc) cuyo origen se encuentra en un punto de la superficie de la Tierra. Para un astro cercano, como es la Luna, puede haber una diferencia apreciable entre las coordenadas calculadas (tabuladas) para el centro de la Tierra (*geocéntricas*) y las que necesita o mide un observador (*topocéntricas*). En el caso de la Luna esta diferencia puede superar 1°.

Las coordenadas ecuatoriales topocéntricas de la Luna pueden obtenerse de manera precisa realizando unos simples cálculos a partir de las coordenadas geocéntricas que figuran en las tablas de las páginas siguientes. Sean λ_E la longitud (en horas) y ϕ la latitud (en grados) del lugar considerado y sea TU el instante de tiempo para el que se desea realizar el cálculo:

1) Se determina el tiempo sidéreo local, expresado en grados, para lo que hay que consultar el tiempo sidéreo en Greenwich en *TIEMPOS*:

$$\theta = 15\ (\text{ tiempo sidéreo en Greenwich a } 0^{\text{h}} + \lambda_E\ +\ 1{,}003\ TU\ )$$

2) Se determinan por interpolación de, al menos, 3$^{\text{er}}$ grado en las tablas de la Luna las coordenadas geocéntricas de ésta ($\alpha_{(}$, $\delta_{(}$) y la distancia r (en radios terrestres) para el instante TU considerado.

3) Se determinan las coordenadas rectangulares topocéntricas, a partir de las geocéntricas $\alpha_{(}$ y $\delta_{(}$ (expresadas en grados) y la distancia r (en radios terrestres) antes calculadas:

$$x = r \cos \delta_{(} \cos \alpha_{(} - \cos \phi \cos \theta$$
$$y = r \cos \delta_{(} \operatorname{sen} \alpha_{(} - \cos \phi \operatorname{sen} \theta$$
$$z = r \operatorname{sen} \delta_{(} - \operatorname{sen} \phi$$

4) Se determina la distancia topocéntrica:

$$r_t = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

que viene expresada en radios terrestres.

5) Las coordenadas topocéntricas α_t y δ_t y el semidiámetro s_t vienen dados por:

$$\alpha_t = \arctan(y/x) \ \ (\text{aprox. mismo cuadrante que } \alpha_{(})$$
$$\delta_t = \operatorname{arcsen}(z/r_t)$$
$$s_t = \frac{937'}{r_t}$$

Si se admiten errores de hasta $1'$, los cálculos 3), 4) y 5) pueden ser sustituidos por:

$$\alpha_t = \alpha_{(} - \frac{57{,}^{\circ}30}{r} \frac{\cos \phi \operatorname{sen}(\theta - \alpha_{(})}{\cos \delta_{(}}$$
$$\delta_t = \delta_{(} - \frac{57{,}^{\circ}30}{r} [\cos \delta_{(} \operatorname{sen} \phi - \operatorname{sen} \delta_{(} \cos \phi \cos(\theta - \alpha_{(})]$$

Efemérides de la Luna para 2020

En páginas siguientes se encuentran las efemérides de la Luna para este año día a día. Los instantes de salida y puesta del borde superior de la Luna (*Orto* y *Ocaso*) han sido calculados para Madrid, corrigiendo por paralaje, por un valor medio de la refracción y prescindiendo del relieve en el horizonte. Se indica también, en la columna *Culminación*, el instante de paso del centro del disco lunar por el meridiano de Madrid. La ausencia de la salida, culminación o puesta de la Luna en día dado se indica en las tablas con el símbolo **. Para conocer el tiempo oficial, puede ser necesario sumar una o dos horas al valor obtenido de la tabla. En páginas posteriores se explica cómo calcular el orto, el ocaso y la culminación de la Luna en cualquier otro lugar de España (véanse los apartados **Ortos y ocasos de la Luna** y **Paso de la Luna por el meridiano**).

En las dos columnas centrales se indica la posición aparente geocéntrica de la Luna a las 0^h de TU, expresada en coordenadas ecuatoriales, **ascensión recta** y **declinación**. La determinación de tales coordenadas para un instante cualquiera se debe realizar con una interpolación de, al menos, 3^{er} grado dada la complejidad del movimiento de la Luna (ver el apartado **Interpolación** en la sección *TABLAS*). Con una interpolación de 4^{to} grado los errores pueden llegar a ser de algunos segundos de arco en ambas coordenadas y con una interpolación de 3^{er} grado pueden llegar hasta los $10''$, aunque el error típico es de unos $2''$. Con una interpolación de sólo segundo grado los errores pueden exceder $1'$.

En la última columna figura la distancia al centro de la Tierra expresada en radios terrestres ($1\ \mathcal{R}_\oplus = 6378{,}14$ km). En este caso una interpolación de 3^{er} grado bastará para obtener la distancia con una precisión de unos 2 km ($0{,}0003\mathcal{R}_\oplus$).

Valores extremos en los siglos XX y XXI

Intervalos menor y mayor entre lunas nuevas consecutivas: $29^d{,}274$ y $29^d{,}829$

Intervalos menor y mayor entre perigeos sucesivos: $24^d{,}65$ y $28^d{,}54$

Intervalos menor y mayor entre dos apogeos sucesivos: $26^d{,}98$ y $27^d{,}90$

Valores extremos entre los que varía el perigeo lunar:

356 375 y 370 350 km

Valores extremos entre los que varía el apogeo lunar:

404 050 y 406 712 km

LUNA Enero 2020

Día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1 M	11 38	17 20	23 10	23 16 40,5	−09 58 29	63,3253
2 J	12 03	18 01	** **	00 01 01,7	−05 33 26	63,4381
3 V	12 27	18 42	0 08	00 44 39,1	−00 56 35	63,3478
4 S	12 52	19 24	1 06	01 28 25,1	+03 43 58	63,0523
5 D	13 19	20 07	2 05	02 13 14,2	+08 19 49	62,5646
6 L	13 49	20 54	3 06	03 00 00,2	+12 41 15	61,9159
7 M	14 24	21 44	4 09	03 49 31,6	+16 36 22	61,1513
8 M	15 05	22 38	5 13	04 42 23,6	+19 50 34	60,3280
9 J	15 55	23 36	6 17	05 38 44,5	+22 07 20	59,5104
10 V	16 54	** **	7 18	06 38 03,4	+23 10 32	58,7636
11 S	18 00	0 35	8 14	07 39 07,6	+22 48 26	58,1451
12 D	19 11	1 35	9 03	08 40 19,9	+20 57 44	57,6966
13 L	20 24	2 33	9 45	09 40 11,7	+17 45 18	57,4400
14 M	21 38	3 28	10 21	10 37 50,8	+13 26 29	57,3750
15 M	22 49	4 21	10 54	11 33 09,0	+08 21 20	57,4820
16 J	** **	5 12	11 24	12 26 33,1	+02 50 57	57,7290
17 V	0 00	6 02	11 55	13 18 49,6	−02 44 42	58,0787
18 S	1 10	6 52	12 26	14 10 51,3	−08 07 24	58,4971
19 D	2 19	7 43	12 59	15 03 26,4	−13 00 42	58,9578
20 L	3 27	8 35	13 37	15 57 09,2	−17 09 35	59,4435
21 M	4 33	9 28	14 19	16 52 11,2	−20 20 46	59,9450
22 M	5 36	10 22	15 08	17 48 15,3	−22 23 50	60,4584
23 J	6 32	11 17	16 02	18 44 36,7	−23 12 42	60,9807
24 V	7 22	12 09	17 00	19 40 14,7	−22 46 59	61,5057
25 S	8 04	13 00	18 00	20 34 11,3	−21 12 01	62,0210
26 D	8 40	13 48	19 00	21 25 47,7	−18 37 33	62,5067
27 L	9 12	14 33	20 00	22 14 52,0	−15 15 37	62,9359
28 M	9 39	15 16	20 59	23 01 36,4	−11 18 32	63,2772
29 M	10 05	15 57	21 57	23 46 31,1	−06 57 41	63,4970
30 J	10 29	16 38	22 54	00 30 17,1	−02 23 07	63,5640
31 V	10 53	17 18	23 52	01 13 41,7	+02 16 19	63,4538

Cuarto creciente	$03^d\,04^h45^m$
Luna llena	$10^d\,19^h21^m$
Cuarto menguante	$17^d\,12^h58^m$
Luna nueva	$24^d\,21^h42^m$

Apogeo	$2^d\,02^h$
Perigeo	$13^d\,21^h$
Apogeo	$29^d\,22^h$

LUNA Febrero 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	S	11 19	18 00	** **	01 57 36,0	+06 52 13	63,1512
2	D	11 47	18 45	0 52	02 42 52,4	+11 15 53	62,6549
3	L	12 18	19 32	1 52	03 30 22,1	+15 17 21	61,9794
4	M	12 56	20 23	2 55	04 20 50,0	+18 44 30	61,1564
5	M	13 41	21 18	3 58	05 14 44,6	+21 22 55	60,2353
6	J	14 34	22 16	5 00	06 12 05,3	+22 56 44	59,2810
7	V	15 37	23 16	5 58	07 12 11,3	+23 11 16	58,3681
8	S	16 47	** **	6 51	08 13 44,0	+21 57 09	57,5753
9	D	18 01	0 16	7 37	09 15 09,3	+19 14 13	56,9725
10	L	19 17	1 15	8 17	10 15 09,5	+15 12 50	56,6111
11	M	20 33	2 11	8 52	11 13 05,6	+10 11 51	56,5156
12	M	21 47	3 04	9 24	12 08 59,3	+04 34 43	56,6787
13	J	22 59	3 56	9 56	13 03 21,9	−01 14 25	57,0666
14	V	** **	4 48	10 27	13 56 57,9	−06 53 19	57,6258
15	S	0 11	5 39	11 00	14 50 32,4	−12 02 44	58,2961
16	D	1 20	6 31	11 37	15 44 40,5	−16 26 35	59,0194
17	L	2 27	7 25	12 18	16 39 38,4	−19 52 01	59,7477
18	M	3 30	8 18	13 04	17 35 17,9	−22 09 36	60,4464
19	M	4 28	9 12	13 56	18 31 07,1	−23 14 03	61,0940
20	J	5 19	10 05	14 52	19 26 18,1	−23 04 49	61,6797
21	V	6 03	10 55	15 51	20 20 01,9	−21 46 09	62,1997
22	S	6 41	11 43	16 51	21 11 42,0	−19 26 14	62,6526
23	D	7 13	12 29	17 51	22 01 03,2	−16 15 47	63,0363
24	L	7 42	13 13	18 50	22 48 11,2	−12 26 25	63,3447
25	M	8 08	13 54	19 49	23 33 28,7	−08 09 35	63,5669
26	M	8 32	14 35	20 46	00 17 29,4	−03 35 58	63,6865
27	J	8 56	15 16	21 44	01 00 53,9	+01 04 42	63,6844
28	V	9 21	15 57	22 42	01 44 26,4	+05 43 15	63,5404
29	S	9 47	16 40	23 42	02 28 53,4	+10 10 45	63,2378

Cuarto creciente	$02^d\,01^h42^m$
Luna llena	$09^d\,07^h33^m$
Cuarto menguante	$15^d\,22^h17^m$
Luna nueva	$23^d\,15^h32^m$

Perigeo	$10^d\,21^h$
Apogeo	$26^d\,12^h$

LUNA Marzo 2020

Día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1 D	10 16	17 25	** **	03 15 01,1	+14 17 42	62,7666
2 L	10 50	18 13	0 42	04 03 32,1	+17 53 31	62,1270
3 M	11 31	19 05	1 44	04 54 59,3	+20 45 58	61,3337
4 M	12 19	20 00	2 45	05 49 36,6	+22 41 30	60,4190
5 J	13 16	20 58	3 43	06 47 08,7	+23 26 22	59,4327
6 V	14 21	21 57	4 37	07 46 47,5	+22 49 18	58,4418
7 S	15 33	22 55	5 25	08 47 21,0	+20 44 53	57,5254
8 D	16 48	23 53	6 08	09 47 35,6	+17 16 14	56,7671
9 L	18 05	** **	6 45	10 46 39,5	+12 35 45	56,2415
10 M	19 22	0 48	7 19	11 44 15,0	+07 03 34	56,0025
11 M	20 38	1 43	7 52	12 40 35,0	+01 04 26	56,0714
12 J	21 53	2 36	8 24	13 36 11,9	−04 55 40	56,4336
13 V	23 07	3 30	8 58	14 31 42,9	−10 32 17	57,0422
14 S	** **	4 24	9 34	15 27 37,8	−15 24 34	57,8286
15 D	0 18	5 18	10 15	16 24 08,9	−19 16 14	58,7164
16 L	1 24	6 13	11 00	17 21 04,9	−21 56 21	59,6321
17 M	2 25	7 08	11 51	18 17 52,3	−23 19 32	60,5154
18 M	3 18	8 01	12 46	19 13 43,9	−23 26 02	61,3211
19 J	4 04	8 53	13 45	20 07 54,0	−22 20 51	62,0210
20 V	4 43	9 41	14 44	20 59 50,7	−20 12 38	62,6010
21 S	5 16	10 27	15 44	21 49 23,0	−17 11 53	63,0581
22 D	5 46	11 11	16 43	22 36 39,7	−13 29 50	63,3963
23 L	6 12	11 53	17 42	23 22 04,3	−09 17 24	63,6222
24 M	6 36	12 34	18 40	00 06 10,2	−04 45 01	63,7418
25 M	7 00	13 14	19 38	00 49 35,9	−00 02 34	63,7575
26 J	7 24	13 55	20 36	01 33 02,8	+04 40 25	63,6680
27 V	7 50	14 38	21 35	02 17 12,7	+09 14 23	63,4679
28 S	8 18	15 22	22 35	03 02 46,8	+13 29 26	63,1487
29 D	8 50	16 08	23 36	03 50 22,2	+17 14 57	62,7026
30 L	9 27	16 58	** **	04 40 27,3	+20 19 25	62,1251
31 M	10 11	17 51	0 36	05 33 15,4	+22 30 40	61,4196

Cuarto creciente	$02^d\ 19^h57^m$
Luna llena	$09^d\ 17^h48^m$
Cuarto menguante	$16^d\ 09^h34^m$
Luna nueva	$24^d\ 09^h28^m$

Perigeo	$10^d\ 07^h$
Apogeo	$24^d\ 16^h$

LUNA Abril 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	M	11 02	18 46	1 34	06 28 37,4	+23 36 40	60,6012
2	J	12 02	19 42	2 28	07 25 58,9	+23 27 12	59,7003
3	V	13 09	20 39	3 17	08 24 26,2	+21 56 04	58,7640
4	S	14 21	21 35	4 00	09 23 01,3	+19 03 01	57,8554
5	D	15 36	22 31	4 39	10 20 60,0	+14 54 53	57,0495
6	L	16 52	23 25	5 14	11 18 04,1	+09 45 33	56,4239
7	M	18 09	** **	5 46	12 14 22,4	+03 54 46	56,0477
8	M	19 26	0 19	6 18	13 10 23,1	−02 13 23	55,9670
9	J	20 42	1 13	6 51	14 06 42,0	−08 12 53	56,1960
10	V	21 58	2 09	7 27	15 03 49,5	−13 38 14	56,7115
11	S	23 09	3 05	8 07	16 01 57,8	−18 07 14	57,4597
12	D	** **	4 02	8 52	17 00 51,5	−21 23 20	58,3655
13	L	0 15	4 59	9 42	17 59 47,0	−23 17 19	59,3471
14	M	1 13	5 55	10 38	18 57 43,5	−23 47 50	60,3263
15	M	2 03	6 48	11 36	19 53 42,0	−23 00 19	61,2387
16	J	2 45	7 39	12 37	20 47 02,8	−21 04 46	62,0355
17	V	3 20	8 26	13 37	21 37 33,5	−18 13 14	62,6864
18	S	3 50	9 10	14 37	22 25 25,9	−14 37 53	63,1770
19	D	4 17	9 52	15 35	23 11 08,7	−10 29 59	63,5066
20	L	4 41	10 33	16 33	23 55 20,5	−05 59 48	63,6834
21	M	5 05	11 14	17 31	00 38 44,1	−01 16 49	63,7224
22	M	5 29	11 55	18 29	01 22 03,7	+03 29 45	63,6398
23	J	5 54	12 36	19 29	02 06 02,9	+08 10 24	63,4517
24	V	6 21	13 20	20 29	02 51 23,0	+12 34 59	63,1698
25	S	6 51	14 06	21 30	03 38 39,8	+16 32 24	62,8025
26	D	7 26	14 55	22 31	04 28 19,3	+19 50 40	62,3531
27	L	8 08	15 47	23 30	05 20 31,3	+22 17 23	61,8230
28	M	8 56	16 40	** **	06 15 03,4	+23 40 47	61,2141
29	M	9 53	17 35	0 25	07 11 19,3	+23 51 21	60,5325
30	J	10 56	18 31	1 15	08 08 26,3	+22 43 34	59,7925

Cuarto creciente	$01^d\ 10^h21^m$
Luna llena	$08^d\ 02^h35^m$
Cuarto menguante	$14^d\ 22^h56^m$
Luna nueva	$23^d\ 02^h26^m$
Cuarto creciente	$30^d\ 20^h38^m$

Perigeo	$7^d\ 18^h$
Apogeo	$20^d\ 19^h$

LUNA Mayo 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	V	12 04	19 25	1 58	09 05 30,0	+20 17 16	59,0197
2	S	13 15	20 19	2 37	10 01 51,0	+16 37 54	58,2539
3	D	14 28	21 11	3 11	10 57 15,7	+11 56 07	57,5474
4	L	15 43	22 04	3 43	11 51 56,8	+06 27 04	56,9615
5	M	16 58	22 57	4 14	12 46 27,2	+00 29 48	56,5590
6	M	18 14	23 51	4 46	13 41 30,0	−05 33 26	56,3925
7	J	19 30	** **	5 19	14 37 46,5	−11 18 08	56,4938
8	V	20 46	0 47	5 57	15 35 42,5	−16 19 35	56,8661
9	S	21 57	1 45	6 39	16 35 14,9	−20 15 46	57,4813
10	D	23 01	2 44	7 28	17 35 42,7	−22 50 42	58,2846
11	L	23 56	3 42	8 24	18 35 53,4	−23 57 12	59,2043
12	M	** **	4 39	9 23	19 34 24,9	−23 37 32	60,1626
13	M	0 42	5 32	10 25	20 30 12,5	−22 01 24	61,0863
14	J	1 21	6 21	11 27	21 22 45,6	−19 22 24	61,9131
15	V	1 53	7 07	12 27	22 12 08,3	−15 54 51	62,5965
16	S	2 21	7 50	13 27	22 58 49,5	−11 51 47	63,1076
17	D	2 46	8 32	14 25	23 43 31,8	−07 24 20	63,4334
18	L	3 10	9 12	15 23	00 27 04,0	−02 42 09	63,5760
19	M	3 33	9 53	16 21	01 10 16,4	+02 05 58	63,5490
20	M	3 57	10 34	17 20	01 53 58,4	+06 51 10	63,3745
21	J	4 23	11 17	18 21	02 38 56,8	+11 23 51	63,0795
22	V	4 53	12 03	19 22	03 25 52,8	+15 33 05	62,6920
23	S	5 26	12 51	20 24	04 15 17,2	+19 06 33	62,2377
24	D	6 06	13 43	21 25	05 07 23,2	+21 50 56	61,7386
25	L	6 53	14 36	22 22	06 01 58,6	+23 33 14	61,2099
26	M	7 47	15 31	23 14	06 58 23,0	+24 02 54	60,6627
27	M	8 48	16 27	23 59	07 55 35,3	+23 13 54	60,1035
28	J	9 54	17 21	** **	08 52 31,2	+21 06 15	59,5394
29	V	11 04	18 14	0 39	09 48 23,0	+17 46 01	58,9800
30	S	12 14	19 05	1 13	10 42 52,6	+13 23 58	58,4420
31	D	13 26	19 56	1 45	11 36 12,1	+08 14 16	57,9516

Luna llena	$07^d\ 10^h45^m$
Cuarto menguante	$14^d\ 14^h03^m$
Luna nueva	$22^d\ 17^h39^m$
Cuarto creciente	$30^d\ 03^h30^m$

Perigeo	$6^d\ 03^h$
Apogeo	$18^d\ 08^h$

LUNA Junio 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	L	14 38	20 46	2 15	12 28 57,0	+02 33 20	57,5430
2	M	15 52	21 38	2 44	13 21 56,2	−03 20 18	57,2568
3	M	17 06	22 32	3 15	14 16 01,8	−09 06 10	57,1330
4	J	18 21	23 28	3 50	15 11 57,0	−14 22 07	57,2031
5	V	19 34	** **	4 29	16 10 01,7	−18 45 48	57,4829
6	S	20 42	0 26	5 15	17 09 58,8	−21 57 26	57,9663
7	D	21 43	1 26	6 07	18 10 48,3	−23 43 32	58,6240
8	L	22 35	2 24	7 06	19 11 00,5	−23 59 53	59,4067
9	M	23 17	3 20	8 08	20 09 05,6	−22 51 60	60,2527
10	M	23 53	4 12	9 12	21 04 03,1	−20 32 26	61,0957
11	J	** **	5 01	10 14	21 55 33,5	−17 16 48	61,8713
12	V	0 23	5 46	11 16	22 43 53,1	−13 20 20	62,5259
13	S	0 49	6 28	12 15	23 29 40,8	−08 56 13	63,0183
14	D	1 14	7 09	13 13	00 13 46,6	−04 15 22	63,3222
15	L	1 37	7 50	14 11	00 57 04,5	+00 33 03	63,4287
16	M	2 01	8 31	15 10	01 40 29,1	+05 20 34	63,3426
17	M	2 26	9 13	16 10	02 24 53,4	+09 58 28	63,0830
18	J	2 53	9 57	17 11	03 11 06,3	+14 16 52	62,6796
19	V	3 25	10 45	18 13	03 59 48,6	+18 04 06	62,1701
20	S	4 02	11 36	19 15	04 51 25,1	+21 06 48	61,5948
21	D	4 47	12 29	20 15	05 45 54,8	+23 10 45	60,9946
22	L	5 40	13 25	21 09	06 42 43,6	+24 03 07	60,4045
23	M	6 40	14 21	21 58	07 40 47,2	+23 35 22	59,8526
24	M	7 46	15 17	22 40	08 38 47,8	+21 45 40	59,3572
25	J	8 55	16 11	23 16	09 35 39,7	+18 39 40	58,9282
26	V	10 06	17 03	23 48	10 30 48,1	+14 29 03	58,5679
27	S	11 17	17 53	** **	11 24 14,3	+09 29 15	58,2771
28	D	12 27	18 42	0 18	12 16 28,7	+03 57 25	58,0562
29	L	13 39	19 32	0 47	13 08 19,7	−01 48 35	57,9112
30	M	14 50	20 24	1 16	14 00 43,2	−07 30 21	57,8528

Luna llena	$05^d\,19^h12^m$
Cuarto menguante	$13^d\,06^h24^m$
Luna nueva	$21^d\,06^h41^m$
Cuarto creciente	$28^d\,08^h16^m$

Perigeo	$3^d\,04^h$
Apogeo	$15^d\,01^h$
Perigeo	$30^d\,02^h$

LUNA Julio 2020

Día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1 M	16 03	21 17	1 48	14 54 31,4	−12 48 47	57,8967
2 J	17 15	22 13	2 24	15 50 21,5	−17 24 14	58,0590
3 V	18 24	23 11	3 06	16 48 21,4	−20 57 49	58,3517
4 S	19 28	** **	3 55	17 47 58,7	−23 13 58	58,7772
5 D	20 24	0 09	4 50	18 48 01,6	−24 03 43	59,3246
6 L	21 11	1 06	5 51	19 46 58,6	−23 27 02	59,9680
7 M	21 50	2 01	6 55	20 43 29,6	−21 32 25	60,6683
8 M	22 22	2 52	7 59	21 36 48,9	−18 33 59	61,3776
9 J	22 51	3 39	9 02	22 26 50,9	−14 47 44	62,0425
10 V	23 16	4 23	10 03	23 14 00,2	−10 28 38	62,6130
11 S	23 40	5 05	11 02	23 59 00,1	−05 49 30	63,0436
12 D	** **	5 46	12 00	00 42 42,2	−01 00 50	63,3004
13 L	0 03	6 26	12 58	01 26 01,2	+03 48 22	63,3628
14 M	0 27	7 07	13 57	02 09 52,2	+08 29 41	63,2242
15 M	0 53	7 51	14 57	02 55 08,5	+12 54 18	62,8939
16 J	1 23	8 37	15 59	03 42 38,5	+16 51 55	62,3962
17 V	1 58	9 26	17 01	04 32 59,7	+20 10 25	61,7686
18 S	2 39	10 18	18 02	05 26 28,7	+22 35 51	61,0588
19 D	3 29	11 14	19 00	06 22 51,0	+23 54 03	60,3214
20 L	4 27	12 11	19 51	07 21 15,1	+23 53 18	59,6110
21 M	5 32	13 08	20 37	08 20 22,6	+22 27 46	58,9777
22 M	6 42	14 04	21 16	09 18 52,5	+19 39 50	58,4601
23 J	7 54	14 58	21 50	10 15 47,1	+15 39 56	58,0820
24 V	9 07	15 50	22 21	11 10 46,7	+10 44 27	57,8512
25 S	10 19	16 40	22 50	12 04 07,0	+05 12 39	57,7611
26 D	11 30	17 30	23 20	12 56 28,5	−00 35 29	57,7949
27 L	12 41	18 20	23 50	13 48 43,5	−06 20 27	57,9318
28 M	13 53	19 12	** **	14 41 45,2	−11 43 25	58,1533
29 M	15 04	20 06	0 24	15 36 16,7	−16 26 21	58,4441
30 J	16 13	21 02	1 03	16 32 39,1	−20 12 16	58,7966
31 V	17 17	21 59	1 48	17 30 40,6	−22 46 40	59,2066

Luna llena	$05^d\,04^h44^m$
Cuarto menguante	$12^d\,23^h29^m$
Luna nueva	$20^d\,17^h33^m$
Cuarto creciente	$27^d\,12^h33^m$

Apogeo	$12^d\,19^h$
Perigeo	$25^d\,05^h$

LUNA Agosto 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	S	18 15	22 56	2 40	18 29 32,5	−23 59 45	59,6720
2	D	19 04	23 51	3 39	19 27 59,7	−23 48 35	60,1877
3	L	19 46	** **	4 41	20 24 44,2	−22 17 55	60,7436
4	M	20 21	0 43	5 45	21 18 49,5	−19 38 52	61,3208
5	M	20 51	1 32	6 48	22 09 53,1	−16 05 59	61,8924
6	J	21 17	2 17	7 50	22 58 04,4	−11 54 27	62,4244
7	V	21 42	3 00	8 50	23 43 54,9	−07 18 13	62,8794
8	S	22 05	3 41	9 49	00 28 08,6	−02 29 16	63,2188
9	D	22 29	4 22	10 47	01 11 35,3	+02 22 14	63,4085
10	L	22 54	5 03	11 46	01 55 06,6	+07 07 18	63,4217
11	M	23 21	5 45	12 45	02 39 34,6	+11 37 15	63,2422
12	M	23 53	6 29	13 45	03 25 48,5	+15 42 51	62,8677
13	J	** **	7 16	14 46	04 14 31,4	+19 13 29	62,3106
14	V	0 31	8 06	15 47	05 06 12,6	+21 56 51	61,6002
15	S	1 16	9 00	16 46	06 00 57,6	+23 39 26	60,7804
16	D	2 10	9 56	17 40	06 58 18,9	+24 08 18	59,9096
17	L	3 13	10 54	18 29	07 57 16,8	+23 14 01	59,0544
18	M	4 22	11 51	19 11	08 56 33,4	+20 53 52	58,2832
19	M	5 35	12 47	19 48	09 54 58,3	+17 13 41	57,6591
20	J	6 49	13 41	20 21	10 51 50,7	+12 27 20	57,2289
21	V	8 04	14 33	20 51	11 47 05,7	+06 54 25	57,0185
22	S	9 18	15 25	21 21	12 41 08,6	+00 57 19	57,0281
23	D	10 31	16 16	21 52	13 34 42,2	−05 01 10	57,2357
24	L	11 44	17 09	22 25	14 28 34,7	−10 39 23	57,6035
25	M	12 56	18 03	23 03	15 23 27,2	−15 37 38	58,0862
26	M	14 06	18 58	23 45	16 19 42,7	−19 38 45	58,6404
27	J	15 11	19 54	** **	17 17 16,3	−22 28 56	59,2289
28	V	16 10	20 50	0 35	18 15 30,9	−23 59 09	59,8251
29	S	17 01	21 45	1 31	19 13 25,1	−24 06 23	60,4113
30	D	17 45	22 37	2 31	20 09 51,0	−22 54 18	60,9777
31	L	18 21	23 26	3 34	21 03 55,8	−20 32 10	61,5181

Luna llena	$03^d\ 15^h59^m$
Cuarto menguante	$11^d\ 16^h45^m$
Luna nueva	$19^d\ 02^h42^m$
Cuarto creciente	$25^d\ 17^h58^m$

Apogeo	$9^d\ 14^h$
Perigeo	$21^d\ 11^h$

LUNA Setiembre 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	M	18 52	** **	4 37	21 55 14,1	−17 12 52	62,0261
2	M	19 20	0 13	5 39	22 43 48,9	−13 10 33	62,4922
3	J	19 44	0 56	6 40	23 30 04,4	−08 38 59	62,9022
4	V	20 08	1 38	7 39	00 14 38,0	−03 50 38	63,2369
5	S	20 31	2 19	8 38	00 58 13,5	+01 03 24	63,4726
6	D	20 55	2 59	9 36	01 41 37,5	+05 53 14	63,5835
7	L	21 22	3 40	10 35	02 25 37,0	+10 29 36	63,5455
8	M	21 51	4 23	11 34	03 10 57,3	+14 43 17	63,3389
9	M	22 26	5 09	12 35	03 58 19,3	+18 24 23	62,9523
10	J	23 06	5 57	13 35	04 48 14,5	+21 22 03	62,3864
11	V	23 55	6 48	14 33	05 40 57,5	+23 24 22	61,6560
12	S	** **	7 42	15 28	06 36 18,2	+24 19 23	60,7933
13	D	0 53	8 38	16 18	07 33 38,6	+23 56 50	59,8479
14	L	1 58	9 35	17 03	08 31 59,5	+22 10 49	58,8841
15	M	3 09	10 31	17 42	09 30 17,8	+19 01 58	57,9783
16	M	4 24	11 26	18 16	10 27 46,9	+14 38 36	57,2094
17	J	5 39	12 20	18 48	11 24 09,1	+09 16 15	56,6482
18	V	6 56	13 13	19 19	12 19 36,1	+03 16 00	56,3463
19	S	8 12	14 06	19 50	13 14 40,3	−02 57 43	56,3261
20	D	9 28	15 00	20 23	14 10 03,2	−08 59 31	56,5771
21	L	10 43	15 55	21 00	15 06 21,7	−14 25 13	57,0603
22	M	11 56	16 52	21 42	16 03 55,8	−18 53 43	57,7165
23	M	13 05	17 49	22 30	17 02 37,7	−22 08 46	58,4798
24	J	14 07	18 46	23 25	18 01 47,9	−24 00 25	59,2861
25	V	15 00	19 42	** **	19 00 23,5	−24 25 54	60,0827
26	S	15 46	20 34	0 24	19 57 18,0	−23 29 31	60,8304
27	D	16 24	21 24	1 27	20 51 41,2	−21 21 01	61,5047
28	L	16 56	22 10	2 30	21 43 11,1	−18 13 11	62,0932
29	M	17 24	22 54	3 32	22 31 53,5	−14 19 43	62,5911
30	M	17 49	23 36	4 32	23 18 14,0	−09 53 50	62,9988

Luna llena	$02^d\ 05^h22^m$
Cuarto menguante	$10^d\ 09^h26^m$
Luna nueva	$17^d\ 11^h00^m$
Cuarto creciente	$24^d\ 01^h55^m$

Apogeo	$6^d\ 06^h$
Perigeo	$18^d\ 14^h$

LUNA Octubre 2020

Día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1 J	18 12	** **	5 32	00 02 50,0	−05 07 40	63,3171
2 V	18 35	0 17	6 31	00 46 24,4	−00 12 17	63,5441
3 S	18 59	0 57	7 29	01 29 41,7	+04 42 06	63,6745
4 D	19 24	1 38	8 28	02 13 25,8	+09 25 39	63,6984
5 L	19 52	2 21	9 27	02 58 18,2	+13 48 36	63,6025
6 M	20 24	3 05	10 27	03 44 55,7	+17 40 49	63,3722
7 M	21 02	3 52	11 26	04 33 46,0	+20 51 43	62,9953
8 J	21 47	4 41	12 25	05 25 02,7	+23 10 17	62,4645
9 V	22 39	5 33	13 20	06 18 39,1	+24 25 47	61,7829
10 S	23 39	6 27	14 11	07 14 06,3	+24 28 59	60,9662
11 D	** **	7 21	14 56	08 10 38,3	+23 13 46	60,0468
12 L	0 46	8 16	15 36	09 07 24,1	+20 38 45	59,0746
13 M	1 57	9 10	16 12	10 03 44,5	+16 48 11	58,1160
14 M	3 11	10 04	16 44	10 59 23,4	+11 52 12	57,2498
15 J	4 27	10 57	17 15	11 54 30,0	+06 06 38	56,5572
16 V	5 43	11 50	17 45	12 49 34,8	−00 07 43	56,1104
17 S	7 01	12 44	18 18	13 45 19,2	−06 26 03	55,9586
18 D	8 19	13 40	18 54	14 42 23,4	−12 21 25	56,1183
19 L	9 36	14 39	19 34	15 41 11,3	−17 27 26	56,5684
20 M	10 50	15 38	20 22	16 41 35,9	−21 21 32	57,2564
21 M	11 57	16 38	21 16	17 42 51,1	−23 48 23	58,1094
22 J	12 56	17 35	22 15	18 43 39,5	−24 42 07	59,0469
23 V	13 45	18 30	23 18	19 42 36,5	−24 06 33	59,9942
24 S	14 26	19 22	** **	20 38 38,8	−22 12 41	60,8890
25 D	15 00	20 09	0 22	21 31 19,1	−19 15 12	61,6863
26 L	15 29	20 54	1 25	22 20 44,6	−15 29 12	62,3578
27 M	15 54	21 36	2 26	23 07 26,4	−11 08 34	62,8911
28 M	16 18	22 16	3 25	23 52 08,1	−06 25 23	63,2852
29 J	16 40	22 57	4 24	00 35 37,5	−01 30 19	63,5467
30 V	17 03	23 37	5 22	01 18 43,2	+03 26 47	63,6862
31 S	17 28	** **	6 21	02 02 11,4	+08 16 18	63,7151

Luna llena	$01^d\,21^h05^m$
Cuarto menguante	$10^d\,00^h40^m$
Luna nueva	$16^d\,19^h31^m$
Cuarto creciente	$23^d\,13^h23^m$
Luna llena	$31^d\,14^h49^m$

Apogeo	$3^d\,17^h$
Perigeo	$16^d\,24^h$
Apogeo	$30^d\,18^h$

LUNA Noviembre 2020

Día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1 D	17 55	0 19	7 20	02 46 45,1	+12 48 20	63,6410
2 L	18 25	1 03	8 20	03 33 00,7	+16 52 21	63,4681
3 M	19 01	1 49	9 20	04 21 24,8	+20 17 12	63,1960
4 M	19 43	2 37	10 20	05 12 08,3	+22 51 31	62,8208
5 J	20 33	3 28	11 16	06 05 01,5	+24 24 35	62,3371
6 V	21 29	4 21	12 08	06 59 32,7	+24 47 35	61,7430
7 S	22 32	5 14	12 54	07 54 54,5	+23 55 12	61,0420
8 D	23 39	6 08	13 34	08 50 17,1	+21 46 24	60,2487
9 L	** **	7 00	14 10	09 45 03,7	+18 24 56	59,3919
10 M	0 50	7 52	14 42	10 39 01,0	+13 58 45	58,5159
11 M	2 02	8 43	15 12	11 32 21,5	+08 39 43	57,6814
12 J	3 15	9 34	15 41	12 25 39,5	+02 43 29	56,9594
13 V	4 31	10 26	16 12	13 19 43,0	−03 30 22	56,4235
14 S	5 48	11 21	16 45	14 15 23,5	−09 38 17	56,1376
15 D	7 06	12 19	17 23	15 13 22,4	−15 13 41	56,1430
16 L	8 24	13 19	18 08	16 13 52,8	−19 49 37	56,4481
17 M	9 38	14 20	19 00	17 16 22,2	−23 03 07	57,0260
18 M	10 43	15 22	20 00	18 19 28,8	−24 40 09	57,8200
19 J	11 39	16 20	21 04	19 21 22,9	−24 38 47	58,7528
20 V	12 24	17 15	22 09	20 20 26,5	−23 08 21	59,7419
21 S	13 01	18 05	23 14	21 15 44,3	−20 25 03	60,7091
22 D	13 32	18 51	** **	22 07 09,6	−16 46 55	61,5901
23 L	13 59	19 34	0 17	22 55 11,4	−12 30 27	62,3371
24 M	14 23	20 15	1 17	23 40 37,8	−07 49 20	62,9214
25 M	14 46	20 56	2 16	00 24 24,1	−02 54 48	63,3304
26 J	15 08	21 36	3 15	01 07 26,0	+02 03 36	63,5664
27 V	15 32	22 17	4 13	01 50 36,7	+06 56 54	63,6421
28 S	15 58	23 00	5 12	02 34 45,4	+11 35 52	63,5774
29 D	16 27	23 46	6 12	03 20 35,1	+15 50 23	63,3949
30 L	17 01	** **	7 13	04 08 37,8	+19 29 08	63,1170

Cuarto menguante	08^d 13^{h}46^m
Luna nueva	15^d 05^{h}07^m
Cuarto creciente	22^d 04^{h}45^m
Luna llena	30^d 09^{h}30^m

Perigeo	14^d 12^h
Apogeo	27^d 00^h

LUNA Diciembre 2020

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	M	17 42	0 34	8 13	04 59 09,0	+22 20 04	62,7621
2	M	18 29	1 25	9 11	05 52 00,8	+24 11 16	62,3444
3	J	19 24	2 17	10 05	06 46 38,5	+24 52 52	61,8713
4	V	20 25	3 11	10 53	07 42 07,0	+24 18 50	61,3469
5	S	21 30	4 04	11 35	08 37 25,8	+22 28 21	60,7732
6	D	22 38	4 56	12 12	09 31 48,1	+19 25 50	60,1537
7	L	23 47	5 46	12 44	10 24 53,6	+15 20 02	59,4989
8	M	** **	6 36	13 13	11 16 51,5	+10 22 33	58,8288
9	M	0 57	7 25	13 41	12 08 15,9	+04 47 11	58,1760
10	J	2 09	8 15	14 10	12 59 57,9	−01 10 12	57,5852
11	V	3 23	9 06	14 41	13 52 56,7	−07 11 02	57,1100
12	S	4 38	10 01	15 15	14 48 09,7	−12 53 34	56,8063
13	D	5 55	10 58	15 55	15 46 16,8	−17 53 20	56,7206
14	L	7 11	11 59	16 43	16 47 20,9	−21 45 22	56,8822
15	M	8 21	13 01	17 39	17 50 30,2	−24 08 50	57,2927
16	M	9 23	14 03	18 43	18 54 00,4	−24 52 37	57,9250
17	J	10 15	15 01	19 50	19 55 47,5	−23 58 29	58,7263
18	V	10 57	15 55	20 57	20 54 14,0	−21 39 30	59,6276
19	S	11 32	16 44	22 03	21 48 35,9	−18 14 46	60,5529
20	D	12 01	17 29	23 06	22 39 01,0	−14 03 54	61,4299
21	L	12 26	18 12	** **	23 26 10,0	−09 23 52	62,1971
22	M	12 49	18 53	0 06	00 10 58,8	−04 28 09	62,8079
23	M	13 12	19 33	1 05	00 54 27,8	+00 32 34	63,2331
24	J	13 35	20 14	2 04	01 37 36,2	+05 29 18	63,4615
25	V	14 00	20 56	3 02	02 21 20,0	+10 13 33	63,4965
26	S	14 28	21 41	4 02	03 06 30,2	+14 36 14	63,3558
27	D	15 00	22 28	5 03	03 53 48,8	+18 27 02	63,0668
28	L	15 38	23 18	6 03	04 43 43,5	+21 34 08	62,6636
29	M	16 24	** **	7 03	05 36 18,5	+23 44 58	62,1826
30	M	17 17	0 11	7 59	06 31 08,2	+24 47 48	61,6586
31	J	18 17	1 05	8 50	07 27 17,8	+24 34 12	61,1208

Cuarto menguante	$08^d\,00^h37^m$
Luna nueva	$14^d\,16^h17^m$
Cuarto creciente	$21^d\,23^h41^m$
Luna llena	$30^d\,03^h28^m$

Perigeo	$12^d\,21^h$
Apogeo	$24^d\,16^h$

Ortos y ocasos de la Luna

En las tablas de efemérides lunares constan los instantes de salida y puesta de la Luna (orto y ocaso) para Madrid día a día, expresados en la escala de Tiempo Universal (TU). Dado el gran movimiento diario de la Luna, entre sucesivas salidas (o puestas o culminaciones) de la Luna transcurren casi 25 horas. Como consecuencia, si cualquiera de estos fenómenos se produce muy cerca de las 24^h de un día, no se volverá a producir hasta dos días después, a primera hora. La ausencia de tal fenómeno en el día intermedio se indica en las tablas con el símbolo **.

Para conocer el instante de salida o de puesta de la Luna en otro lugar de España es necesario aplicar dos correcciones, una debida a la diferente latitud y otra debida a la diferente longitud. Puede ocurrir que, hechas tales correcciones, el fenómeno tenga lugar el día anterior o el posterior.

Corrección por longitud a las horas de orto, culminación y ocaso de la Luna para las capitales de provincia, en minutos

Ciudad	Correc.	Lat.	Ciudad	Correc.	Lat.
Albacete	-7^m	39°	Alicante / Alacant	-13^m	38°.4
Almería	-5^m	37°	Avila	$+4^m$	40°.5
Badajoz	$+13^m$	39°	Barcelona	-23^m	41°.5
Bilbao	-3^m	43°	Burgos	0^m	42°.5
Cáceres	$+11^m$	39°.5	Cádiz	$+10^m$	36°.5
Castellón de la Plana	-15^m	40°	Ceuta	$+6^m$	36°
Ciudad Real	$+1^m$	39°	Córdoba	$+4^m$	38°
Coruña, A (La Coruña)	$+19^m$	43°.5	Cuenca	-6^m	40°
Donostia-San Sebastián	-7^m	43°.5	Girona (Gerona)	-26^m	42°
Granada	0^m	37°	Guadalajara	-2^m	40°.5
Huelva	$+13^m$	37°	Huesca	-13^m	42°
Jaén	0^m	38°	León	$+8^m$	42°.5
Logroño	-5^m	42°.5	Lugo	$+15^m$	43°
Lleida (Lérida)	-17^m	41°.5	Madrid	0^m	40°.5
Málaga	$+3^m$	36°.5	Melilla	-3^m	35°.5
Murcia	-10^m	38°	Ourense (Orense)	$+17^m$	42°.5
Oviedo	$+9^m$	43°.5	Palencia	$+3^m$	42°
Palma de Mallorca	-25^m	39°.5	Palmas de G. C., Las	$+48^m$	28°
Pamplona / Iruña	-8^m	43°	Pontevedra	$+20^m$	42°.5
Salamanca	$+8^m$	41°	Santa Cruz de Tenerife	$+51^m$	28°.5
Santander	0^m	43°.5	Segovia	$+2^m$	41°
Sevilla	$+9^m$	37°.5	Soria	-5^m	42°
Tarragona	$+20^m$	41°	Teruel	-10^m	40°.5
Toledo	$+1^m$	40°	Valencia	-13^m	39°.5
Valladolid	$+4^m$	41°.5	Vitoria-Gasteiz	-4^m	43°
Zamora	$+8^m$	41°.5	Zaragoza	-11^m	41°.5

Corrección, en minutos, al orto y ocaso de la Luna en función de su declinación y de la latitud del lugar

$\delta_{(}$	Latitud, ϕ										
(°)	28°	32°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°
–30	–46	–33	–19	–15	–11	–6	–2	3	8	13	18
–27	–40	–29	–16	–13	–9	–5	–2	2	6	11	15
–24	–34	–25	–14	–11	–8	–5	–1	2	5	9	13
–21	–29	–21	–12	–9	–7	–4	–1	2	5	8	11
–18	–25	–17	–10	–8	–5	–3	–1	1	4	6	9
–15	–20	–14	–8	–6	–4	–3	–1	1	3	5	7
–12	–16	–11	–6	–5	–3	–2	–1	1	2	4	6
–9	–12	–8	–5	–4	–3	–2	0	1	2	3	4
–6	–8	–6	–3	–2	–2	–1	0	0	1	2	3
–3	–4	–3	–2	–1	–1	–1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	3	1	1	1	0	0	0	–1	–1	–1
6	8	5	3	2	2	1	0	0	–1	–2	–3
9	12	8	5	4	3	2	0	–1	–2	–3	–4
12	16	11	6	5	3	2	1	–1	–2	–4	–6
15	20	14	8	6	4	3	1	–1	–3	–5	–7
18	24	17	10	8	5	3	1	–1	–4	–6	–9
21	29	21	11	9	6	4	1	–2	–5	–8	–11
24	34	24	14	11	8	5	1	–2	–5	–9	–13
27	40	28	16	12	9	5	2	–2	–6	–11	–15
30	46	33	18	15	10	6	2	–3	–7	–12	–18

Para conocer el tiempo oficial, TO, habrá que añadir una tercera corrección, que depende de la época del año: $+1^h$ o $+2^h$ en la Península y Baleares, 0^h o $+1^h$ en Canarias.

La corrección en longitud siempre tiene el mismo signo, se trate de orto o de ocaso: en los lugares situados al Este de Madrid la Luna sale y se pone antes que en Madrid; al Oeste de Madrid, orto y ocaso tienen lugar más tarde. Esta corrección viene dada en primera aproximación por la diferencia de longitudes, expresada en minutos de tiempo. Para las capitales de provincia, se encuentra en la primera de las tablas anteriores.

La corrección en latitud depende de la diferencia de latitudes y de la declinación de la Luna (indicada en las tablas). Puede encontrarse, para varios paralelos y cada 2° en declinación en la tabla anterior. El paralelo 28° corresponde a las Canarias.

Cálculo de orto y ocaso de la Luna en una capital de provincia

Consultando las tablas de orto y ocaso de la Luna en Madrid y las dos tablas precedentes, se realiza el simple cálculo:

orto = orto en Madrid + corrección por longitud + corrección por latitud
ocaso = ocaso en Madrid + corrección por longitud – corrección por latitud

Ejemplo: determinación de los instantes de salida y puesta de la Luna en León (latitud $42\overset{\circ}{.}5$) el día 15 de febrero, en que su declinación media es de -14° y el horario oficial es el de invierno:

$$\begin{aligned}\text{orto} &= 0^{\text{h}}11^{\text{m}} + 8^{\text{m}} + (+4^{\text{m}}) = 0^{\text{h}}23^{\text{m}}\ \text{TU} = 1^{\text{h}}23^{\text{m}}\ \text{TO}\\ \text{ocaso} &= 11^{\text{h}}00^{\text{m}} + 8^{\text{m}} - (+4^{\text{m}}) = 11^{\text{h}}04^{\text{m}}\ \text{TU} = 12^{\text{h}}04^{\text{m}}\ \text{TO}\end{aligned}$$

Cálculo de orto y ocaso de la Luna en un lugar cualquiera de España

En un lugar de longitud λ_E (positiva al Este de Greenwich):

$$\begin{aligned}\text{orto} &= \text{orto en Madrid} - 15^{\text{m}} - \lambda_E + \text{corrección por latitud}\\ \text{ocaso} &= \text{ocaso en Madrid} - 15^{\text{m}} - \lambda_E - \text{corrección por latitud}\end{aligned}$$

Los instantes de orto y ocaso determinados con este procedimiento son aproximados, pudiendo tener errores de algunos minutos debidos a las simplificaciones en los cálculos y a las variables condiciones atmosféricas.

Un cálculo aproximado para cualquier lugar de posición geográfica conocida se puede realizar consultando el apartado de **Efemérides** en la *web* del Real Instituto y Observatorio de la Armada: `http://www.roa.es`.

Paso de la Luna por el meridiano

Los pasos de la Luna por el meridiano (indicando el Sur) que figuran en las tablas mensuales se refieren al centro de la Luna (culminación) y el tiempo en Madrid. Para obtener el instante de paso del centro de la Luna por el meridiano en otro lugar, hay que corregir por la diferencia de longitudes y por el cambio de coordenadas de la Luna que haya tenido lugar entre dichos pasos por el meridiano. En una primera aproximación, si la longitud, expresada en hms, es λ_E, el instante de paso (por el Sur) será:

$$\text{paso meridiano} = \text{paso meridiano Madrid} - 1{,}036\ (14^{\text{m}}45^{\text{s}} + \lambda_E)$$

Si se desea obtener el instante de paso del borde anterior o del posterior, hay que realizar una corrección adicional, para tener en cuenta el tiempo de paso del semidiámetro. Este puede obtenerse de manera aproximada a partir de la distancia $r_{(}$ (expresada en radios terrestres), o bien del semidiámetro $s_{(}$ o de la paralaje $\pi_{(}$ (expresados en minutos de arco) mediante las expresiones:

$$\text{paso semidiámetro (en}\ ^{\text{s}}) \simeq 4{,}1\ s_{(} \simeq 1{,}13\ \pi_{(} \simeq 3900\,/\,r_{(}$$

Los pasos por los bordes anterior y posterior serán:

$$\begin{aligned}\text{paso borde anterior} &= \text{paso centro} - \text{paso semidiámetro}\\ \text{paso borde posterior} &= \text{paso centro} + \text{paso semidiámetro}\end{aligned}$$

Distancia, semidiámetro y paralaje horizontal de la Luna

La distancia al centro de la Tierra $r_{(}$, el semidiámetro $s_{(}$ y la paralaje ecuatorial horizontal $\pi_{(}$ son parámetros relacionados entre sí. La conversión de uno a otro puede hacerse interpolando con los valores que figuran en la tabla siguiente o bien mediante fórmulas:

$$r_{(}(\text{en km}) = 6378{,}140\, r_{(}(\text{en } \mathcal{R}_\oplus)$$

$$s_{(} = 0{,}272\,493\,\pi_{(}\,, \qquad \sin\pi_{(} = \frac{1}{r_{(}(\text{en } \mathcal{R}_\oplus)}$$

$$\pi_{(}(^\circ) \simeq \frac{57{,}3}{r_{(}(\text{en } \mathcal{R}_\oplus)}\,, \qquad \pi_{(}(') \simeq \frac{3438}{r_{(}(\text{en } \mathcal{R}_\oplus)}$$

Conversiones entre la paralaje horizontal de la Luna $\pi_{(}$, su semidiámetro $s_{(}$ y su distancia $r_{(}$ al centro de la Tierra

$\pi_{(}$		$s_{(}$		Distancia, $r_{(}$	
′	″	′	″	$\mathcal{R}_\oplus$	km
53	50	14	40	63,862	407 319
54	0	14	43	63,665	406 062
54	10	14	46	63,469	404 812
54	20	14	48	63,274	403 571
54	30	14	51	63,081	402 337
54	40	14	54	62,888	401 110
54	50	14	56	62,697	399 891
55	0	14	59	62,507	398 679
55	10	15	2	62,318	397 475
55	20	15	5	62,131	396 278
55	30	15	7	61,944	395 088
55	40	15	10	61,759	393 905
55	50	15	13	61,574	392 729
56	0	15	16	61,391	391 561
56	10	15	18	61,209	390 399
56	20	15	21	61,028	389 244
56	30	15	24	60,848	388 096
56	40	15	26	60,669	386 955
56	50	15	29	60,491	385 820
57	0	15	32	60,314	384 692
57	10	15	35	60,138	383 570
57	20	15	37	59,963	382 455
57	30	15	40	59,790	381 347
57	40	15	43	59,617	380 245
57	50	15	46	59,445	379 149
58	0	15	48	59,274	378 060
58	10	15	51	59,104	376 977
58	20	15	54	58,936	375 900
58	30	15	56	58,768	374 829
58	40	15	59	58,601	373 764
58	50	16	2	58,435	372 705
59	0	16	5	58,270	371 653
59	10	16	7	58,106	370 606
59	20	16	10	57,942	369 565
59	30	16	13	57,780	368 530
59	40	16	15	57,619	367 501
59	50	16	18	57,458	366 477
60	0	16	21	57,299	365 459
60	10	16	24	57,140	364 447
60	20	16	26	56,982	363 440
60	30	16	29	56,825	362 439
60	40	16	32	56,669	361 443
60	50	16	35	56,514	360 453
61	0	16	37	56,359	359 469
61	10	16	40	56,206	358 489
61	20	16	43	56,053	357 515
61	30	16	45	55,901	356 546
61	40	16	48	55,750	355 583
61	50	16	51	55,600	354 624

Se denomina paralaje ecuatorial horizontal $\pi_{(}$ de la Luna al ángulo bajo el cual se ve desde la Luna el radio ecuatorial terrestre, definición que da lugar a la segunda de las fórmulas. El semidiámetro lunar $s_{(}$ se relaciona con la paralaje horizontal simplemente como el cociente de diámetros de los dos astros, que es lo que expresa la primera de las fórmulas anteriores.

Fases de la Luna

La apariencia de la parte iluminada de la Luna vista desde la Tierra va variando a medida que las posiciones relativas de Tierra, Sol y Luna van cambiando, siendo el movimiento más rápido la traslación de ésta alrededor de la Tierra. El cambio de apariencia da lugar a las denominadas fases lunares o fases de la Luna.

El periodo de rotación sinódica de la Luna, o sea el tiempo que transcurre entre dos lunas nuevas consecutivas, se denomina *lunación*. Por convenio, la lunación se inicia en el instante de la *luna nueva* o *novilunio*, es decir cuando las longitudes geocéntricas de la Luna y el Sol coinciden. El instante en que tales longitudes difieren en 180° se denomina *luna llena* o *plenilunio* y cuando difieren en 90° o 270° se habla, respectivamente, de *cuarto creciente* y *cuarto menguante*. Los instantes en que se inician las fases de la Luna antes descritas a lo largo de este año vienen indicadas en la tabla siguiente.

Fases de la Luna en 2020

Luna nueva		Cuarto crec.		Luna llena		Cuarto meng.	
mes	*día h m*	*mes*	*día h m*	*mes*	*día h m*	*mes*	*día h m*
		Ene	03 04 45	Ene	10 19 21	Ene	17 12 58
Ene	24 21 42	Feb	02 01 42	Feb	09 07 33	Feb	15 22 17
Feb	23 15 32	Mar	02 19 57	Mar	09 17 48	Mar	16 09 34
Mar	24 09 28	Abr	01 10 21	Abr	08 02 35	Abr	14 22 56
Abr	23 02 26	Abr	30 20 38	May	07 10 45	May	14 14 03
May	22 17 39	May	30 03 30	Jun	05 19 12	Jun	13 06 24
Jun	21 06 41	Jun	28 08 16	Jul	05 04 44	Jul	12 23 29
Jul	20 17 33	Jul	27 12 33	Ago	03 15 59	Ago	11 16 45
Ago	19 02 42	Ago	25 17 58	Set	02 05 22	Set	10 09 26
Set	17 11 00	Set	24 01 55	Oct	01 21 05	Oct	10 00 40
Oct	16 19 31	Oct	23 13 23	Oct	31 14 49	Nov	08 13 46
Nov	15 05 07	Nov	22 04 45	Nov	30 09 30	Dic	08 00 37
Dic	14 16 17	Dic	21 23 41	Dic	30 03 28		

La *edad* de la luna es el tiempo transcurrido desde la última luna nueva, expresado en días. La primera aparición de la Luna después del novilunio, o primera visión del *creciente lunar*, ha servido y sirve aún como inicio del mes en calendarios lunares, como el musulmán.

Perigeos y apogeos

Se dice que la Luna se encuentra en el *perigeo* cuando su distancia a la Tierra en una órbita dada es mínima. Cuando es máxima se habla de *apogeo*. En la siguiente tabla figuran los instantes aproximados de paso de la Luna por el perigeo y por el apogeo a lo largo del presente año.

Luna en el perigeo

fecha y hora			distancia
mes	*día*	*h*	km
Ene	13	21	365 934
Feb	10	21	360 448
Mar	10	7	357 117
Abr	7	18	356 909
May	6	3	359 664
Jun	3	4	364 386
Jun	30	2	368 991
Jul	25	5	368 392
Ago	21	11	363 531
Set	18	14	359 091
Oct	16	24	356 913
Nov	14	12	357 830
Dic	12	21	361 757

Luna en el apogeo

fecha y hora			distancia
mes	*dia*	*h*	km
Ene	2	2	404 620
Ene	29	22	405 426
Feb	26	12	406 300
Mar	24	16	406 694
Abr	20	19	406 446
May	18	8	405 554
Jun	15	1	404 558
Jul	12	19	404 160
Ago	9	14	404 623
Set	6	6	405 579
Oct	3	17	406 308
Oct	30	18	406 401
Nov	27	0	405 919
Dic	24	16	405 047

PLANETAS

En este apartado se encuentran efemérides y parámetros relativos a los planetas del sistema solar.

Sistema planetario
Elementos orbitales de los planetas
Datos físicos de los planetas
Descubrimiento de los planetas
Efemérides de los planetas
Ortos y ocasos de los planetas
Fórmulas y figuras

Sistema planetario

Número de planetas conocidos:	8
Masa total de los planetas:	$2{,}669\ 10^{27}$ kg
	$= 447\ \mathcal{M}_\oplus = \mathcal{M}_\odot/745$
Número de satélites conocidos:	173
Masa total de los satélites:	$6{,}2\ 10^{23}$ kg $= 0{,}10\ \mathcal{M}_\oplus$

Coordenadas del polo norte del plano invariable del sistema solar:

$$\alpha = 18^{\mathrm{h}}15^{\mathrm{m}}24^{\mathrm{s}},\ \ \delta = 66^\circ 59'\ \text{(época J2000.0)}$$

Unidades prácticas

Valores numéricos de algunas de las unidades utilizadas en la tabla anterior y las que siguen:

La masa de la Tierra es:	$1\ \mathcal{M}_\oplus = 5{,}9724\ 10^{24}$ kg
y la masa del Sol es:	$1\ \mathcal{M}_\odot = 1{,}988547\ 10^{30}$ kg $= 332\,946\ \mathcal{M}_\oplus$
Const. gravitatoria geocén.:	$G\mathcal{M}_\oplus = 398\,600{,}4418$ km^3 s^{-2}
El radio de la Tierra es:	$1\ \mathcal{R}_\oplus = 6\,378{,}1366$ km (ecuatorial)
La distancia Tierra-Sol es:	1 ua = 149 597 871 km = 8,317 minutos luz
La velocidad de la luz es:	$c = 299\,792{,}458$ km/s = 173,145 ua/día
de donde se deduce que:	1 ua/día = 1731,457 km/s = 6 233 245 km/h

La constante gravitatoria de Newton expresada en diversas unidades es:

$$\begin{aligned} G &= k^2 = 2{,}959\,122\,083\ 10^{-4}\ (\text{ua})^3\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\text{día})^{-2} \\ &= 4\,\pi^2\ (\text{ua})^3\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\text{años})^{-2} \\ &= 887\ \text{ua}\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\text{km/s})^2 \\ &= 4{,}302\ 10^{-3}\ \text{pc}\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\text{km/s})^2 \\ &= 6{,}674\ 10^{-11}\ \text{m}^3\ \text{kg}^{-1}\ \text{s}^{-2} \\ &= 6{,}674\ 10^{-8}\ \text{cm}^3\ \text{g}^{-1}\ \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

Elementos orbitales

En las páginas siguientes figuran los elementos orbitales de los planetas referidos al equinoccio y eclíptica medios J2000.0. Algunos valores, como el del semieje mayor y de la excentricidad de la órbita sufren variaciones debido a las perturbaciones planetarias, siendo especialmente importantes para los planetas exteriores a Júpiter. Cuando alguna magnitud se expresa en *años* se refiere a años julianos. Para tenerla en días basta multiplicar por 365,25. Un *día* corresponde a exactamente 86 400 segundos.

Los elementos que caracterizan una órbita son:

T = instante de paso por el perihelio,
a = semieje mayor de la órbita,
e = excentricidad,
ω = argumento del perihelio,
Ω = longitud del nodo ascendente
i = inclinación de la órbita respecto de la eclíptica.

Las distancias al Sol mínima (distancia perihélica, q) y máxima (distancia afélica, Q) vienen dadas por:

$$q = a(1-e) \;\; y \;\; Q = a(1+e)$$

El periodo de revolución, expresado en años, se calcula mediante: $\mathrm{P} = a^{3/2}$. El movimiento medio, expresado en grados por día, se obtiene mediante: $n = 0{,}98561/P$. Las velocidades orbitales mínima (en el afelio, V_m), máxima (en el perihelio, V_M) y media (V_{media}) de una órbita elíptica vienen dadas, expresadas en km/s, por:

$$V_m = V_{media}\sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

$$V_M = V_{media}\sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

$$V_{media} = \frac{29,7847}{\sqrt{a}}$$

El periodo sinódico (P_{sin}) de un planeta se puede calcular a partir de su periodo orbital P y del de la Tierra P_{Tierra}:

$$P_{sin} = \left(\frac{1}{P_{Tierra}} - \frac{1}{P}\right)^{-1}$$

Elementos orbitales (J2000.0)

Planeta	inclinación i	longitud del nodo, Ω	longitud del perihelio, ϖ	longitud media, L
Mercurio	7°,005	48°,332	77°,456	252°,251
Venus	3°,395	76°,681	131°,533	181°,980
Tierra	0°,000	0°,000	102°,947	100°,464
Marte	1°,851	49°,579	336°,041	355°,453
Júpiter	1°,305	100°,556	14°,754	34°,404
Saturno	2°,484	113°,715	92°,432	49°,944
Urano	0°,770	74°,230	170°,964	313°,232
Neptuno	1°,769	131°,722	44°,971	304°,880

argumento del perihelio: $\omega = \varpi - \Omega$.

Distancias orbitales (J2000.0)

	semieje mayor, a		excentri–	distancias (ua)	
Planeta	ua	10^6 km	cidad, e	q,mínima	Q,máxima
Mercurio	0,387099	57,91	0,20563	0,3075	0,4667
Venus	0,723332	108,21	0,00677	0,7184	0,7282
Tierra	1,000000	149,60	0,01671	0,9833	1,0167
Marte	1,523662	227,92	0,09341	1,3814	1,6660
Júpiter	5,203363	778,57	0,04839	4,9503	5,4549
Saturno	9,537070	1433,53	0,05415	9,0418	10,1235
Urano	19,191264	2872,46	0,04727	18,3257	20,0775
Neptuno	30,068963	4495,06	0,00859	29,7112	30,3852

Traslación (J2000.0)

Planeta	periodo orbital P (años)	movimiento medio diario n	velocidad orbital media V (km/s)	periodo sinódico medio (días)
Mercurio	0,240844	4°,092377	47,873	115,878
Venus	0,615183	1°,602169	35,021	583,921
Tierra	0,999979	0°,985647	29,786	
Marte	1,880711	0°,524071	24,131	779,936
Júpiter	11,856525	0°,083129	13,070	398,884
Saturno	29,423519	0°,033498	9,672	378,092
Urano	83,747407	0°,011769	6,835	369,656
Neptuno	163,723204	0°,006020	5,478	367,487

El periodo sinódico medio se refiere al tiempo medio entre repeticiones sucesivas de un mismo fenómeno planetario (por ejemplo, una oposición) visto desde la Tierra. La velocidad para escapar del sistema solar desde una órbita dada se obtiene multiplicando la velocidad orbital por $\sqrt{2}$.

Otros datos referidos a la órbita

	distancia a la Tierra (10^6 km)		diámetro aparente desde la Tierra		diámetro medio del Sol visto
Planeta	máxima	mínima	mínimo	máximo	desde el planeta
Mercurio	221,9	77,3	4″,5	13″,0	4958″
Venus	261,0	38,2	9″,7	66″,0	2653″
Tierra					1919″
Marte	401,3	55,7	3″,5	25″,1	1260″
Júpiter	968,1	588,5	29″,8	49″,0	369″
Saturno	1658,5	1195,5	14″,5	20″,1	201″
Urano	3157,3	2581,9	3″,3	4″,1	100″
Neptuno	4687,3	4305,9	2″,2	2″,4	64″

Rotación

Planeta	periodo sidéreo (días)	velocidad de rotación en el ecuador (km/s)	día solar medio (días)	inclinación del ecuador a la órbita
Mercurio	$58^{d}\ 15^{h}30\overset{m}{,}5$	0,0030	175,942	$0\overset{\circ}{,}01$
Venus	$243\overset{d}{,}02$ Retr.	0,0018	R 116,750	$177\overset{\circ}{,}36$
Tierra	$23^{h}56^{m}04\overset{s}{,}099$	0,4651	1,000	$23\overset{\circ}{,}45$
Marte	$24^{h}37^{m}22\overset{s}{,}663$	0,2408	1,027	$25\overset{\circ}{,}19$
Júpiter	$09^{h}55^{m}29\overset{s}{,}7$	12,5720	0,414	$3\overset{\circ}{,}13$
Saturno	$10^{h}39^{m}22\overset{s}{,}4$	10,0179	0,444	$26\overset{\circ}{,}73$
Urano	$17^{h}14\overset{m}{,}4$ Retr.	2,5875	R 0,718	$97\overset{\circ}{,}77$
Neptuno	$16^{h}06\overset{m}{,}6$	2,6829	0,671	$28\overset{\circ}{,}32$

Parámetros de las coordenadas planetográficas

	eje de rotación (J2000)		meridiano de referencia
Planeta	α_0	δ_0	w
Mercurio	281,01−0.003 T	61,45−0,005 T	329,548+6,1385025 d
Venus	272,76	67,16	160,20−1,4813688 d
Tierra	0,00−0,641 T	90,00−0,557 T	190,147+360,9856235 d
Marte	317,681−0,106 T	52,886−0,061 T	176,630+350,89198226 d
Júpiter	268,05−0,009 T	64,49−0,003 T	284,95+870,5366420 d
Saturno	40,589−0,036 T	83,537−0,004 T	38,90+810,7939024 d
Urano	257,311	−15,175	203,81−501,1600928 d
Neptuno	299,36+0,70 senN	43,46−0,51 cosN	253,18+w_1−0,48 senN

Siendo $d = DJ - 2451545$ y $T = d/36525$. DJ es el día juliano.
En el caso de Neptuno: $w_1 = 536,3128492\,d$ y $N = 357,85 + 52,316\,T$.

Datos fotométricos

Planeta	albedo geométrico	albedo de Bond	magnitud visual, V(1,0)	magnitud visual, V, en oposic.	índice de color B–V	constante solar (Tierra=1)
Mercurio	0,106	0,12	−0,42		0,93	6,673
Venus	0,65	0,75	−4,40		0,82	1,911
Tierra	0,367	0,31	−3,86			1,000
Marte	0,150	0,25	−1,52	−2,0	1,36	0,431
Júpiter	0,52	0,34	−9,40	−2,7	0,83	0,037
Saturno	0,47	0,34	−8,88	+0,7	1,04	0,011
Urano	0,51	0,30	−7,19	+5,5	0,56	0,003
Neptuno	0,41	0,29	−6,87	+7,8	0,41	0,001

La constante solar de la Tierra es: 1361 W m^{-2} = 1,95 cal min^{-1} cm^{-2}. Corresponde a la cantidad de energía que se recibe del Sol por unidad de tiempo y de superficie, en el exterior de la atmósfera.

Datos físicos

Tamaño

Planeta	radio ecuat. en $\mathcal{R}_\oplus$	diámetro ecuator. en km	diámetro polar en km	achata–miento, f	tamaño angular a 1 ua	volumen Tierra=1 ($\approx 10^{12}$km^3)
Mercurio	0,383	4 879,4	= ecuat.	$\sim$0	6,″73	0,0562
Venus	0,949	12 103,6	= ecuat.	$\sim$0	16,″69	0,8571
Tierra	1,000	12 756,3	12 713,5	0,003 3528	17,″59	1,0000
Marte	0,532	6 792,4	6 752,4	0,005 8860	9,″37	0,1506
Júpiter	11,209	142 984	133 708	0,064 8744	197,″15	1321
Saturno	9,449	120 536	108 728	0,097 9624	166,″19	764
Urano	4,007	51 118	49 946	0,022 9273	70,″48	63
Neptuno	3,883	49 528	48 682	0,0171	68,″29	58

El achatamiento se define como: $f = 1 - \mathrm{D}_{polar}/\mathrm{D}_{ecuat}$.

Masa

Planeta	masa, $\mathrm{M_P}$ ($\mathcal{M}_\oplus$)	densidad media (g cm^{-3})	gravedad superf. ecu. (m s^{-2})	constante gravit.,$\mathrm{GM_P}$ (10^{15}m^3 s^{-2})
Mercurio	0,0553	5,43	3,70	0,022 032
Venus	0,8150	5,24	8,87	0,324 858
Tierra	1,0000	5,52	9,80	0,398 600
Marte	0,1074	3,93	3,71	0,042 828
Júpiter	317,89	1,33	24,79	126,713
Saturno	95,18	0,69	10,45	37,941
Urano	14,54	1,27	8,87	5,794 550
Neptuno	17,15	1,64	11,15	6,837

Parámetros dinámicos

Planeta	momento de inercia ($\mathrm{I}/M_pR_p^2$)	J_2 (10^{-6})	velocidad de escape ecuatorial (km s^{-1})	aceleración centrífuga ecuatorial (m s^{-2})
Mercurio	0,33	60	4,25	9,50 10^{-8}
Venus	0,33	4,458	10,36	1,37 10^{-8}
Tierra	0,3308	1082,63	11,186	8,59 10^{-4}
Marte	0,366	1960,45	5,02	4,32 10^{-4}
Júpiter	0,254	14,736	59,5	560,00 10^{-4}
Saturno	0,210	16,298	35,5	409,54 10^{-4}
Urano	0,225	3343,43	21,3	66,35 10^{-4}
Neptuno		3411	23,5	73,62 10^{-4}

J_2 es el achatamiento dinámico del planeta, R_p y M_p son el radio ecuatorial y la masa del planeta respectivamente.

Atmósfera

Planeta	temperatura superficial (°C)	temperatura nubes (°C)	temperatura equil. (°K)	temperatura efectiva (°K)	presión (atm)	gases más abundantes (> 1%)
Mercurio	–170 a 350		634	442,5	$\sim 10^{-15}$	O_2,Na,H_2,He
Venus	460	–33	464	231,7	92	CO_2,N_2
Tierra	15		394	254,3	1	N_2,O_2,(H_2O)
Marte	–55		319	210,1	0,007	CO_2,N_2,Ar
Júpiter		–144	173	110,0		H_2,He
Saturno		–176	128	81,1		H_2,He
Urano		–214	90	58,2		H_2,He,CH_4
Neptuno		–214	72	46,6		H_2,He,CH_4

Temperatura de equilibrio es la máxima que puede alcanzar un cuerpo negro situado donde el planeta y debida exclusivamente a la radiación solar.
Temperatura efectiva es la que describe la emisión del planeta si radiara según la ley de Stefan-Boltzmann de un cuerpo negro.

Magnetosfera

Planeta	campo de fuerza del dipolo (gauss, 10^{-4} tesla)	inclinación del eje del dipolo	momento dipolar (Tierra=1)	Magnetopausa en dirección al Sol (R_p)
Mercurio	0,0033	14°	0,0007	1,5
Venus	< 0,00003		< 0,0004	
Tierra	0,305	10,8	1	10
Marte	< 0,0003		< 0,0002	
Júpiter	4,28	–9,6	20 000	80
Saturno	0,22	< 1°	600	20
Urano	0,23	–58,6	50	20
Neptuno	0,14	–47°	25	25

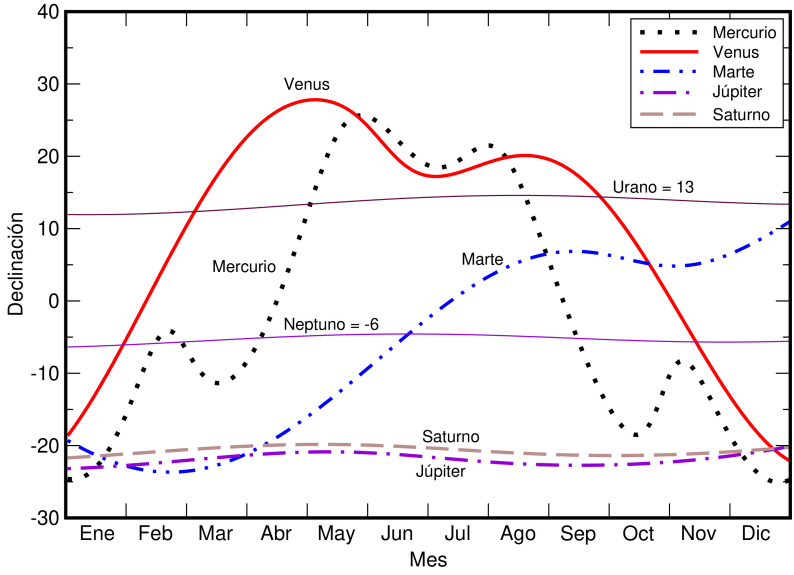
R_p el radio ecuatorial del planeta. Equivalencia: 1 G (gauss) = 10^{-4} T (tesla).
El momento dipolar magnético de la Tierra es: 7,91 10^{15} T m^3.

Descubrimiento de planetas

Urano: 13 de marzo de 1781, por Friedrich Wilhelm [(Sir) William] Herschel (1738–1822). Primer planeta descubierto en tiempos históricos y el primero descubierto con un telescopio (de 6,2 pulgadas de apertura y 227 aumentos).

Neptuno: 23 de setiembre de 1846, por Johann Gottlieb Galle (1812–1910), acompañado por su asistente Heinrich L. d'Arrest, con un refractor de 9 pulgadas de apertura. Descubrimiento basado en una predicción analítica (18 de setiembre) de Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811–1877). Una predicción anterior (setiembre de 1845) de John Couch Adams (1819–1892) pasó desapercibida. El día 10 de octubre William Lassell descubrió el satélite Tritón con un telescopio de 24 pulgadas de apertura.

2020



Efemérides para observaciones físicas

En las páginas siguientes figuran las efemérides de los planetas distribuidas en dos tablas y una figura. En ésta se representan los periodos de visibilidad nocturna de cada planeta a lo largo del año, que corresponden al tiempo entre su orto y su ocaso.

En la primera tabla se dan los instantes de orto, culminación y ocaso en Madrid (en TU), y además las coordenadas ecuatoriales y la distancia geocéntrica en el instante de la observación, a 0^{h} de TU para cada diez días.

En la segunda de las tablas se da, para cada veinte días, una serie de parámetros útiles en diversos tipos de observaciones en que se requieran valores relativos al brillo, la iluminación, la orientación y la rotación. Debe sobreentenderse que todos estos parámetros se refieren a un observador situado en la Tierra. Varios de los parámetros se dan para cada uno de los planetas, mientras que otros sólo se indican en aquellos casos en que resultan relevantes.

τ es la distancia planeta–Tierra en tiempo luz, expresada en minutos. Se relaciona con la distancia expresada en unidades astronómicas mediante: *distancia* (en ua) $= 0{,}12024$ *distancia* (en minutos-luz).

D$_{ecu}$ es el diámetro ecuatorial, expresado en segundos de arco. Para un achatamiento f, el diámetro polar se calcula mediante:

$$D_{pol} = (1 - f)\mathrm{D}_{ecu}$$

BRILLO:

V es la magnitud visual total. Depende de las distancias a la Tierra y al Sol y de la fase. En el caso de Saturno depende además de la orientación de los anillos.

BS es el brillo superficial medio de la superficie que se ve iluminada, en unidades de magnitud visual por segundo de arco al cuadrado. Se da sólo para aquellos planetas cuyo tamaño angular (D$_{ecu}$) supera los $4''$.

ILUMINACIÓN:

ángulo de fase es el ángulo entre las direcciones planeta–Tierra y planeta–Sol, expresado en grados. Para los planetas más alejados es muy pequeño.

fase es la fracción de disco iluminada vista desde la Tierra. Sólo se da para Mercurio, Venus y Marte, pues para el resto de los planetas la fase es siempre $\gtrsim$0,99.

defecto de iluminación es la máxima anchura de la porción de disco no iluminada, medida en la dirección del ángulo de iluminación. Sólo se da para Mercurio, Venus y Marte, por idéntica razón.

ORIENTACIÓN:

L$_P$ es la longitud planetográfica del meridiano central del planeta, siendo éste aquél cuyo plano contiene la Tierra. No se da en aquellos casos en que no hay ni emisión radio ni detalles destacados en la superficie visible.

B$_P$ es la latitud (o declinación) planetográfica de la Tierra, referida al ecuador del planeta y expresada en grados. Cuando es positiva, el polo norte del planeta es visible desde la Tierra.

P$_{PN}$ es el ángulo de posición del eje del planeta, expresado en grados. Se define como el ángulo entre la dirección Norte y el eje del planeta (proyectado en el cielo), medido positivamente hacia el Este.

MERCURIO 2020

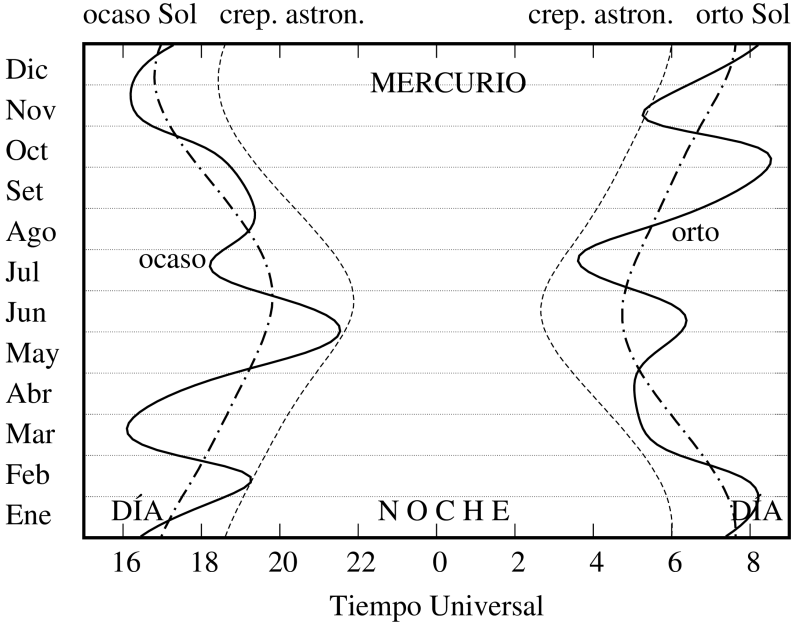
		en Madrid (TU)			a 0^h de TU		
Mes	día	Orto	Culm.	Ocaso	Asc. recta	Declinación	Distancia
		h m	*h m*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	ua
Ene.	1	7 23	11 55	16 27	18 19 17	−24 38 8	1,4340
	11	7 50	12 26	17 3	19 29 37	−23 48 14	1,4291
	21	8 7	12 58	17 49	20 40 31	−20 28 23	1,3619
	31	8 13	13 26	18 40	21 48 18	−14 40 36	1,2121
Feb.	10	8 0	13 37	19 15	22 40 59	− 7 42 8	0,9655
	20	7 16	13 3	18 50	22 49 21	− 4 7 49	0,7120
Mar.	1	6 12	11 48	17 23	22 14 3	− 7 17 6	0,6311
	11	5 32	10 57	16 21	21 59 49	−10 52 16	0,7185
	21	5 16	10 41	16 6	22 22 1	−11 1 20	0,8606
	31	5 9	10 44	16 20	23 4 16	− 8 11 45	1,0054
Abr.	10	5 5	10 58	16 52	23 57 6	− 3 3 31	1,1394
	20	5 3	11 20	17 39	0 58 22	+ 3 55 13	1,2541
	30	5 6	11 53	18 42	2 10 3	+12 7 48	1,3238
May.	10	5 20	12 38	19 57	3 33 33	+19 59 24	1,2917
	20	5 45	13 23	21 1	4 58 25	+24 45 19	1,1346
	30	6 11	13 51	21 31	6 7 18	+25 32 46	0,9298
Jun.	9	6 23	13 53	21 24	6 50 43	+23 44 49	0,7450
	19	6 7	13 25	20 42	7 3 14	+21 1 14	0,6117
	29	5 19	12 28	19 36	6 46 28	+18 53 11	0,5599
Jul.	9	4 20	11 28	18 37	6 25 3	+18 34 37	0,6185
	19	3 41	10 57	18 13	6 31 47	+20 3 44	0,7851
	29	3 42	11 5	18 27	7 17 4	+21 28 6	1,0224
Ago.	8	4 25	11 42	18 57	8 32 52	+19 58 37	1,2456
	18	5 30	12 25	19 18	9 55 4	+14 32 28	1,3559
	28	6 29	12 56	19 22	11 6 36	+ 7 6 37	1,3580
Set.	7	7 16	13 17	19 16	12 7 16	− 0 32 50	1,2979
	17	7 54	13 30	19 6	13 0 21	− 7 36 12	1,1981
	27	8 22	13 37	18 51	13 46 50	−13 31 59	1,0641
Oct.	7	8 32	13 32	18 31	14 22 19	−17 36 11	0,8992
	17	8 1	12 59	17 57	14 30 39	−18 4 22	0,7300
	27	6 24	11 43	17 3	13 55 44	−12 22 39	0,6774
Nov.	6	5 18	10 52	16 26	13 40 44	− 8 17 3	0,8676
	16	5 29	10 51	16 13	14 18 13	−11 35 0	1,1236
	26	6 6	11 10	16 12	15 15 18	−16 53 25	1,3055
Dic.	6	6 48	11 34	16 18	16 18 36	−21 25 26	1,4086
	16	7 28	12 1	16 35	17 25 37	−24 17 31	1,4478
	26	8 2	12 32	17 3	18 35 25	−25 2 54	1,4296

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

MERCURIO 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	11,93	4,69	–0,9	2,2	12,2	0,989	0,05	84,1	– 3,7	3,0
Ene 21	11,33	4,94	–1,2	2,0	17,5	0,977	0,11	174,0	– 4,8	346,5
Feb 10	8,03	6,97	–0,5	2,8	84,8	0,545	3,17	264,9	– 7,2	335,6
Mar 1	5,25	10,66	3,6	5,0	156,6	0,041	10,22	33,7	– 10,2	337,4
Mar 21	7,16	7,82	0,4	3,8	92,8	0,476	4,10	156,1	– 6,0	337,0
Abr 10	9,48	5,90	–0,2	3,1	60,9	0,743	1,52	254,1	– 2,9	332,1
Abr 30	11,01	5,08	–1,6	1,6	17,4	0,977	0,12	340,6	– 0,8	333,6
May 20	9,44	5,93	–0,8	2,5	60,4	0,747	1,50	61,7	1,2	347,7
Jun 9	6,20	9,03	0,9	4,0	115,6	0,284	6,46	159,1	4,8	0,8
Jun 29	4,66	12,02	5,5	5,7	168,4	0,010	11,89	282,9	9,6	0,3
Jul 19	6,53	8,57	0,7	3,7	116,9	0,274	6,22	49,1	8,4	358,5
Ago 8	10,36	5,40	–1,4	1,9	36,4	0,902	0,53	143,4	5,7	12,7
Ago 28	11,29	4,95	–0,9	2,2	25,6	0,951	0,24	226,6	5,0	25,9
Set 17	9,96	5,62	–0,1	3,1	54,9	0,788	1,19	317,3	4,8	28,6
Oct 7	7,48	7,48	0,2	3,5	90,8	0,493	3,79	57,7	4,4	25,8
Oct 27	5,63	9,93	5,5	4,7	171,2	0,006	9,87	188,5	2,6	27,1
Nov 16	9,34	5,99	–0,7	2,6	59,1	0,757	1,46	306,7	– 0,6	26,0
Dic 6	11,71	4,78	–0,8	2,3	17,2	0,978	0,11	39,1	– 2,1	16,5
Dic 26	11,89	4,71	–1,1	2,0	8,3	0,995	0,02	130,3	– 3,5	1,1



VENUS 2020

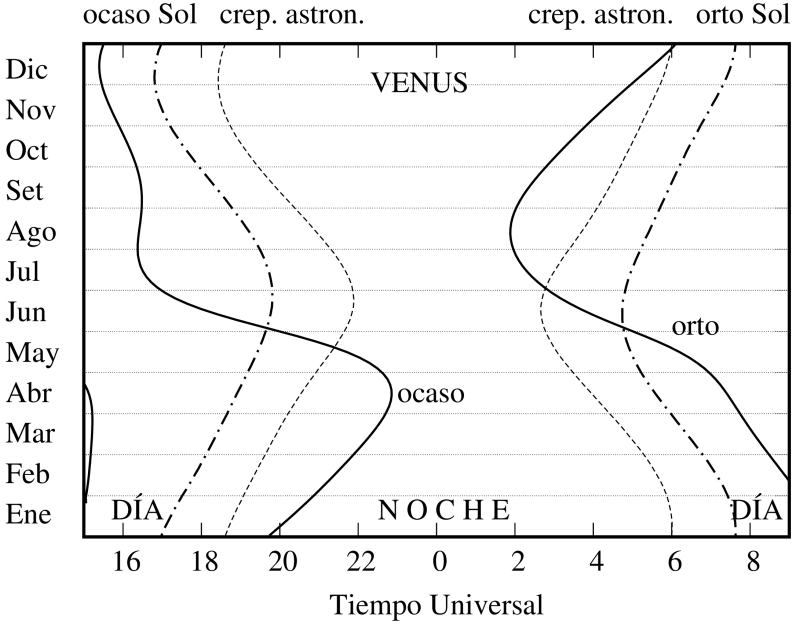
		en Madrid (TU)			a 0^h de TU		
Mes	día	Orto	Culm.	Ocaso	Asc. recta	Declinación	Distancia
		h m	*h m*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	ua
Ene.	1	9 46	14 45	19 44	21 9 44	−18 15 55	1,2779
	11	9 39	14 53	20 8	21 57 45	−14 13 11	1,2201
	21	9 28	14 59	20 31	22 43 30	− 9 34 8	1,1595
	31	9 15	15 4	20 53	23 27 23	− 4 31 43	1,0960
Feb.	10	9 1	15 7	21 14	0 9 52	+ 0 41 23	1,0296
	20	8 45	15 9	21 34	0 51 28	+ 5 53 6	0,9605
Mar.	1	8 29	15 10	21 53	1 32 38	+10 52 12	0,8888
	11	8 14	15 12	22 11	2 13 31	+15 27 36	0,8147
	21	7 59	15 13	22 28	2 54 1	+19 29 10	0,7388
	31	7 45	15 13	22 42	3 33 33	+22 48 30	0,6617
Abr.	10	7 32	15 11	22 50	4 10 50	+25 19 9	0,5844
	20	7 17	15 4	22 50	4 43 40	+26 57 55	0,5084
	30	6 59	14 49	22 39	5 8 56	+27 44 47	0,4361
May.	10	6 33	14 22	22 10	5 22 17	+27 39 10	0,3714
	20	5 56	13 39	21 21	5 19 30	+26 34 18	0,3206
	30	5 8	12 40	20 11	5 0 40	+24 19 32	0,2920
Jun.	9	4 17	11 36	18 54	4 35 31	+21 15 43	0,2930
	19	3 32	10 41	17 49	4 18 55	+18 37 57	0,3232
	29	2 57	10 1	17 5	4 17 39	+17 20 56	0,3751
Jul.	9	2 31	9 35	16 39	4 30 24	+17 19 38	0,4405
	19	2 12	9 19	16 27	4 53 47	+18 3 23	0,5134
	29	2 0	9 11	16 23	5 24 48	+19 0 57	0,5900
Ago.	8	1 54	9 8	16 23	6 1 23	+19 48 1	0,6683
	18	1 54	9 10	16 26	6 42 3	+20 6 37	0,7466
	28	1 59	9 14	16 28	7 25 28	+19 44 22	0,8240
Set.	7	2 10	9 19	16 29	8 10 32	+18 34 20	0,8999
	17	2 24	9 26	16 27	8 56 20	+16 34 25	0,9738
	27	2 41	9 32	16 23	9 42 9	+13 47 8	1,0451
Oct.	7	3 0	9 38	16 16	10 27 38	+10 18 28	1,1137
	17	3 19	9 44	16 8	11 12 44	+ 6 16 43	1,1792
	27	3 40	9 49	15 58	11 57 35	+ 1 52 7	1,2414
Nov.	6	4 1	9 55	15 48	12 42 36	− 2 44 10	1,3002
	16	4 24	10 1	15 38	13 28 17	− 7 20 22	1,3554
	26	4 47	10 9	15 30	14 15 9	−11 43 48	1,4067
Dic.	6	5 10	10 18	15 25	15 3 38	−15 41 23	1,4543
	16	5 34	10 29	15 24	15 54 3	−19 0 2	1,4980
	26	5 57	10 42	15 27	16 46 20	−21 27 4	1,5378

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

VENUS 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	10,63	13,06	–4,0	1,1	50,0	0,822	2,33	352,1	1,5	344,2
Ene 21	9,64	14,39	–4,0	1,2	57,6	0,768	3,34	46,0	0,6	338,9
Feb 10	8,56	16,21	–4,1	1,3	65,9	0,704	4,79	99,4	– 0,7	337,2
Mar 1	7,39	18,78	–4,3	1,3	75,3	0,627	7,00	151,9	– 2,3	338,6
Mar 21	6,14	22,59	–4,4	1,4	86,2	0,533	10,55	203,0	– 3,9	342,9
Abr 10	4,86	28,56	–4,6	1,5	99,9	0,414	16,74	251,3	– 5,2	348,8
Abr 30	3,63	38,26	–4,8	1,4	118,9	0,258	28,38	294,2	– 5,6	354,0
May 20	2,67	52,05	–4,4	1,0	148,8	0,072	48,29	326,0	– 4,2	355,0
Jun 9	2,44	56,97	–3,7	– 0,2	168,4	0,010	56,38	345,0	– 0,2	351,0
Jun 29	3,12	44,49	–4,7	1,4	131,7	0,168	37,03	9,8	2,9	349,4
Jul 19	4,27	32,50	–4,6	1,5	108,7	0,340	21,45	48,1	3,6	352,6
Ago 8	5,56	24,97	–4,5	1,5	93,1	0,473	13,17	93,8	3,0	359,1
Ago 28	6,85	20,25	–4,3	1,4	81,2	0,577	8,57	143,2	2,0	7,1
Set 17	8,10	17,14	–4,1	1,3	71,0	0,663	5,77	194,6	0,9	14,8
Oct 7	9,26	14,98	–4,1	1,2	61,7	0,737	3,94	247,3	0,1	20,4
Oct 27	10,32	13,44	–4,0	1,1	53,2	0,800	2,69	300,8	– 0,4	22,8
Nov 16	11,27	12,31	–4,0	1,1	45,1	0,853	1,81	354,8	– 0,6	21,5
Dic 6	12,09	11,48	–3,9	1,0	37,5	0,897	1,18	49,2	– 0,4	16,4
Dic 26	12,79	10,85	–3,9	0,9	30,3	0,932	0,74	103,8	0,0	8,1



MARTE 2020

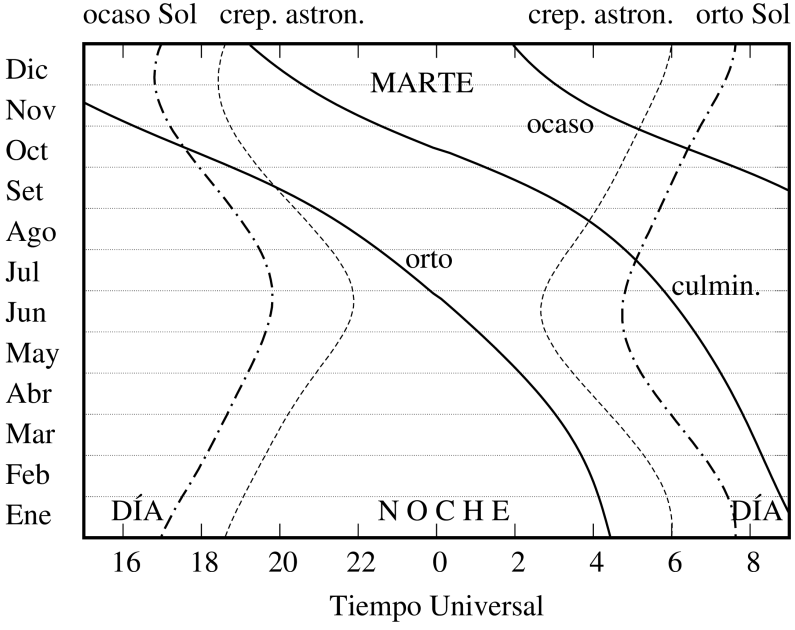
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia ua
Ene.	1	4 26	9 19	14 11	15 44 54	−19 26 42	2,1845
	11	4 20	9 7	13 54	16 12 57	−20 53 49	2,1110
	21	4 14	8 57	13 39	16 41 39	−22 4 8	2,0348
	31	4 8	8 47	13 25	17 10 54	−22 56 2	1,9561
Feb.	10	4 0	8 37	13 13	17 40 35	−23 28 18	1,8758
	20	3 52	8 27	13 3	18 10 34	−23 40 8	1,7945
Mar.	1	3 42	8 18	12 54	18 40 40	−23 31 8	1,7125
	11	3 30	8 9	12 47	19 10 44	−23 1 26	1,6306
	21	3 17	7 59	12 41	19 40 36	−22 11 42	1,5491
	31	3 3	7 49	12 36	20 10 6	−21 3 4	1,4686
Abr.	10	2 46	7 39	12 32	20 39 7	−19 37 10	1,3895
	20	2 29	7 28	12 27	21 7 36	−17 55 54	1,3120
	30	2 10	7 16	12 23	21 35 27	−16 1 37	1,2364
May.	10	1 50	7 4	12 19	22 2 37	−13 56 54	1,1630
	20	1 29	6 51	12 13	22 29 5	−11 44 21	1,0918
	30	1 7	6 37	12 8	22 54 49	− 9 27 2	1,0229
Jun.	9	0 45	6 23	12 1	23 19 46	− 7 7 53	0,9564
	19	0 21	6 8	11 54	23 43 52	− 4 49 52	0,8922
	29	23 55	5 51	11 45	0 6 57	− 2 36 18	0,8302
Jul.	9	23 30	5 34	11 35	0 28 53	− 0 30 11	0,7705
	19	23 5	5 15	11 22	0 49 21	+ 1 25 33	0,7130
	29	22 38	4 54	11 7	1 7 55	+ 3 7 36	0,6580
Ago.	8	22 10	4 31	10 49	1 24 6	+ 4 33 28	0,6057
	18	21 39	4 4	10 26	1 37 9	+ 5 40 29	0,5567
	28	21 6	3 34	9 58	1 46 12	+ 6 26 1	0,5119
Set.	7	20 29	2 59	9 24	1 50 26	+ 6 48 52	0,4730
	17	19 48	2 18	8 43	1 49 7	+ 6 48 25	0,4420
	27	19 3	1 32	7 56	1 42 18	+ 6 27 3	0,4218
Oct.	7	18 15	0 41	7 3	1 31 17	+ 5 52 32	0,4149
	17	17 25	23 44	6 9	1 18 34	+ 5 16 28	0,4236
	27	16 36	22 54	5 17	1 7 17	+ 4 52 54	0,4485
Nov.	6	15 49	22 8	4 31	0 59 53	+ 4 52 0	0,4885
	16	15 6	21 27	3 51	0 57 25	+ 5 16 51	0,5418
	26	14 27	20 50	3 17	0 59 58	+ 6 6 26	0,6060
Dic.	6	13 51	20 18	2 48	1 6 54	+ 7 16 32	0,6791
	16	13 17	19 50	2 25	1 17 28	+ 8 42 8	0,7592
	26	12 46	19 24	2 5	1 31 0	+10 19 0	0,8450

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

MARTE 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	18,17	4,29	1,6	4,4	24,3	0,956	0,19	44,6	10,6	37,3
Ene 21	16,92	4,60	1,5	4,4	28,1	0,941	0,27	210,3	5,0	33,9
Feb 10	15,60	4,99	1,3	4,4	31,7	0,926	0,37	16,1	– 1,0	28,6
Mar 1	14,24	5,47	1,1	4,4	35,1	0,909	0,50	181,8	– 6,9	21,8
Mar 21	12,88	6,05	0,9	4,4	38,2	0,893	0,65	347,1	– 12,4	13,8
Abr 10	11,56	6,74	0,7	4,4	41,0	0,877	0,83	151,7	– 17,3	5,0
Abr 30	10,28	7,58	0,4	4,4	43,4	0,863	1,03	315,7	– 21,0	356,1
May 20	9,08	8,58	0,1	4,3	45,2	0,852	1,27	119,3	– 23,4	347,4
Jun 9	7,95	9,79	–0,2	4,3	46,4	0,845	1,52	282,9	– 24,3	339,5
Jun 29	6,90	11,28	–0,5	4,3	46,5	0,844	1,76	87,3	– 23,6	332,9
Jul 19	5,93	13,14	–0,9	4,3	45,3	0,852	1,94	253,2	– 21,9	328,1
Ago 8	5,04	15,47	–1,3	4,3	41,8	0,873	1,97	61,7	– 19,7	325,2
Ago 28	4,26	18,30	–1,7	4,2	35,0	0,909	1,66	233,8	– 18,1	323,9
Set 17	3,68	21,19	–2,2	4,1	23,4	0,959	0,87	51,0	– 17,9	323,7
Oct 7	3,45	22,58	–2,6	3,9	6,9	0,996	0,08	233,2	– 19,8	324,6
Oct 27	3,73	20,89	–2,3	4,0	11,6	0,990	0,21	56,9	– 22,4	326,1
Nov 16	4,51	17,29	–1,6	4,2	25,3	0,952	0,83	236,5	– 24,1	326,7
Dic 6	5,65	13,79	–1,0	4,3	33,7	0,916	1,16	50,7	– 24,4	325,6
Dic 26	7,03	11,09	–0,4	4,4	37,9	0,894	1,17	221,0	– 23,5	323,6



JUPITER 2020

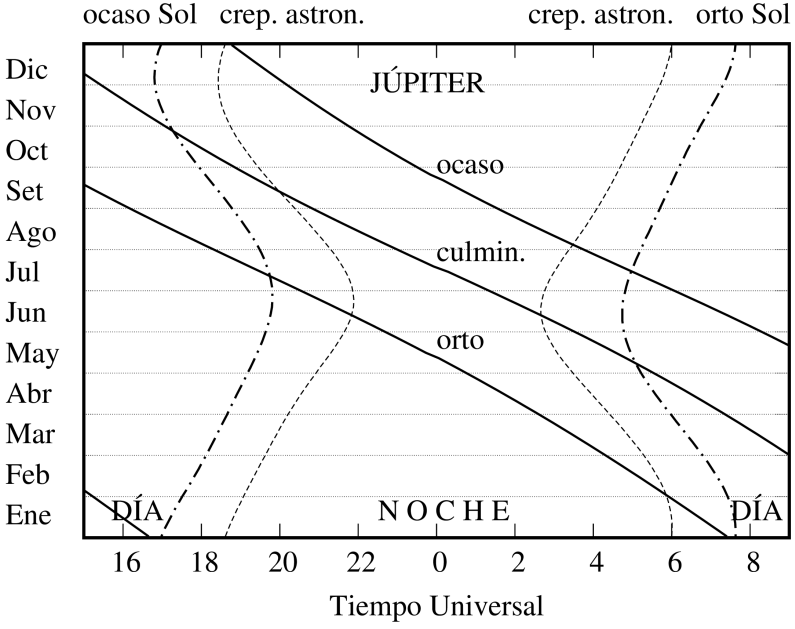
		en Madrid (TU)			a 0^h de TU		
Mes	día	Orto	Culm.	Ocaso	Asc. recta	Declinación	Distancia
		h m	*h m*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	ua
Ene.	1	7 24	12 2	16 39	18 29 2	−23 10 47	6,2089
	11	6 55	11 32	16 10	18 39 0	−23 3 36	6,1849
	21	6 24	11 3	15 42	18 48 50	−22 54 13	6,1398
	31	5 54	10 33	15 13	18 58 25	−22 42 53	6,0742
Feb.	10	5 23	10 3	14 43	19 7 38	−22 29 57	5,9891
	20	4 51	9 32	14 14	19 16 24	−22 15 53	5,8862
Mar.	1	4 19	9 1	13 43	19 24 36	−22 1 10	5,7671
	11	3 46	8 29	13 13	19 32 8	−21 46 23	5,6341
	21	3 12	7 57	12 41	19 38 53	−21 32 10	5,4897
	31	2 38	7 23	12 8	19 44 44	−21 19 11	5,3367
Abr.	10	2 3	6 49	11 34	19 49 35	−21 8 6	5,1784
	20	1 27	6 13	10 59	19 53 20	−20 59 31	5,0181
	30	0 49	5 36	10 23	19 55 53	−20 54 0	4,8597
May.	10	0 11	4 58	9 45	19 57 10	−20 51 58	4,7073
	20	23 28	4 19	9 5	19 57 8	−20 53 40	4,5649
	30	22 48	3 38	8 24	19 55 47	−20 59 3	4,4369
Jun.	9	22 6	2 56	7 42	19 53 11	−21 7 49	4,3274
	19	21 24	2 13	6 58	19 49 28	−21 19 21	4,2403
	29	20 41	1 29	6 13	19 44 50	−21 32 45	4,1788
Jul.	9	19 57	0 45	5 28	19 39 38	−21 46 58	4,1454
	19	19 14	23 55	4 42	19 34 10	−22 0 57	4,1412
	29	18 30	23 11	3 56	19 28 53	−22 13 45	4,1665
Ago.	8	17 47	22 27	3 12	19 24 7	−22 24 38	4,2200
	18	17 4	21 44	2 28	19 20 13	−22 33 11	4,2993
	28	16 23	21 2	1 45	19 17 26	−22 39 9	4,4014
Set.	7	15 42	20 21	1 4	19 15 56	−22 42 30	4,5223
	17	15 3	19 42	0 25	19 15 48	−22 43 14	4,6579
	27	14 25	19 4	23 43	19 17 3	−22 41 23	4,8038
Oct.	7	13 48	18 27	23 7	19 19 37	−22 36 55	4,9556
	17	13 12	17 52	22 32	19 23 26	−22 29 49	5,1094
	27	12 37	17 17	21 58	19 28 25	−22 19 58	5,2613
Nov.	6	12 2	16 44	21 26	19 34 24	−22 7 16	5,4075
	16	11 29	16 12	20 55	19 41 16	−21 51 37	5,5452
	26	10 56	15 40	20 24	19 48 54	−21 32 57	5,6711
Dic.	6	10 23	15 9	19 55	19 57 10	−21 11 13	5,7830
	16	9 51	14 38	19 26	20 5 56	−20 46 27	5,8788
	26	9 19	14 8	18 58	20 15 6	−20 18 43	5,9565

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

JUPITER 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	51,64	31,75	–1,8	5,3	0,6	0,00	311,0	– 2,3	356,1
Ene 21	51,06	32,11	–1,9	5,3	3,5	0,03	77,5	– 2,2	354,0
Feb 10	49,81	32,92	–1,9	5,3	6,2	0,10	204,7	– 2,0	352,0
Mar 1	47,96	34,18	–2,0	5,4	8,5	0,19	332,6	– 1,9	350,3
Mar 21	45,66	35,91	–2,1	5,4	10,2	0,29	101,3	– 1,8	348,9
Abr 10	43,07	38,07	–2,2	5,4	11,1	0,36	231,1	– 1,6	347,8
Abr 30	40,42	40,57	–2,3	5,4	10,9	0,37	2,0	– 1,5	347,2
May 20	37,96	43,19	–2,5	5,4	9,5	0,30	133,9	– 1,5	347,1
Jun 9	35,99	45,56	–2,6	5,3	6,9	0,16	266,8	– 1,4	347,5
Jun 29	34,75	47,18	–2,7	5,3	3,2	0,04	40,2	– 1,4	348,3
Jul 19	34,44	47,61	–2,7	5,3	1,0	0,00	173,7	– 1,5	349,3
Ago 8	35,10	46,72	–2,7	5,3	5,0	0,09	306,4	– 1,5	350,3
Ago 28	36,61	44,79	–2,6	5,3	8,3	0,24	77,8	– 1,5	351,0
Set 17	38,74	42,33	–2,4	5,3	10,4	0,35	207,6	– 1,5	351,2
Oct 7	41,21	39,78	–2,3	5,4	11,2	0,38	335,9	– 1,4	350,8
Oct 27	43,76	37,47	–2,2	5,3	10,9	0,34	103,1	– 1,4	349,9
Nov 16	46,12	35,55	–2,1	5,3	9,6	0,25	229,4	– 1,3	348,6
Dic 6	48,10	34,09	–2,0	5,3	7,5	0,15	355,1	– 1,1	347,1
Dic 26	49,54	33,10	–2,0	5,3	5,0	0,06	120,7	– 1,0	345,4



SATURNO 2020

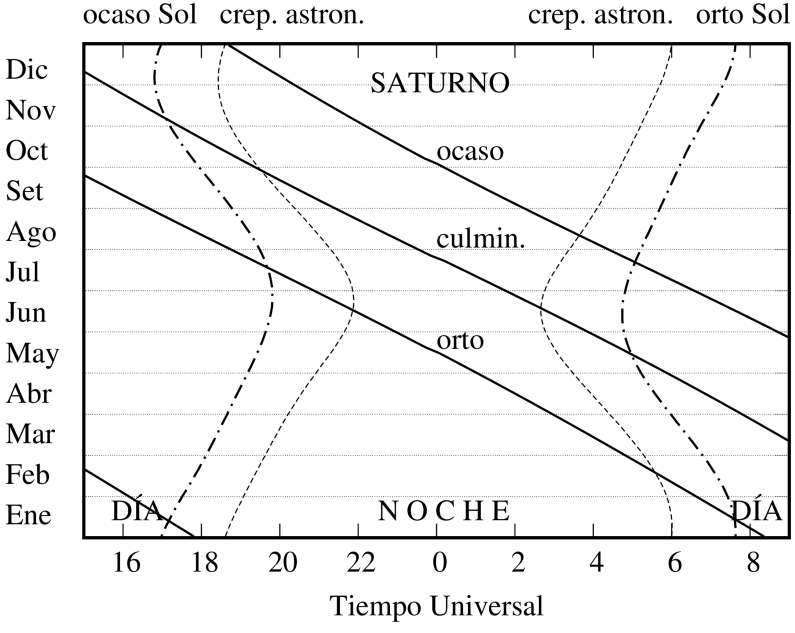
		en Madrid (TU)			a 0^h de TU		
Mes	día	Orto	Culm.	Ocaso	Asc. recta	Declinación	Distancia
		h m	*h m*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	ua
Ene.	1	8 21	13 5	17 48	19 32 27	−21 41 3	10,9964
	11	7 46	12 31	17 15	19 37 28	−21 30 26	11,0157
	21	7 11	11 56	16 41	19 42 29	−21 19 12	11,0091
	31	6 36	11 22	16 8	19 47 27	−21 7 34	10,9764
Feb.	10	6 1	10 47	15 34	19 52 14	−20 55 46	10,9186
	20	5 25	10 12	15 0	19 56 49	−20 44 4	10,8371
Mar.	1	4 49	9 37	14 26	20 1 4	−20 32 47	10,7337
	11	4 13	9 2	13 51	20 4 57	−20 22 14	10,6110
	21	3 36	8 26	13 16	20 8 23	−20 12 43	10,4720
	31	2 59	7 50	12 40	20 11 19	−20 4 32	10,3201
Abr.	10	2 22	7 13	12 3	20 13 40	−19 57 59	10,1591
	20	1 44	6 35	11 26	20 15 25	−19 53 18	9,9932
	30	1 6	5 57	10 48	20 16 31	−19 50 41	9,8266
May.	10	0 27	5 18	10 9	20 16 57	−19 50 14	9,6642
	20	23 43	4 38	9 29	20 16 42	−19 52 0	9,5103
	30	23 3	3 58	8 49	20 15 48	−19 55 53	9,3695
Jun.	9	22 23	3 17	8 7	20 14 17	−20 1 43	9,2462
	19	21 42	2 36	7 25	20 12 14	−20 9 13	9,1441
	29	21 1	1 54	6 43	20 9 43	−20 18 0	9,0667
Jul.	9	20 19	1 12	6 0	20 6 53	−20 27 36	9,0166
	19	19 38	0 30	5 17	20 3 51	−20 37 32	8,9954
	29	18 56	23 43	4 34	20 0 46	−20 47 19	9,0040
Ago.	8	18 14	23 1	3 51	19 57 49	−20 56 30	9,0421
	18	17 33	22 19	3 9	19 55 8	−21 4 42	9,1083
	28	16 52	21 37	2 27	19 52 51	−21 11 34	9,2005
Set.	7	16 11	20 56	1 45	19 51 5	−21 16 54	9,3155
	17	15 31	20 16	1 5	19 49 56	−21 20 32	9,4496
	27	14 51	19 36	0 25	19 49 26	−21 22 22	9,5986
Oct.	7	14 12	18 57	23 42	19 49 38	−21 22 21	9,7577
	17	13 34	18 19	23 4	19 50 32	−21 20 29	9,9224
	27	12 56	17 41	22 26	19 52 7	−21 16 46	10,0879
Nov.	6	12 18	17 4	21 49	19 54 21	−21 11 14	10,2494
	16	11 41	16 27	21 13	19 57 10	−21 3 57	10,4028
	26	11 5	15 51	20 38	20 0 31	−20 54 59	10,5440
Dic.	6	10 28	15 16	20 3	20 4 20	−20 44 26	10,6692
	16	9 52	14 41	19 29	20 8 31	−20 32 24	10,7755
	26	9 17	14 6	18 55	20 13 1	−20 19 3	10,8602

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

SATURNO 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	91,45	15,11	0,6	6,8	1,1	0,00	87,2	28,2	6,6
Ene 21	91,56	15,10	0,6	6,8	0,6	0,00	100,5	27,5	6,7
Feb 10	90,81	15,22	0,7	6,9	2,3	0,01	114,4	26,7	6,7
Mar 1	89,27	15,48	0,7	6,9	3,8	0,02	129,0	26,0	6,7
Mar 21	87,09	15,87	0,7	7,0	5,0	0,03	144,3	25,4	6,8
Abr 10	84,49	16,36	0,6	7,0	5,6	0,04	160,4	24,9	6,8
Abr 30	81,73	16,91	0,6	7,0	5,7	0,04	177,1	24,7	6,8
May 20	79,09	17,48	0,5	7,0	5,1	0,04	194,4	24,7	6,8
Jun 9	76,90	17,97	0,4	6,9	3,9	0,02	212,1	25,0	6,8
Jun 29	75,41	18,33	0,3	6,9	2,2	0,01	230,0	25,5	6,8
Jul 19	74,81	18,48	0,1	6,8	0,2	0,00	247,6	26,0	6,8
Ago 8	75,20	18,38	0,2	6,9	1,8	0,00	264,7	26,6	6,7
Ago 28	76,52	18,06	0,3	6,9	3,6	0,02	281,1	27,0	6,7
Set 17	78,59	17,59	0,4	6,9	4,9	0,03	296,5	27,3	6,7
Oct 7	81,15	17,03	0,5	7,0	5,6	0,04	311,0	27,3	6,7
Oct 27	83,90	16,47	0,6	7,0	5,6	0,04	324,7	27,1	6,7
Nov 16	86,52	15,98	0,6	7,0	5,1	0,03	337,9	26,7	6,7
Dic 6	88,73	15,58	0,7	6,9	4,0	0,02	350,8	26,1	6,8
Dic 26	90,32	15,30	0,7	6,9	2,5	0,01	3,6	25,4	6,8



URANO 2020

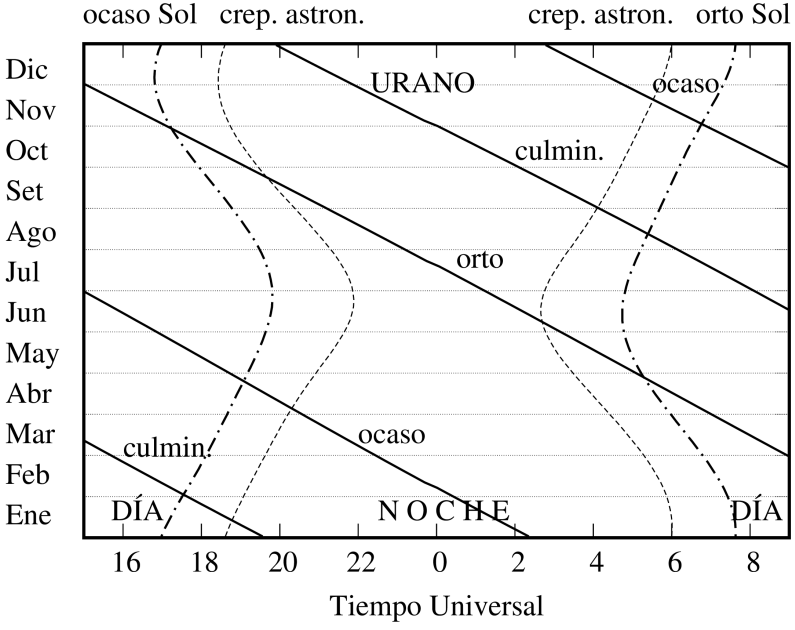
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia ua
Ene.	1	12 50	19 34	2 21	2 2 39	+11 56 30	19,4188
	11	12 11	18 54	1 42	2 2 29	+11 55 54	19,5823
	21	11 32	18 15	1 3	2 2 38	+11 57 5	19,7523
	31	10 53	17 36	0 24	2 3 8	+12 0 2	19,9235
Feb.	10	10 14	16 58	23 42	2 3 56	+12 4 42	20,0908
	20	9 35	16 20	23 4	2 5 3	+12 10 56	20,2491
Mar.	1	8 57	15 42	22 27	2 6 27	+12 18 34	20,3942
	11	8 19	15 4	21 49	2 8 5	+12 27 25	20,5220
	21	7 41	14 27	21 13	2 9 55	+12 37 15	20,6292
	31	7 3	13 49	20 36	2 11 55	+12 47 49	20,7132
Abr.	10	6 25	13 12	19 59	2 14 2	+12 58 54	20,7719
	20	5 47	12 35	19 23	2 16 14	+13 10 16	20,8042
	30	5 9	11 58	18 47	2 18 27	+13 21 40	20,8093
May.	10	4 31	11 21	18 10	2 20 41	+13 32 53	20,7874
	20	3 53	10 43	17 34	2 22 50	+13 43 42	20,7392
	30	3 16	10 6	16 57	2 24 54	+13 53 55	20,6658
Jun.	9	2 38	9 29	16 20	2 26 50	+14 3 20	20,5694
	19	1 59	8 51	15 43	2 28 35	+14 11 48	20,4522
	29	1 21	8 13	15 6	2 30 8	+14 19 9	20,3172
Jul.	9	0 43	7 35	14 28	2 31 26	+14 25 15	20,1678
	19	0 4	6 57	13 50	2 32 27	+14 30 0	20,0077
	29	23 21	6 18	13 12	2 33 10	+14 33 17	19,8411
Ago.	8	22 42	5 40	12 33	2 33 35	+14 35 4	19,6725
	18	22 3	5 0	11 54	2 33 40	+14 35 19	19,5065
	28	21 24	4 21	11 14	2 33 26	+14 34 2	19,3477
Set.	7	20 44	3 41	10 34	2 32 53	+14 31 16	19,2011
	17	20 4	3 1	9 53	2 32 2	+14 27 8	19,0709
	27	19 24	2 20	9 13	2 30 56	+14 21 45	18,9615
Oct.	7	18 44	1 40	8 32	2 29 37	+14 15 21	18,8764
	17	18 3	0 59	7 50	2 28 9	+14 8 10	18,8186
	27	17 23	0 18	7 9	2 26 34	+14 0 31	18,7904
Nov.	6	16 43	23 33	6 28	2 24 58	+13 52 42	18,7928
	16	16 2	22 52	5 46	2 23 24	+13 45 3	18,8259
	26	15 22	22 11	5 5	2 21 56	+13 37 58	18,8889
Dic.	6	14 42	21 31	4 24	2 20 38	+13 31 43	18,9795
	16	14 2	20 50	3 43	2 19 34	+13 26 38	19,0950
	26	13 22	20 10	3 3	2 18 47	+13 22 55	19,2313

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

URANO 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	a.fase °	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	161,50	3,63	5,8	2,6	166,2	45,7	260,3
Ene 21	164,27	3,57	5,8	2,8	108,4	45,7	260,3
Feb 10	167,09	3,51	5,9	2,7	50,7	46,0	260,5
Mar 1	169,61	3,46	5,9	2,3	353,2	46,6	260,7
Mar 21	171,57	3,42	5,9	1,6	296,0	47,5	261,1
Abr 10	172,75	3,39	5,9	0,8	239,1	48,6	261,6
Abr 30	173,07	3,39	5,9	0,2	182,5	49,7	262,0
May 20	172,48	3,40	5,9	1,1	126,3	50,8	262,6
Jun 9	171,07	3,43	5,9	1,9	70,3	51,8	263,0
Jun 29	168,97	3,47	5,9	2,5	14,5	52,6	263,4
Jul 19	166,40	3,52	5,8	2,9	318,8	53,2	263,7
Ago 8	163,61	3,58	5,8	2,9	263,0	53,4	263,9
Ago 28	160,91	3,64	5,8	2,7	207,1	53,4	263,9
Set 17	158,61	3,70	5,7	2,1	151,0	53,1	263,7
Oct 7	156,99	3,73	5,7	1,2	94,6	52,5	263,4
Oct 27	156,27	3,75	5,7	0,2	37,8	51,7	263,0
Nov 16	156,57	3,74	5,7	0,8	340,6	50,9	262,6
Dic 6	157,85	3,71	5,7	1,7	283,2	50,2	262,3
Dic 26	159,94	3,66	5,8	2,4	225,5	49,8	262,1



NEPTUNO 2020

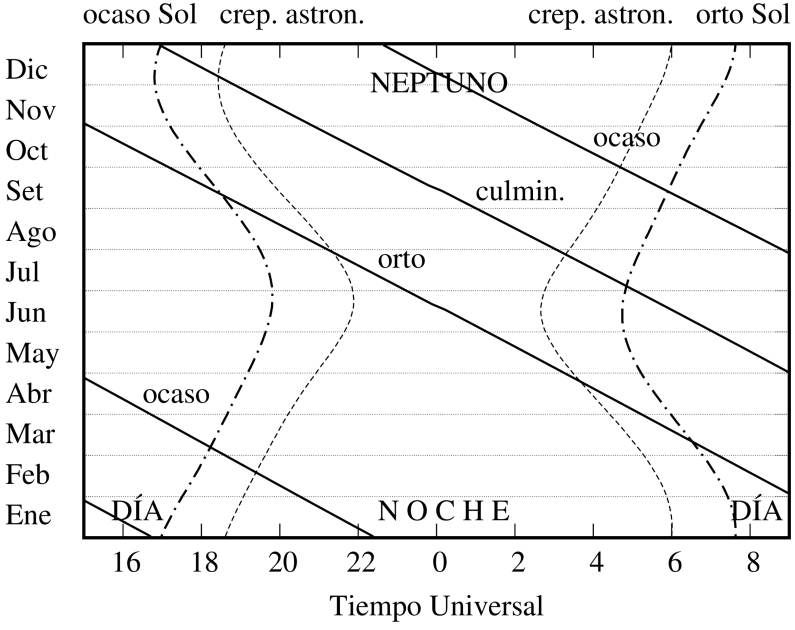
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia ua
Ene.	1	11 2	16 43	22 23	23 11 2	− 6 21 52	30,3152
	11	10 24	16 4	21 45	23 11 50	− 6 16 36	30,4673
	21	9 45	15 26	21 7	23 12 48	− 6 10 18	30,6030
	31	9 6	14 48	20 29	23 13 55	− 6 3 6	30,7185
Feb.	10	8 28	14 9	19 51	23 15 9	− 5 55 13	30,8103
	20	7 49	13 31	19 14	23 16 28	− 5 46 48	30,8762
Mar.	1	7 11	12 54	18 36	23 17 51	− 5 38 5	30,9144
	11	6 32	12 16	17 59	23 19 15	− 5 29 14	30,9240
	21	5 54	11 38	17 22	23 20 39	− 5 20 29	30,9052
	31	5 15	11 0	16 44	23 22 1	− 5 12 2	30,8585
Abr.	10	4 37	10 22	16 6	23 23 18	− 5 4 3	30,7854
	20	3 58	9 44	15 29	23 24 30	− 4 56 43	30,6881
	30	3 20	9 5	14 51	23 25 34	− 4 50 12	30,5694
May.	10	2 41	8 27	14 13	23 26 30	− 4 44 39	30,4327
	20	2 2	7 48	13 34	23 27 16	− 4 40 11	30,2816
	30	1 23	7 10	12 56	23 27 51	− 4 36 54	30,1203
Jun.	9	0 44	6 31	12 17	23 28 15	− 4 34 51	29,9534
	19	0 5	5 52	11 38	23 28 27	− 4 34 5	29,7853
	29	23 22	5 12	10 59	23 28 26	− 4 34 36	29,6207
Jul.	9	22 42	4 33	10 19	23 28 14	− 4 36 22	29,4645
	19	22 3	3 53	9 39	23 27 51	− 4 39 19	29,3209
	29	21 23	3 13	8 59	23 27 17	− 4 43 20	29,1943
Ago.	8	20 43	2 33	8 19	23 26 34	− 4 48 15	29,0884
	18	20 4	1 53	7 38	23 25 44	− 4 53 55	29,0065
	28	19 24	1 13	6 58	23 24 48	− 5 0 8	28,9514
Set.	7	18 44	0 32	6 17	23 23 48	− 5 6 38	28,9248
	17	18 4	23 48	5 36	23 22 48	− 5 13 12	28,9276
	27	17 24	23 8	4 56	23 21 48	− 5 19 34	28,9604
Oct.	7	16 44	22 27	4 15	23 20 51	− 5 25 30	29,0219
	17	16 4	21 47	3 35	23 20 1	− 5 30 46	29,1107
	27	15 24	21 7	2 54	23 19 18	− 5 35 8	29,2241
Nov.	6	14 45	20 27	2 14	23 18 44	− 5 38 26	29,3585
	16	14 5	19 48	1 34	23 18 22	− 5 40 33	29,5100
	26	13 26	19 8	0 55	23 18 11	− 5 41 22	29,6739
Dic.	6	12 46	18 29	0 16	23 18 13	− 5 40 50	29,8449
	16	12 7	17 50	23 33	23 18 28	− 5 38 56	30,0181
	26	11 28	17 11	22 54	23 18 56	− 5 35 44	30,1880

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. Las coordenadas ecuatoriales vienen dadas para las 0^h de TU. La distancia a la Tierra viene dada en unidades astronómicas:

1 ua = 149 597 870 700 m

NEPTUNO 2020

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	a.fase °	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	252,12	2,25	7,8	1,7	352,9	– 24,9	323,4
Ene 21	254,52	2,23	7,8	1,4	277,8	– 24,8	323,1
Feb 10	256,24	2,22	7,8	0,8	202,7	– 24,6	322,8
Mar 1	257,11	2,21	7,8	0,2	127,9	– 24,5	322,4
Mar 21	257,03	2,21	7,8	0,4	53,4	– 24,3	322,0
Abr 10	256,03	2,22	7,8	1,0	339,2	– 24,1	321,6
Abr 30	254,24	2,23	7,8	1,5	265,5	– 23,9	321,3
May 20	251,84	2,26	7,8	1,8	192,2	– 23,8	321,1
Jun 9	249,11	2,28	7,8	1,9	119,2	– 23,7	321,0
Jun 29	246,35	2,31	7,7	1,9	46,5	– 23,6	321,0
Jul 19	243,85	2,33	7,7	1,6	333,8	– 23,7	321,1
Ago 8	241,92	2,35	7,7	1,1	261,2	– 23,8	321,2
Ago 28	240,78	2,36	7,7	0,5	188,3	– 23,9	321,5
Set 17	240,58	2,36	7,7	0,2	115,3	– 24,0	321,7
Oct 7	241,37	2,35	7,7	0,8	41,8	– 24,2	322,0
Oct 27	243,05	2,34	7,7	1,4	327,9	– 24,3	322,2
Nov 16	245,43	2,31	7,7	1,7	253,5	– 24,4	322,3
Dic 6	248,21	2,29	7,8	1,9	178,7	– 24,4	322,4
Dic 26	251,07	2,26	7,8	1,8	103,7	– 24,3	322,3



Ortos y ocasos de los planetas

En las tablas de efemérides planetarias constan los instantes (TU) de salida y puesta de cada planeta en Madrid cada diez días. El instante de orto u ocaso de cualquier día intermedio se obtiene por interpolación (de 2do grado es suficiente para todos los planetas excepto Mercurio).

Para conocer el instante de salida o de puesta de un planeta en otro lugar de España es necesario aplicar dos correcciones, una debida a la diferente latitud y otra debida a la diferente longitud. Son aplicables aquí el procedimiento y comentarios realizados en el caso de la Luna (ver el apartado **Ortos y ocasos de la Luna**). Para un lugar de longitud λ es:

orto = orto en Madrid $- 15^m - \lambda +$ corrección por latitud
ocaso = ocaso en Madrid $- 15^m - \lambda -$ corrección por latitud

Los instantes de orto y ocaso determinados con este procedimiento son aproximados, pudiendo tener errores de algunos minutos debidos a redondeos en los cálculos e interpolaciones y las condiciones atmosféricas.

Corrección, en minutos, al orto y ocaso de los planetas en función de su declinación y de la latitud del lugar

δ	Latitud, ϕ										
(°)	28°	32°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°
–30	–45	–33	–18	–14	–10	–6	–2	3	7	12	17
–27	–39	–28	–16	–12	–9	–5	–2	2	6	10	15
–24	–34	–24	–13	–10	–8	–4	–1	2	5	9	12
–21	–29	–20	–11	–9	–6	–4	–1	2	4	7	10
–18	–24	–17	–9	–7	–5	–3	–1	1	4	6	9
–15	–20	–14	–8	–6	–4	–3	–1	1	3	5	7
–12	–15	–11	–6	–5	–3	–2	–1	1	2	4	5
–9	–11	–8	–4	–3	–2	–1	0	1	2	3	4
–6	–7	–5	–3	–2	–2	–1	0	0	1	2	3
–3	–3	–2	–1	–1	–1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	3	2	1	1	1	0	0	–1	–1	–2
6	8	6	3	3	2	1	0	0	–1	–2	–3
9	12	9	5	4	3	2	0	–1	–2	–3	–4
12	16	12	6	5	4	2	1	–1	–3	–4	–6
15	20	15	8	6	5	3	1	–1	–3	–5	–7
18	25	18	10	8	6	3	1	–1	–4	–6	–9
21	30	21	12	9	7	4	1	–2	–5	–8	–11
24	35	25	14	11	8	5	1	–2	–6	–9	–13
27	41	29	16	13	9	5	2	–2	–7	–11	–15
30	47	34	19	15	11	6	2	–3	–8	–13	–18

Paso de los planetas por el meridiano

El instante aproximado de paso de un planeta por el meridiano se puede calcular mediante interpolación para la fecha correspondiente del instante de culminación en Madrid y la corrección por la longitud del lugar λ_E:

$$\text{paso meridiano} = \text{paso meridiano Madrid} - 15^{\text{m}} - \lambda_E$$

Fórmulas

Algunas fórmulas útiles para realizar cálculos aproximados relativos a las órbitas planetarias son las siguientes:

Anomalía media: $\mathrm{M} = \mathrm{L} - \varpi$
Anomalía verdadera: $v \simeq \mathrm{M} + 2\,e\,\operatorname{sen} M + 1{,}25\,e^2\,\operatorname{sen}(2M)$
Longitud verdadera: $L_v = v + \varpi$

Distancia al Sol :

$$r = \frac{a\,(1-e^2)}{1+e\cos v} = \frac{qQ}{a(1+e\cos v)}$$

Velocidad de traslación:

$$V \simeq \frac{\sqrt{G\mathcal{M}_\odot\, a}}{r} \simeq \frac{2\pi a^2}{Pr}, \quad \text{para } e < 0{,}1$$

que viene expresada en ua/año; 1 ua/año = 4,7405 km/s = 17 066 km/h.

En las fórmulas anteriores a es el semieje mayor (en ua), e es la excentricidad y P el periodo orbital (en años). Unos valores aproximados pueden encontrarse en las tablas de **Elementos orbitales**, aunque se refieran a la época J2000. Valores adecuados para la longitud media **L** y la longitud del perihelio ϖ para el año en curso vienen dados en la tabla siguiente:

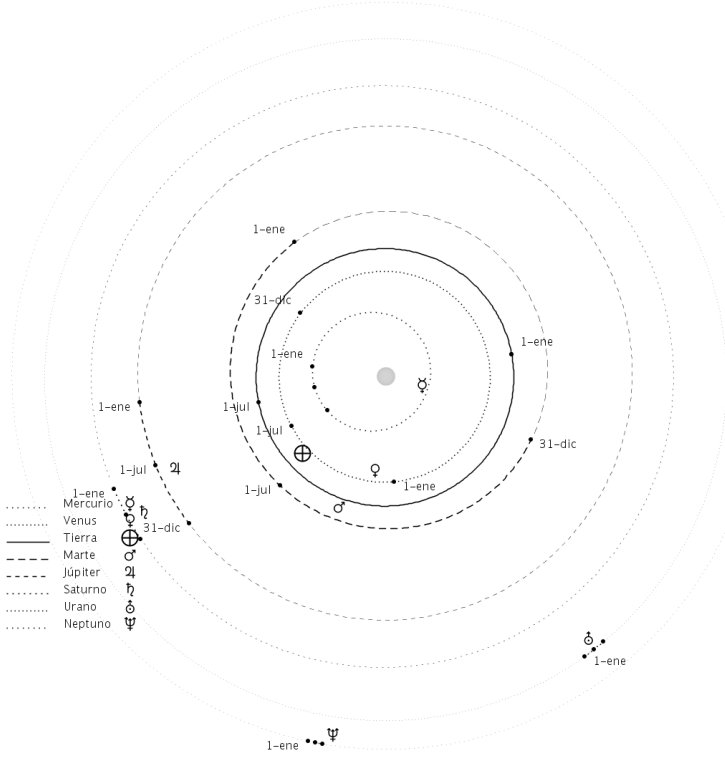
Planeta	Longitud media L	Longitud del perihelio ϖ
Mercurio	$262{,}^\circ69 + 4{,}^\circ09234\,d$	$77{,}^\circ490$
Venus	$3{,}^\circ94 + 1{,}^\circ60213\,d$	$131{,}^\circ643$
Tierra+Luna	$99{,}^\circ35 + 0{,}^\circ98561\,d$	$102{,}^\circ992$
Marte	$222{,}^\circ98 + 0{,}^\circ52403\,d$	$336{,}^\circ155$
Júpiter	$281{,}^\circ28 + 0{,}^\circ08305\,d$	$13{,}^\circ972$
Saturno	$294{,}^\circ36 + 0{,}^\circ03367\,d$	$91{,}^\circ675 - 0{,}^\circ00421\,d$
Urano	$38{,}^\circ72 + 0{,}^\circ01161\,d$	$172{,}^\circ907 - 0{,}^\circ00375\,d$
Neptuno	$348{,}^\circ30 + 0{,}^\circ00614\,d$	$21{,}^\circ339 - 0{,}^\circ01855\,d$

donde d es el día del año.

Diámetro aparente: (tamaño angular a 1 ua) / (distancia a la Tierra)
Paralaje ecuatorial horizontal: $8{,}''794$ / (distancia a la Tierra)

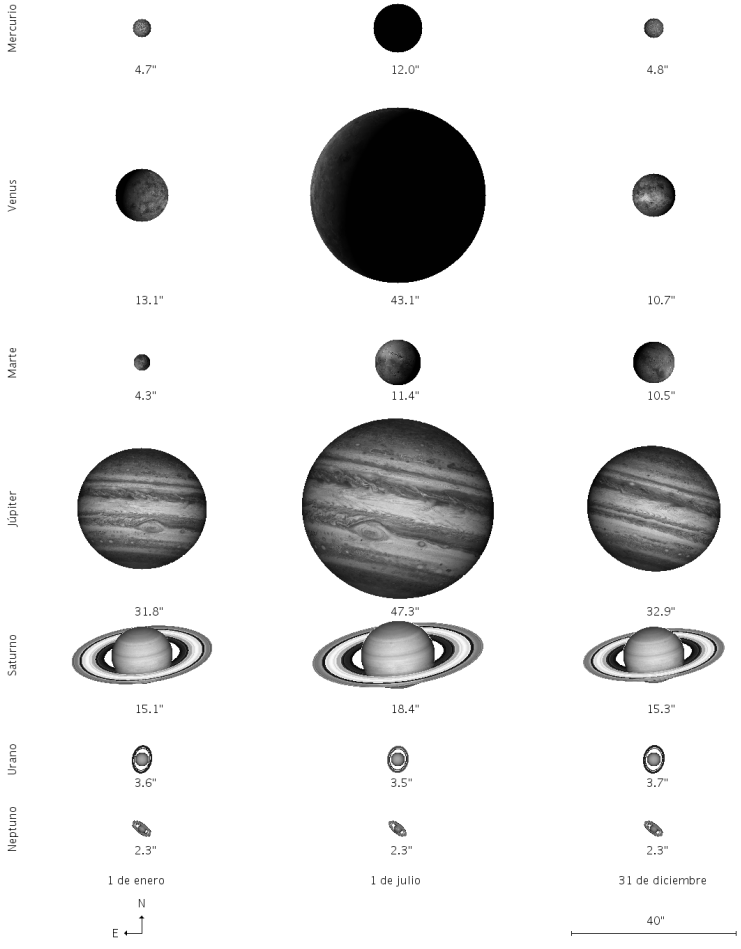
Posición heliocéntrica de los planetas

Vista de las trayectorias heliocéntricas de los planetas a lo largo del año desde una longitud de 0°. Las distancias de los planetas al Sol se muestran en escala logarítmica.



Orientaciones y tamaños de los planetas

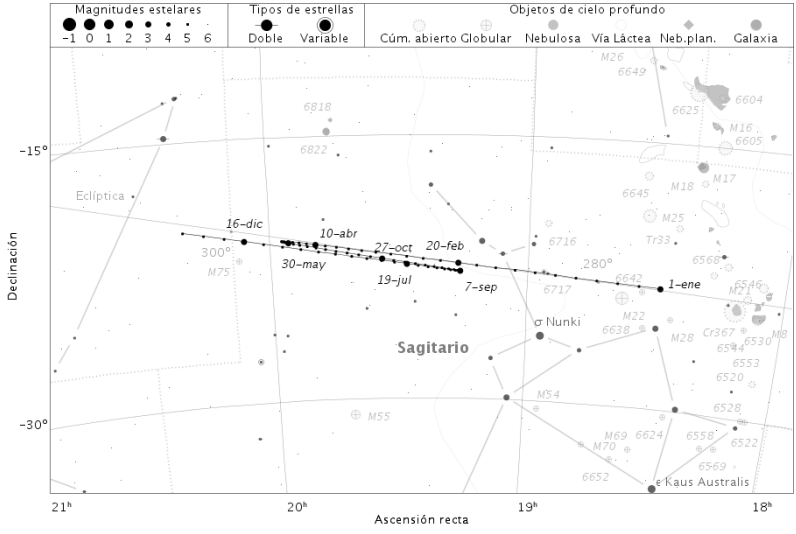
Aspecto aparente de los planetas los días 1 de enero, 1 de julio y 31 de diciembre, a las cero horas de Tiempo Universal. Las figuras están dibujadas a escala y orientadas con el Norte hacia arriba y el Este a la izquierda. Los valores que aparecen debajo de cada figura corresponden a los diámetros ecuatoriales de los planetas expresados en segundos de arco.



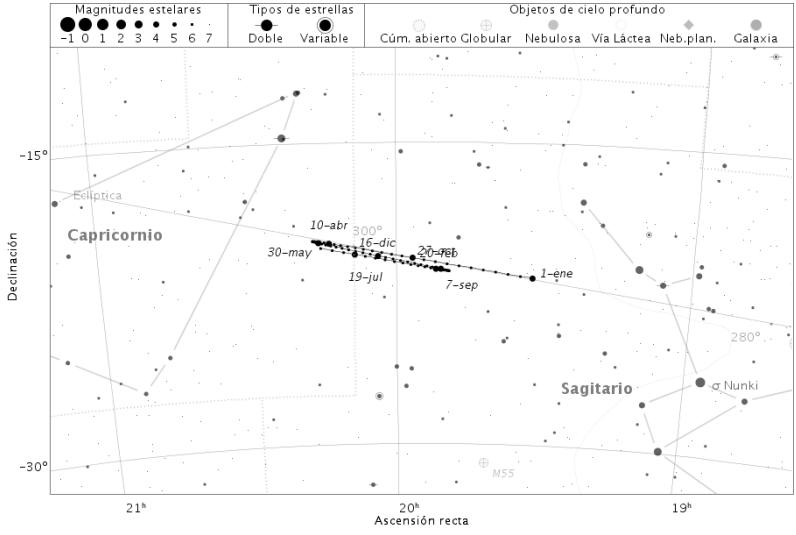
Trayectorias de los planetas a lo largo del año

Para Júpiter y Saturno los puntos en las trayectorias tienen una separación de 5 días y las fechas se muestran cada 50 días.

Júpiter

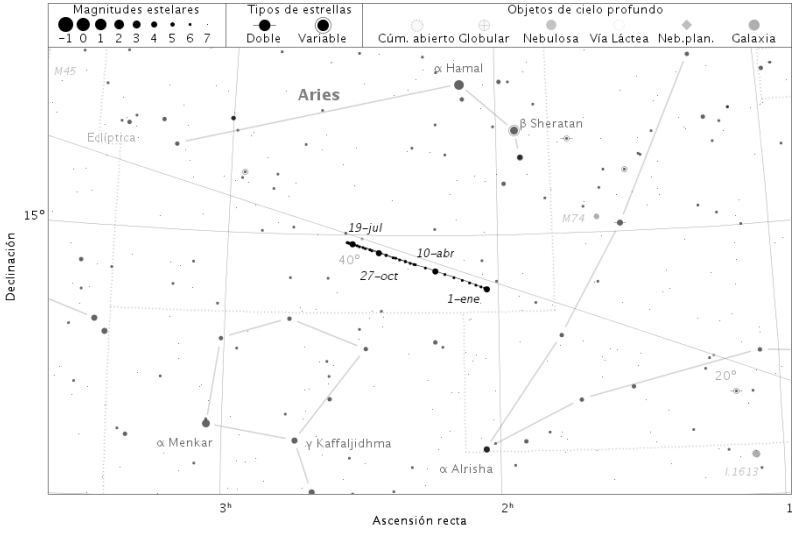


Saturno

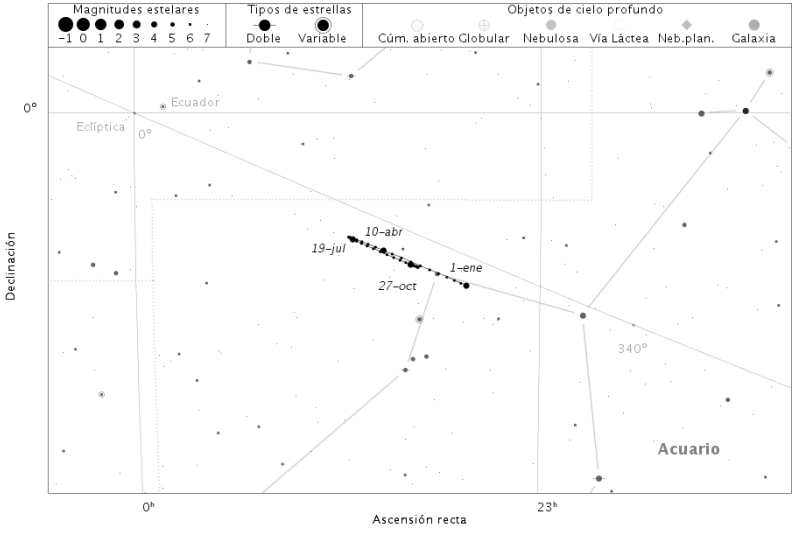


En el caso de Urano y Neptuno la separación en los puntos de la trayectoria es de 10 días con fechas cada 100 días.

Urano



Neptuno



SATÉLITES

Nombres de los satélites
Elementos orbitales de los satélites
Periodos y descubrimiento de los satélites
Datos físicos de los satélites
Posiciones de los satélites galileanos de Júpiter
Tabla de conversión de distancias en el sistema solar

En la actualidad se conocen 205 satélites naturales orbitando alrededor de los planetas principales del sistema solar.

Planeta	Número de satélites
Mercurio	0
Venus	0
Tierra	1
Marte	2
Júpiter	79
Saturno	82
Urano	27
Neptuno	14

Nombres de los satélites

La mayoría de satélites de los planetas del sistema solar han sido descubiertos del año 2000 en adelante. Antes del siglo XX sólo se conocían 22 satélites, algunos de los cuales habían recibido un nombre tradicional, como es el caso de la Luna, o un nombre dado por su descubridor, como es el caso Fobos y Deimos, los satélites de Marte que fueron nombrados por el estadounidense Asaph Hall a los pocos meses de descubrirlos en 1877, asignándoles el nombre de caballos que tiraban del carro del dios romano Marte.

En el caso de los cuatro satélites de Júpiter, descubiertos por el científico italiano Galileo Galilei en 1610, fue un astrónomo alemán coetáneo, Simon Marius, quien les dio los nombres de jóvenes relacionados con Júpiter en la mitología romana. Estos nombres no fueron usados sistemáticamente hasta mediados del siglo XX, usándose numerales para referirse a éstos y a los demás satélites descubiertos hasta entonces. Aun cuando la Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU) establecida en 1919 ha jugado desde entonces un papel de árbitro en la nomenclatura del sistema solar, no fue hasta la segunda mitad del siglo XX, con el desarrollo de la exploración del sistema solar, la cartografía de los planetas, el descubrimiento de miles de asteroides y de decenas de satélites, cuando se hizo indispensable un sistema riguroso de nomenclatura de los cuerpos del sistema solar y de sus accidentes geográficos. El comité establecido en 1973 es ahora conocido como el Grupo de Trabajo para la Nomenclatura del Sistema Planetario. Una de sus primeras tareas fue dar nombre a las siete lunas adicionales descubiertas alrededor de Júpiter. Se decidió usar nombres de amantes de Júpiter, aunque más recientemente, con el descubrimiento de decenas de nuevos satélites, ha habido que incluir descendientes del mitológico dios o de su equivalente griego Zeus, como son las Gracias y las Musas.

La decisión de nombrar los satélites de Saturno con nombres de titanes griegos fue tomada en 1847 por John Herschel, cuyo padre había descubierto los dos primeros. La UAI amplió las posibilidades admitiendo, inicialmente, los nombres de descendientes de titanes y, en el siglo XXI, los de gigantes de las mitologías nórdica, gala e inuit.

Fue nuevamente John Herschel quien, en 1852, decidió nombrar los cuatro satélites conocidos de Urano (planeta descubierto por su padre) con los nombres de espíritus mágicos sacados de obras de los escritores ingleses William Shakespeare y Alexander Pope (*El rizo robado*). En la actualidad se utilizan predominantemente personajes de las obras de Shakespeare.

El nombre del primer satélite conocido de Neptuno, Tritón, fue sugerido por Camille Flammarion, pero apenas fue usado hasta que en 1949 no se descubrió un segundo satélite. Éste y los posteriores han recibido el nombre de personajes mitológicos relacionados con el dios romano Neptuno, su equivalente griego Posidón o con los océanos, como son las Nereidas.

Elementos orbitales y datos físicos de los satélites

Los datos referentes a los satélites se detallan en tres tablas.

En la primera tabla, dedicada a los elementos orbitales, el semieje mayor de cada órbita viene dado en unidades de 10^3 km y del radio ecuatorial del planeta, R_P. Por *inclinación* se entiende la inclinación de la órbita con respecto del plano del ecuador del planeta, salvo en los últimos satélites descubiertos en Júpiter y Saturno, aún no numerados, en cuyo caso se refiere a la eclíptica. Cuando esta inclinación es mayor que 90°, la órbita es retrógrada; tal es el caso de Tritón. La elongación (o separación) máxima se refiere a la oposición media del planeta, viene dada en (°, ′, ″).

La segunda tabla está dedicada a los períodos y descubrimientos de cada satélite. Ambos periodos, de traslación y de rotación, vienen dados en días. Los periodos orbitales precedidos por la letra R se refieren a órbitas retrógradas. Los periodos de rotación son, en muchos casos, síncronos con la revolución alrededor del planeta, y así se indica en los casos en que ha podido determinarse.

En la actualidad los descubrimientos de satélites suelen ser realizados por equipos de investigadores. A fin de no recargar la tabla, en ella se utilizan acrónimos formados por sus iniciales. La referencia SJFM se refiere al equipo formado por S. Sheppard, D. Jewitt, Y. Fernandez y G. Magnier. La referencia KG se refiere al equipo formado por J. Kavelaars y B. Gladman, la referencia GK se refiere a B. Gladman y J. Kavelaars, las referencias SJK y JKS se refieren a S. Sheppard, D. Jewitt y J. Kleyna, HG se refiere a los equipos de Holman y Gladman, SL se refiere a los equipos de Showalter y Lissauer. En otros casos, cuando hay más de dos colaboradores se ha utilizado la expresión *et al* siguiendo al nombre del primer investigador.

La tercera tabla está dedicada a los datos físicos y fotométricos. No se ha indicado la masa cuando ésta es inferior a 10^{15} kg (10^{18} g). Cuando la forma del satélite es irregular, se da un tamaño medio precedido del símbolo $\simeq$. Cuando el tamaño del satélite es muy incierto, se da un tamaño estimado precedido del símbolo $\sim$.

La magnitud corresponde a la magnitud visual V en el instante de la oposición del planeta, salvo si viene seguida de la letra R que indica que se trata de la magnitud en rojo. No se indican magnitudes mayores que 26.

El albedo de Jápeto es, aproximadamente, de 0,6 en su lado brillante y 0,04 en el oscuro. En los satélites más pequeños, descubiertos en los últimos años, no se dispone de una medida del albedo, por lo que se suelen usar valores tentativos que no se han indicado en la tabla. El albedo que se suele considerar para los pequeños satélites es de 0,04 para los de Júpiter, 0,06 para los de Saturno, 0,07 para los de Urano y variables para los de Neptuno.

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
Tierra:						
	Luna	384,400	60,27	0,0554	5,160	
Marte:						
I	Fobos	9,376	2,76	0,0151	1,075	25″
II	Deimos	23,458	6,91	0,0002	1,788	1′ 03″
Júpiter:						
I	Io	421,8	5,90	0,0041	0,036	2′ 19″
II	Europa	671,1	9,39	0,0094	0,466	3′ 41″
III	Ganimedes	1070,4	14,97	0,0013	0,177	5′ 52″
IV	Calisto	1882,7	26,33	0,0074	0,192	10′ 19″
V	Amaltea	181,4	2,54	0,0032	0,380	1′ 00″
VI	Himalia	11460	160,30	0,1586	28,612	1° 02′ 39″
VII	Elara	11740	164,21	0,2108	27,945	1° 04′ 10″
VIII	Pasífae	23629	330,51	0,4062	151,413	2° 09′ 07″
IX	Sinope	23942	334,89	0,2552	158,189	2° 10′ 50″
X	Lisitea	11717	163,89	0,1161	27,663	1° 04′ 10″
XI	Carme	23401	327,32	0,2546	164,994	2° 07′ 52″
XII	Ananké	21254	297,29	0,2332	148,693	1° 56′ 09″
XIII	Leda	11164	156,16	0,1624	27,882	1° 01′ 02″
XIV	Tebe	221,9	3,10	0,0176	1,080	1′ 13″
XV	Adrastea	129	1,80	0,0018	0,054	42″
XVI	Metis	128	1,79	0,0012	0,019	42″
XVII	Calírroe	24099	337,09	0,2796	147,080	2° 11′ 41″
XVIII	Temisto	7504	104,96	0,2435	42,977	41′ 01″
XIX	Megaclite	23814	333,10	0,4156	152,781	2° 07′ 52″
XX	Táigete	23363	326,79	0,2523	165,253	2° 10′ 08″
XXI	Caldona	23181	324,25	0,2503	165,155	2° 06′ 40″
XXII	Harpálice	21106	295,22	0,2296	148,759	1° 55′ 21″
XXIII	Cálice	23565	329,62	0,2466	165,121	2° 08′ 46″
XXIV	Yocasta	21272	297,54	0,2152	149,411	1° 56′ 28″
XXV	Erínome	23286	325,71	0,2655	164,914	2° 07′ 15″
XXVI	Isonoe	23231	324,95	0,2471	165,250	2° 07′ 11″
XXVII	Praxídice	21148	295,81	0,2274	148,885	1° 55′ 48″
XXVIII	Autónoe	24037	336,22	0,3152	152,364	2° 11′ 21″
XXIX	Tione	21197	296,49	0,2307	148,595	1° 55′ 50″
XXX	Hermipé	21297	296,03	0,2095	150,740	1° 56′ 23″
XXXI	Aitné	23317	326,15	0,2627	165,048	2° 07′ 25″
XXXII	Eurídome	23146	323,76	0,2755	150,271	2° 06′ 29″
XXXIII	Euante	21039	294,28	0,2320	148,915	1° 54′ 59″
XXXIV	Euporia	19336	268,77	0,1438	145,740	1° 45′ 41″
XXXV	Ortosia	21158	295,95	0,2807	146,004	1° 55′ 38″
XXXVI	Sponde	23790	332,76	0,3112	150,997	2° 10′ 15″
XXXVII	Cale	23306	325,99	0,2597	164,944	2° 07′ 21″
XXXVIII	Pasítea	23091	322,99	0,2682	165,117	2° 06′ 11″

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
XXXIX	Hegémone	23575	329,76	0,3445	154,164	2° 08′ 49″
XL	Mneme	21033	294,20	0,2258	148,585	1° 54′ 57″
XLI	Aoede	23974	335,34	0,4325	158,272	2° 11′ 00″
XLII	Telxínoe	21160	295,98	0,2201	151,390	1° 55′ 38″
XLIII	Arque	23352	326,64	0,2495	165,015	2° 07′ 36″
XLIV	Calicore	23276	325,57	0,2509	165,102	2° 07′ 11″
XLV	Hélice	21065	294,65	0,1498	154,842	1° 55′ 07″
XLVI	Carpo	17056	238,57	0,4317	51,624	1° 33′ 13″
XLVII	Eucelade	23323	326,23	0,2619	165,265	2° 07′ 27″
XLVIII	Cilene	23800	332,90	0,4155	150,336	2° 10′ 03″
XLIX	Core	24482	342,44	0,3313	145,173	2° 13′ 46″
L	Herse	23408	327,42	0,2541	164,964	2° 07′ 55″
LI	S/2010 J1	23449	327,99	0,2491	165,100	2° 08′ 08″
LII	S/2010 J2	21004	293,80	0,2267	148,673	1° 54′ 47″
LIII	Día	12297	172,01	0,2320	28,631	1° 07′ 13″
LIV	Valetudo	20595	288,08	0,1404	139,839	1° 52′ 22″
LV	S/2003 J18	20508	286,86	0,0895	146,077	1° 52′ 05″
LVI	S/2011 J2	23124	323,45	0,3493	153,597	2° 06′ 22″
LVII	S/2003 J5	23495	328,64	0,2476	165,248	2° 08′ 23″
LVIII	S/2003 J15	22627	316,50	0,1899	146,492	2° 03′ 39″
LIX	S/2017 J1	23484	328,49	0,3969	149,196	2° 08′ 20″
LX	S/2003 J3	20221	282,84	0,1969	147,547	1° 50′ 31″
LXI	S/2003 J19	23533	329,17	0,2552	165,116	2° 08′ 36″
LXII	S/2016 J2	18980	264,4	0,222	34,0	1° 43′ 44″
LXIII	S/2017 J2	23303	326,0	0,236	166,4	2° 07′ 21″
LXIV	S/2017 J3	20694	289,5	0,148	147,9	1° 53′ 06″
LXV	S/2017 J4	11525	261,2	0,180	28,15	1° 03′ 00″
LXVI	S/2017 J5	23232	325,0	0,284	164,3	2° 06′ 57″
LXVII	S/2017 J6	22455	314,1	0,557	155,2	2° 02′ 43″
LXVIII	S/2017 J7	20627	288,5	0,215	143,4	1° 52′ 44″
LXIX	S/2017 J8	23233	325,0	0,312	164,7	2° 06′ 57″
LXX	S/2017 J9	21487	300,6	0,229	152,7	1° 57′ 26″
LXXI	S/2018 J1	11483	160,6	0,094	30,61	1° 02′ 46″
LXXII	S/2011 J1	23446	327,95	0,2534	165,318	2° 08′ 07″
	S/2003 J2	28347	396,51	0,4100	157,291	2° 34′ 52″
	S/2003 J4	23929	334,71	0,3624	149,589	2° 10′ 45″
	S/2003 J9	23385	327,10	0,2632	165,047	2° 08′ 02″
	S/2003 J10	23042	322,30	0,4299	165,073	2° 06′ 09″
	S/2003 J12	17830	249,40	0,4904	151,003	1° 37′ 27″
	S/2003 J16	21097	295,10	0,2281	148,683	1° 55′ 18″
	S/2003 J23	23567	329,65	0,2746	146,424	2° 08′ 47″
Saturno:						
I	Mimas	185,539	3,08	0,0196	1,574	30″
II	Encélado	238,042	3,95	0,0000	0,003	38″
III	Tetis	294,672	4,89	0,0001	1,091	48″

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
IV	Dione	377,415	6,26	0,0022	0,028	1′ 01″
V	Rea	527,068	8,75	0,0002	0,333	1′ 25″
VI	Titán	1221,865	20,27	0,0288	0,306	3′ 17″
VII	Hiperión	1500,933	24,90	0,0232	0,615	4′ 02″
VIII	Jápeto	3560,854	59,08	0,0293	8,298	9′ 35″
IX	Febe	12947,918	214,84	0,1634	175,243	34′ 51″
X	Jano	151,45	2,51	0,0098	0,165	24″
XI	Epimeteo	151,450	2,51	0,0161	0,353	24″
XII	Helena	377,444	6,26	∼0	0,213	1′ 01″
XIII	Telesto	294,71	4,89	0,0002	1,180	48″
XIV	Calipso	294,721	4,89	0,0005	1,500	48″
XV	Atlas	137,774	2,29	0,0011	0,003	22″
XVI	Prometeo	139,429	2,31	0,0022	0,007	23″
XVII	Pandora	141,810	2,35	0,0042	0,050	23″
XVIII	Pan	133,585	2,22	∼0	∼0	22″
XIX	Ymir	23128	383,75	0,3338	173,496	1° 02′ 15″
XX	Paaliaq	15204	252,27	0,3325	46,230	40′ 55″
XXI	Tarvos	18243	302,70	0,5382	33,725	49′ 06″
XXII	Ijiraq	11408	189,29	0,2721	47,483	30′ 42″
XXIII	Suttungr	19468	323,02	0,1139	175,815	52′ 24″
XXIV	Kiviuq	11384	188,89	0,3325	46,766	30′ 39″
XXV	Mundilfari	18654	309,52	0,2098	167,446	50′ 12″
XXVI	Albiorix	16393	272,00	0,4797	34,059	44′ 07″
XXVII	Skadi	15635	259,42	0,2718	152,633	42′ 05″
XXVIII	Erriapo	17602	292,06	0,4723	34,481	47′ 23″
XXIX	Siarnaq	18182	301,69	0,2801	45,809	48′ 56″
XXX	Thrymr	20419	338,80	0,4661	177,665	54′ 57″
XXXI	Narvi	19349	321,05	0,4295	145,735	52′ 05″
XXXII	Metone	194,402	3,23	∼0	0,013	31″
XXXIII	Palene	212,282	3,52	0,0040	0,001	34″
XXXIV	Pólux	377,222	6,26	0,0191	0,175	1′ 01″
XXXV	Dafnis	136,504	2,26	∼0	∼0,003	22″
XXXVI	Ægir	20751	344,31	0,2524	166,668	55′ 51″
XXXVII	Bébhionn	17116	284,00	0,4682	35,101	46′ 04″
XXXVIII	Bergelmir	19336	320,83	0,1420	158,557	52′ 03″
XXXIX	Bestla	20145	334,26	0,5196	145,156	54′ 13″
XL	Fárbauti	20390	338,32	0,2414	156,520	54′ 53″
XLI	Fenrir	22454	372,57	0,1347	164,963	1° 00′ 26″
XLII	Fornjót	25146	417,24	0,2077	170,372	1° 07′ 41″
XLIII	Hati	19868	329,66	0,3710	165,808	53′ 29″
XLIV	Hyrokkin	18440	305,97	0,3359	151,536	49′ 38″
XLV	Kári	22093	366,58	0,4756	156,067	59′ 28″
XLVI	Loge	23059	382,61	0,1862	167,689	1° 02′ 04″
XLVII	Skoll	17667	293,14	0,4635	161,008	47′ 33″
XLVIII	Surtur	22941	380,65	0,4459	169,688	1° 01′ 45″

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
XLIX	Antea	196,8	3,27	0,0011	0,015	32″
L	Járnsaxa	19354	321,13	0,2178	163,649	52′ 06″
LI	Greip	18457	306,25	0,3146	174,800	49′ 41″
LII	Tarqeq	17962	298,04	0,1676	46,292	48′ 21″
LIII	Ægeon	167,425	2,78	0,0002	0,001	27″
	S/2004 S7	21000	348,44	0,5290	165,693	56′ 31″
	S/2004 S12	19886	329,96	0,3268	165,261	53′ 31″
	S/2004 S13	18406	305,40	0,2591	168,798	49′ 32″
	S/2004 S17	19448	322,69	0,1795	168,239	52′ 21″
	S/2004 S20	19211	318,76	0,204	163,1	51′ 42″
	S/2004 S21	23810	395,07	0,312	154,6	1° 04′ 05″
	S/2004 S22	20380	338,16	0,257	177,4	54′ 51″
	S/2004 S23	21427	355,53	0,399	177,7	57′ 40″
	S/2004 S24	23231	385,46	0,049	36,78	1° 02′ 32″
	S/2004 S25	20545	340,89	0,457	173,3	55′ 18″
	S/2004 S26	26738	443,65	0,148	171,3	1° 11′ 58″
	S/2004 S27	19777	328,15	0,120	167,1	53′ 14″
	S/2004 S28	21791	361,57	0,133	171,0	58′ 39″
	S/2004 S29	17471	289,89	0,472	44,43	47′ 01″
	S/2004 S30	20424	338,89	0,113	156,3	54′ 58″
	S/2004 S31	17403	288,76	0,242	48,11	46′ 51″
	S/2004 S32	21564	357,80	0,262	158,5	58′ 02″
	S/2004 S33	23765	394,32	0,417	161,5	1° 03′ 58″
	S/2004 S34	24359	404,18	0,267	165,7	1° 05′ 34″
	S/2004 S35	21953	364,26	0,182	176,4	59′ 05″
	S/2004 S36	23699	393,23	0,667	147,6	1° 03′ 47″
	S/2004 S37	16003	265,53	0,506	164,0	43′ 04″
	S/2004 S38	23006	381,73	0,381	155,0	1° 01′ 55″
	S/2004 S39	22790	378,14	0,081	167,6	1° 01′ 20″
	S/2006 S1	18780	311,61	0,1412	156,180	50′ 33″
	S/2006 S3	22428	372,14	0,3792	158,631	1° 00′ 22″
	S/2007 S2	16718	277,39	0,1791	174,057	45′ 00″
	S/2007 S3	18938	314,23	0,1853	177,595	50′ 58″
	S/2009 S1	117	1,94			19″
Urano:						
I	Ariel	190,9	7,47	0,0012	0,041	14″
II	Umbriel	266	10,41	0,0039	0,128	20″
III	Titania	436,3	17,07	0,0011	0,079	33″
IV	Oberón	583,5	22,83	0,0014	0,068	44″
V	Miranda	129,9	5,08	0,0013	4,338	10″
VI	Cordelia	49,8	1,95	0,0003	0,085	4″
VII	Ofelia	53,8	2,10	0,0099	0,104	4″
VIII	Bianca	59,2	2,32	0,0009	0,193	4″
IX	Cresida	61,8	2,42	0,0004	0,006	5″
X	Desdémona	62,7	2,45	0,0001	0,113	5″

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
XI	Julieta	64,4	2,52	0,0007	0,065	5″
XII	Porcia	66,1	2,59	0,0001	0,059	5″
XIII	Rosalinda	69,9	2,73	0,0001	0,279	5″
XIV	Belinda	75,3	2,95	0,0001	0,031	6″
XV	Puck	86	3,36	0,0001	0,319	6″
XVI	Calibán	7231,1	282,92	0,1812	141,529	9′ 06″
XVII	Sícorax	12179,4	476,52	0,5219	159,420	15′ 20″
XVIII	Próspero	16276,8	636,83	0,4445	151,830	20′ 30″
XIX	Setebos	17420,4	681,58	0,5908	158,235	21′ 56″
XX	Esteban	8007,4	313,29	0,2248	143,819	10′ 05″
XXI	Tríinculo	8505,2	332,77	0,2194	166,971	10′ 43″
XXII	Francisco	4282,9	167,57	0,1324	147,250	5′ 24″
XXIII	Margarita	14146,7	553,49	0,6772	57,367	17′ 49″
XXIV	Fernando	20430	799,33	0,3993	169,793	25′ 44″
XXV	Perdita	76,417	2,99	0,0116	0,470	6″
XXVI	Mab	97,736	3,82	0,0025	0,134	7″
XXVII	Cupido	74,392	2,91	0,0013	0,099	6″
Neptuno:						
I	Tritón	354,759	14,33	∼0	156,865	17″
II	Nereida	5513,818	222,65	0,7507	7,090	4′ 20″
III	Náyade	48,227	1,95	0,0003	4,691	2″
IV	Talasa	50,074	2,02	0,0002	0,135	2″
V	Despina	52,526	2,12	0,0002	0,068	2″
VI	Galatea	61,953	2,50	0,0001	0,034	3″
VII	Larisa	73,548	2,97	0,0014	0,205	3″
VIII	Proteo	117,646	4,75	0,0005	0,075	6″
IX	Halimede	16681	673,70	0,2909	112,898	13′ 11″
X	Psámate	46705	1886,00	0,4617	137,679	36′ 55″
XI	Sao	22619	913,38	0,2827	49,907	17′ 53″
XII	Laomedea	23613	953,52	0,4339	34,049	18′ 40″
XIII	Neso	50258	2029,48	0,4243	131,265	39′ 44″
XIV	Hipocampo	105,284	4,25	∼0	∼0	5″

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
Tierra:				
	Luna	27,321661	sincr.	
Marte:				
I	Fobos	0,318910	sincr.	1877 A.Hall
II	Deimos	1,262441	sincr.	1877 A.Hall
Júpiter:				
I	Io	1,769138	sincr.	1610 Galileo

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
II	Europa	3,551181	sincr.	1610 Galileo
III	Ganimedes	7,154523	sincr.	1610 Galileo
IV	Calisto	16,689018	sincr.	1610 Galileo
V	Amaltea	0,498179	sincr.	1892 E.Barnard
VI	Himalia	250,5662	0,4	1904 C.Perrine
VII	Elara	259,6528	0,5	1905 C.Perrine
VIII	Pasífae	R 744		1908 P.Melotte
IX	Sinope	R 759		1914 S.Nicholson
X	Lisitea	259		1938 S.Nicholson
XI	Carme	R 734		1938 S.Nicholson
XII	Ananké	R 630		1951 S.Nicholson
XIII	Leda	241		1974 C.Kowal
XIV	Tebe	0,6745	sincr.	1979 Voyager 1
XV	Adrastea	0,29826		1979 Voyager 1
XVI	Metis	0,294780		1979 Voyager 1
XVII	Calírroe	R 759		1999 Spacewatch, MPC
XVIII	Temisto	130		1975/2000 SJFM
XIX	Megaclite	R 753		2000 SJFM
XX	Táigete	R 732		2000 SJFM
XXI	Caldona	R 724		2000 SJFM
XXII	Harpálice	R 623		2000 SJFM
XXIII	Cálice	R 742		2000 SJFM
XXIV	Yocasta	R 632		2000 SJFM
XXV	Erínome	R 728		2000 SJFM
XXVI	Isonoe	R 726		2000 SJFM
XXVII	Praxídice	R 625		2000 SJFM
XXVIII	Autónoe	R 761		2001 SJK
XXIX	Tione	R 627		2001 SJK
XXX	Hermipé	R 634		2001 SJK
XXXI	Aitné	R 730		2001 SJK
XXXII	Eurídome	R 717		2001 SJK
XXXIII	Euante	R 620		2001 SJK
XXXIV	Euporia	R 551		2001 SJK
XXXV	Ortosia	R 623		2001 SJK
XXXVI	Sponde	R 748		2001 SJK
XXXVII	Cale	R 730		2001 SJK
XXXVIII	Pasítea	R 719		2001 SJK
XXXIX	Hegémone	R 740		2003 S.S.Sheppard
XL	Mneme	R 620		2003 Sheppard,Glad,
XLI	Aoede	R 761		2003 S.S.Sheppard
XLII	Telxínoe	R 628		2003 Sheppard,Glad,
XLIII	Arque	R 732		2002 S.S.Sheppard
XLIV	Calicore	R 728		2003 S.S.Sheppard
XLV	Hélice	R 626		2003 S.S.Sheppard
XLVI	Carpo	456		2003 S.S.Sheppard

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XLVII	Eucelade	R 730		2003 S.S.Sheppard
XLVIII	Cilene	R 752		2003 S.S.Sheppard
XLIX	Core	R 777		2003 S.S.Sheppard
L	Herse	R 735		2003 B.Gladman
LI	S/2010 J1	R 737		2010 Jacobson et al
LII	S/2010 J2	R 619		2010 C. Veillet
LIII	Día	278		2000 Sheppard et al
LIV	Valetudo	R 602,7		2016 S.S.Sheppard
LV	S/2003 J18	R 606,3		2003 B.Gladman
LVI	S/2011 J2	R 726,8		2011 S.S.Sheppard
LVII	S/2003 J5	R 759,7		2003 S.S.Sheppard
LVIII	S/2003 J15	R 668,4		2003 S.S.Sheppard
LIX	S/2017 J1	R 734,2		2017 S.S.Sheppard
LX	S/2003 J3	R 504,0		2003 S.S.Sheppard
LXI	S/2003 J19	R 701,3		2003 B.Gladman
LXII	S/2016 J2	533,3		2016 S.S.Sheppard
LXIII	S/2017 J2	R 723,1		2017 S.S.Sheppard
LXIV	S/2017 J3	R 606,3		2017 S.S.Sheppard
LXV	S/2017 J4	252,1		2017 S.S.Sheppard
LXVI	S/2017 J5	R 719,5		2017 S.S.Sheppard
LXVII	S/2017 J6	R 683,0		2017 S.S.Sheppard
LXVIII	S/2017 J7	R 602,6		2017 S.S.Sheppard
LXIX	S/2017 J8	R 719,6		2017 S.S.Sheppard
LXX	S/2017 J9	R 639,2		2017 S.S.Sheppard
LXXI	S/2018 J1	252,0		2018 S.S.Sheppard
LXXII	S/2011 J1	R 580,7		2011 S.S.Sheppard
	S/2003 J2	R 982,5		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J4	R 723,2		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J9	R 683,0		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J10	R 767,0		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J12	R 533,3		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J16	R 595,4		2003 B.Gladman
	S/2003 J23	R 759,7		2003 S.S.Sheppard
Saturno:				
I	Mimas	0,942422	sincr.	1789 W.Herschel
II	Encélado	1,370218	sincr.	1789 W.Herschel
III	Tetis	1,887802	sincr.	1684 G.Cassini
IV	Dione	2,736915	sincr.	1684 G.Cassini
V	Rea	4,517500	sincr.	1672 G.Cassini
VI	Titán	15,945421	sincr.	1655 C.Huygens
VII	Hiperión	21,276609		1848 Bond et al
VIII	Jápeto	79,330182	sincr.	1671 G.Cassini
IX	Febe	R 548	0,4	1898 W.Pickering
X	Jano	0,6945	sincr.	1966 A.Dollfus
XI	Epimeteo	0,6942	sincr.	1978 Fountain et al

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XII	Helena	2,7369		1980 Laques et al
XIII	Telesto	1,8878		1980 Smith et al
XIV	Calipso	1,8878		1980 Pascu et al
XV	Atlas	0,6019		1980 Voyager 1
XVI	Prometeo	0,6130		1980 Voyager 1
XVII	Pandora	0,6285		1980 Voyager 1
XVIII	Pan	0,5750		1990 M.Showalter
XIX	Ymir	R 1315,13		2000 B.Gladman
XX	Paaliaq	686,95		2000 B.Gladman
XXI	Tarvos	926,35		2000 KG
XXII	Ijiraq	451,42		2000 KG
XXIII	Suttungr	R 1016,68		2000 GK
XXIV	Kiviuq	449,22		2000 B.Gladman
XXV	Mundilfari	R 952,80		2000 GK
XXVI	Albiorix	783,46		2000 Holman et al
XXVII	Skadi	R 728,10		2000 KG
XXVIII	Erriapo	871,14		2000 KG
XXIX	Siarnaq	895,51		2000 Gladman et al
XXX	Thrymr	R 1092,01		2000 GK
XXXI	Narvi	R 1003,94		2003 S.S.Sheppard
XXXII	Metone	1,010		2004 C.C.Porco et al
XXXIII	Palene	1,154		2004 C.C.Porco et al
XXXIV	Pólux	2,737		2004 C.C.Porco et al
XXXV	Dafnis	0,594		2005 C.C.Porco et al
XXXVI	Ægir	R 1117,83		2005 D.Jewitt et al
XXXVII	Bébhionn	834,86		2005 D.Jewitt et al
XXXVIII	Bergelmir	R 1005,76		2005 D.Jewitt et al
XXXIX	Bestla	R 1088,02		2005 D.Jewitt et al
XL	Fárbauti	R 1086,65		2005 D.Jewitt et al
XLI	Fenrir	R 1260,35		2005 D.Jewitt et al
XLII	Fornjót	R 1494,09		2005 D.Jewitt et al
XLIII	Hati	R 1040,18		2005 D.Jewitt et al
XLIV	Hyrokkin	R 931,87		2006 S.S. Sheppard et al
XLV	Kári	R 1231,18		2006 S.S. Sheppard et al
XLVI	Loge	R 1311,37		2006 S.S. Sheppard et al
XLVII	Skoll	R 878,24		2006 S.S. Sheppard et al
XLVIII	Surtur	R 1297,12		2006 S.S. Sheppard et al
XLIX	Antea	1,036		2007 Cassini Team
L	Járnsaxa	R 1006,94		2006 S.S. Sheppard et al
LI	Greip	R 937,14		2006 S.S. Sheppard et al
LII	Tarqeq	885,15		2007 S.S. Sheppard et al
LIII	Ægeon	0,808		2008 Cassini Team
	S/2004 S07	R 1140,21		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S12	R 1046,11		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S13	R 933,60		2005 D.Jewitt et al

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
	S/2004 S17	R 1014,61		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S20	R 990		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S21	R 1365		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S22	R 1080		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S23	R 1164		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S24	1318		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S25	R 1095		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S26	R 1624		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S27	R 1413		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S28	R 1197		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S29	859		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S30	R 1084		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S31	854		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S32	R 1175		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S33	R 1362		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S34	R 1413		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S35	R 1208		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S36	R 1354		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S37	R 753		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S38	R 1296		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S39	R 1278		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2006 S1	R 962,23		2006 S.S. Sheppard et al
	S/2006 S3	R 1255,15		2006 S.S. Sheppard et al
	S/2007 S2	R 808,15		2007 S.S. Sheppard et al
	S/2007 S3	R 977,78		2007 S.S. Sheppard et al
	S/2009 S1			2009 Cassini Team
Urano:				
I	Ariel	2,520379	sincr.	1851 W.Lassell
II	Umbriel	4,144177	sincr.	1851 W.Lassell
III	Titania	8,705872	sincr.	1787 W.Herschel
IV	Oberón	13,463239	sincr.	1787 W.Herschel
V	Miranda	1,413479	sincr.	1948 G.Kuiper
VI	Cordelia	0,335033		1986 Voyager 2
VII	Ofelia	0,376409		1986 Voyager 2
VIII	Bianca	0,434577		1986 Voyager 2
IX	Cresida	0,463570		1986 Voyager 2
X	Desdémona	0,473651		1986 Voyager 2
XI	Julieta	0,493066		1986 Voyager 2
XII	Porcia	0,513196		1986 Voyager 2
XIII	Rosalinda	0,558459		1986 Voyager 2
XIV	Belinda	0,623525		1986 Voyager 2
XV	Puck	0,761832		1985 Voyager 2
XVI	Calibán	R 580		1997 Gladman et al
XVII	Sícorax	R 1288		1997 Gladman et al
XVIII	Próspero	R 1978		1999 Holman et al

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XIX	Setebos	R 2225		1999 Kavelaars et al
XX	Esteban	R 677		1999 Gladman et al
XXI	Tríinculo	R 749		2001 Holman et al
XXII	Francisco	R 267		2001 HG
XXIII	Margarita	1695		2003 Holman et al
XXIV	Fernando	R 2823		2001 HG
XXV	Perdita	0,638		1999 Voyager 2
XXVI	Mab	0,923		2003 SL
XXVII	Cupido	0,613		2003 SL
Neptuno:				
I	Tritón	R 5,876854	sincr.	1846 W.Lassell
II	Nereida	360,13619		1949 G.Kuiper
III	Náyade	0,294396		1989 Voyager 2
IV	Talasa	0,311485		1989 Voyager 2
V	Despina	0,334655		1989 Voyager 2
VI	Galatea	0,428745		1989 Voyager 2
VII	Larisa	0,554654		1989 Voyager 2
VIII	Proteo	1,122315		1989 Voyager 2
IX	Halimede	R 1879,33		2002 Holman et al
X	Psámate	R 9128,74		2003 JKS
XI	Sao	2919,16		2002 Holman et al
XII	Laomedea	3175,62		2002 Holman et al
XIII	Neso	R 9880,63		2002 HG
XIV	Hipocampo	0,950		2013 Showalter et al

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
Tierra:						
	Luna	3475	735	3,344	−12,74	0,12
Marte:						
I	Fobos	27×22×18	1,1 10^{-4}	1,872	11,4	0,07
II	Deimos	15×12×10	1,5 10^{-5}	1,471	12,45	0,07
Júpiter:						
I	Io	3643	893	3,528	5,02	0,63
II	Europa	3122	480	3,013	5,29	0,67
III	Ganimedes	5262	1481	1,942	4,61	0,43
IV	Calisto	4821	1076	1,834	5,65	0,17
V	Amaltea	167	0,021	0,849	14,1	0,09
VI	Himalia	∼170	0,067	2,6	14,2 R	0,04
VII	Elara	∼86	0,009	2,6	16,0 R	0,04
VIII	Pasífae	∼60	0,003	2,6	16,8 R	0,10
IX	Sinope	∼38	0,001	2,6	18,2 R	0,05
X	Lisitea	∼36	0,001	2,6	18,1 R	0,04

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
XI	Carme	∼46	0,001	2,6	18,1 R	0,06
XII	Ananké	∼28	$3\ 10^{-4}$	2,6	19,1 R	0,06
XIII	Leda	∼20	10^{-4}	2,6	19,2 R	0,04
XIV	Tebe	99	0,015	3,0	16,0	0,05
XV	Adrastea	25×20×15	$7\ 10^{-5}$	3,0	18,7	∼ 0,1
XVI	Metis	43	0,001	3,0	17,5	0,06
XVII	Calírroe	9	10^{-5}	2,6	20,8 R	0,04
XVIII	Temisto	8	10^{-5}	2,6	21,0 R	0,04
XIX	Megaclite	5			21,7 R	0,04
XX	Táigete	5			21,9 R	0,04
XXI	Caldona	4			22,5 R	0,04
XXII	Harpálice	4			22,2 R	0,04
XXIII	Cálice	5			21,8 R	0,04
XXIV	Yocasta	5			21,8 R	0,04
XXV	Erínome	3			22,8 R	0,04
XXVI	Isonoe	4			22,5 R	0,04
XXVII	Praxídice	7			21,2 R	0,04
XXVIII	Autónoe	4			22,0 R	
XXIX	Tione	4			22,3 R	0,04
XXX	Hermipé	4			22,1 R	
XXXI	Aitné	3			22,7 R	
XXXII	Eurídome	3			22,7 R	
XXXIII	Euante	3			22,8 R	
XXXIV	Euporia	2			23,1 R	
XXXV	Ortosia	2			23,1 R	
XXXVI	Sponde	2			23,0 R	
XXXVII	Cale	2			23,0 R	
XXXVIII	Pasítea	2			23,2 R	
XXXIX	Hegémone	3			22,8 R	
XL	Mneme	2			23,3 R	
XLI	Aoede	4			22,5 R	
XLII	Telxínoe	2			23,5 R	
XLIII	Arque	3			22,8 R	
XLIV	Calicore	2			23,7 R	
XLV	Hélice	4			22,6 R	
XLVI	Carpo	3			23,0 R	
XLVII	Eucelade	4			22,6 R	
XLVIII	Cilene	2			23,2 R	
XLIX	Core	2			23,6 R	
L	Herse	2			23,4 R	
LI	S/2010 J1	2			23,2 R	
LII	S/2010 J2	1			24,0 R	
LIII	Día	4			22,4	0,04
LIV	Valetudo	1			24,0 R	

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
LV	S/2003 J18	2			23,4 R	
LVI	S/2011 J2	1			23,5 R	
LVII	S/2003 J5	2			22,4 R	
LVIII	S/2003 J15	2			23,5 R	
LIX	S/2017 J1	2			23,8 R	
LX	S/2003 J3	2			23,4 R	
LXI	S/2003 J19	2			23,7 R	
LXII	S/2016 J2	1			24,0	
LXIII	S/2017 J2	2			23,5 R	
LXIV	S/2017 J3	2			23,4 R	
LXV	S/2017 J4	3			23,0	
LXVI	S/2017 J5	2			23,5 R	
LXVII	S/2017 J6	2			23,5 R	
LXVIII	S/2017 J7	2			23,6 R	
LXIX	S/2017 J8	1			24,0 R	
LXX	S/2017 J9	3			22,8 R	
LXXI	S/2018 J1	3			22,9	
LXXII	S/2011 J1	2			23,7 R	
	S/2003 J2	2			23,2 R	
	S/2003 J4	2			23,0 R	
	S/2003 J9	1			23,7 R	
	S/2003 J10	2			23,6 R	
	S/2003 J12	1			23,9 R	
	S/2003 J16	2			23,3 R	
	S/2003 J23	2			23,6 R	
Saturno:						
I	Mimas	396	0,375	1,150	12,8	0,96
II	Encélado	504	1,079	1,608	11,8	1,38
III	Tetis	1066	6,174	0,973	10,2	1,23
IV	Dione	1123	10,955	1,476	10,4	1,00
V	Rea	1529	23,065	1,233	9,6	0,95
VI	Titán	5149	1345,185	1,882	8,4	0,2
VII	Hiperión	270	0,056	0,544	14,4	0,3
VIII	Jápeto	1471	18,055	1,083	11	0,6
IX	Febe	213	0,083	1,638	16,4	0,08
X	Jano	179	0,019	0,630	14,4	0,71
XI	Epimeteo	116	0,005	0,640	15,6	0,73
XII	Helena	35	10^{-4}	0,5	18,4	1,67
XIII	Telesto	25	$4\ 10^{-5}$	0,5	18,5	1,0
XIV	Calipso	21	$2\ 10^{-5}$	0,5	18,7	1,34
XV	Atlas	30	$7\ 10^{-5}$	0,460	19,0	0,4
XVI	Prometeo	86	0,002	0,480	15,8	0,6
XVII	Pandora	81	0,001	0,490	16,4	0,5
XVIII	Pan	28	$5\ 10^{-5}$	0,420	19,4	0,5

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
XIX	Ymir	∼18	$5\ 10^{-5}$	2,3	21,9 R	0,06
XX	Paaliaq	∼22	$8\ 10^{-5}$	2,3	21,1 R	0,06
XXI	Tarvos	∼15	$3\ 10^{-5}$	2,3	22,7 R	0,06
XXII	Ijiraq	∼12	10^{-5}	2,3	22,6 R	0,06
XXIII	Suttungr	∼7		2,3	23,9 R	0,06
XXIV	Kiviuq	∼16	$3\ 10^{-5}$	2,3	22,1 R	0,06
XXV	Mundilfari	∼7		2,3	23,8 R	0,06
XXVI	Albiorix	∼32	$2\ 10^{-4}$	2,3	20,5 R	0,06
XXVII	Skadi	∼8		2,3	23,6 R	0,06
XXVIII	Erriapo	∼10	10^{-5}	2,3	23,4 R	0,06
XXIX	Siarnaq	∼40	$4\ 10^{-4}$	2,3	19,9 R	0,06
XXX	Thrymr	∼7		2,3	23,9 R	0,06
XXXI	Narvi	∼7		2,3	23,8 R	0,06
XXXII	Metone	3		0,5		
XXXIII	Palene	5		0,5		
XXXIV	Pólux	3		0,5		
XXXV	Dafnis	8		0,340		
XXXVI	Ægir	∼6		2,3	24,4 R	0,04
XXXVII	Bébhionn	∼6		2,3	24,1 R	0,04
XXXVIII	Bergelmir	∼6		2,3	24,2 R	0,04
XXXIX	Bestla	∼7		2,3	23,8 R	0,04
XL	Fárbauti	∼5		2,3	24,7 R	0,04
XLI	Fenrir	∼4		2,3	25,0 R	0,04
XLII	Fornjót	∼6		2,3	24,6 R	0,04
XLIII	Hati	∼6		2,3	24,4 R	0,04
XLIV	Hyrokkin	∼6		2,3	23,5 R	0,04
XLV	Kári	∼6		2,3	23,9 R	0,04
XLVI	Loge	∼6		2,3	24,6 R	0,04
XLVII	Skoll	∼6		2,3	24,5 R	0,04
XLVIII	Surtur	∼6		2,3	24,8 R	0,04
XLIX	Antea	∼2		0,5		
L	Járnsaxa	∼6		2,3	24,7 R	0,04
LI	Greip	∼6		2,3	24,4 R	0,04
LII	Tarqeq	∼6		2,3	23,9 R	0,04
LIII	Ægeon	∼1		0,5		
	S/2004 S07	∼6		2,3	24,5 R	0,04
	S/2004 S12	∼5		2,3	24,8 R	0,04
	S/2004 S13	∼6		2,3	24,5 R	0,04
	S/2004 S17	∼4		2,3	25,2 R	0,04
	S/2004 S20	∼8			25,0 R	
	S/2004 S21	∼6			25,4 R	
	S/2004 S22	∼6			25,3 R	
	S/2004 S23	∼8			24,8 R	
	S/2004 S24	∼6			25,2 R	

Datos físicos y fotométricos

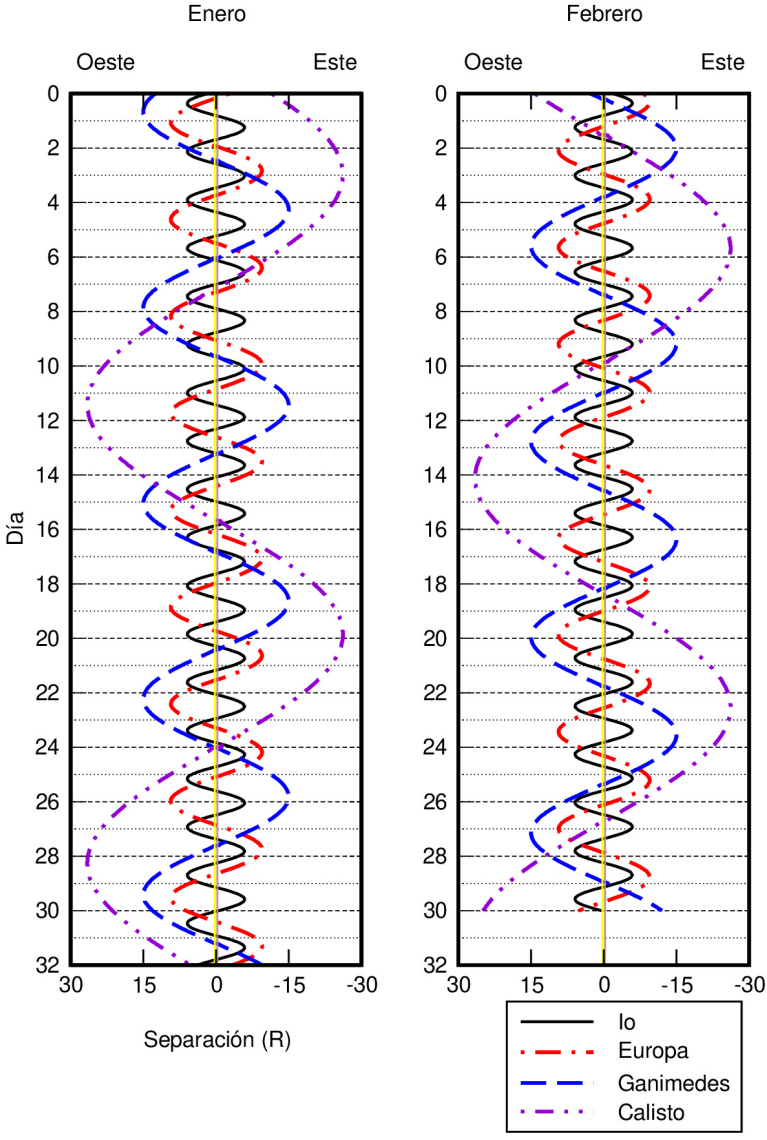
planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
	S/2004 S25	∼6			25,2 R	
	S/2004 S26	∼8			25,0 R	
	S/2004 S27	∼8			24,5 R	
	S/2004 S28	∼8			24,9 R	
	S/2004 S29	∼8			24,9 R	
	S/2004 S30	∼6			25,4 R	
	S/2004 S31	∼8			24,9 R	
	S/2004 S32	∼8			25,0 R	
	S/2004 S33	∼8			25,0 R	
	S/2004 S34	∼6			25,3 R	
	S/2004 S35	∼8			24,6 R	
	S/2004 S36	∼6			25,3 R	
	S/2004 S37	∼8			25,1 R	
	S/2004 S38	∼8			25,1 R	
	S/2004 S39	∼4			25,5 R	
	S/2006 S1	∼6		2,3	24,6 R	0,04
	S/2006 S3	∼5		2,3	24,6 R	0,04
	S/2007 S2	∼6		2,3	24,4 R	0,04
	S/2007 S3	∼4		2,3	24,9 R	0,04
	S/2009 S1	∼0,3				
Urano:						
I	Ariel	1158	12,945	1,592	13,70	0,39
II	Umbriel	1169	12,211	1,459	14,47	0,21
III	Titania	1578	34,191	1,662	13,49	0,27
IV	Oberón	1523	28,827	1,559	13,70	0,23
V	Miranda	472	0,659	1,214	15,79	0,32
VI	Cordelia	40	$4\ 10^{-4}$	1,3	23,62	0,07
VII	Ofelia	43	$5\ 10^{-4}$	1,3	23,26	0,07
VIII	Bianca	54	$9\ 10^{-4}$	1,3	22,52	0,07
IX	Cresida	82	0,003	1,3	21,58	0,07
X	Desdémona	70	0,002	1,3	21,99	0,08
XI	Julieta	106	0,006	1,3	21,12	0,08
XII	Porcia	140	0,017	1,3	20,42	0,07
XIII	Rosalinda	72	0,003	1,3	21,79	0,07
XIV	Belinda	90	0,004	1,3	21,47	0,07
XV	Puck	162	0,029	1,3	19,75	0,10
XVI	Calibán	∼72	0,003	1,5	22,4 R	0,04
XVII	Sícorax	∼150	0,027	1,5	20,8 R	0,04
XVIII	Próspero	∼50	0,001	1,5	23,2 R	0,04
XIX	Setebos	∼48	0,001	1,5	23,3 R	0,04
XX	Esteban	∼32	$3\ 10^{-4}$	1,5	24,1 R	0,04
XXI	Trínculo	∼18	$5\ 10^{-5}$	1,5	25,4 R	0,04
XXII	Francisco	∼22	$8\ 10^{-5}$	1,5	25,0 R	0,04
XXIII	Margarita	∼20	$6\ 10^{-5}$	1,5	25,2 R	0,04

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
XXIV	Fernando	∼20	$6\ 10^{-5}$	1,5	25,1 R	0,04
XXV	Perdita	26	10^{-4}	1,3	23,6	0,07
XXVI	Mab	24	$8\ 10^{-5}$	1,3	24,6	0,10
XXVII	Cupido	18	$3\ 10^{-5}$	1,3	25,8	0,07
Neptuno:						
I	Tritón	2707	213,896	2,059	13,54	0,72
II	Nereida	∼340	0,309	1,5	19,2 R	0,16
III	Náyade	∼66	0,002	1,3	23,91	0,07
IV	Talasa	∼82	0,004	1,3	23,32	0,09
V	Despina	∼150	0,021	1,3	22,00	0,09
VI	Galatea	∼176	0,037	1,3	21,85	0,08
VII	Larisa	∼194	0,049	1,3	21,49	0,09
VIII	Proteo	∼420	0,503	1,3	19,75	0,10
IX	Halimede	62	0,001	1,5	24,5 R	0,04
X	Psámate	40	10^{-4}	1,5	25,5 R	0,04
XI	Sao	44	0,001	1,5	25,5 R	0,04
XII	Laomedea	42	0,001	1,5	25,5 R	0,04
XIII	Neso	60	0,002	1,5	24,6 R	0,04
XIV	Hipocampo	∼18	$4\ 10^{-5}$	1,3	26,5	0,10

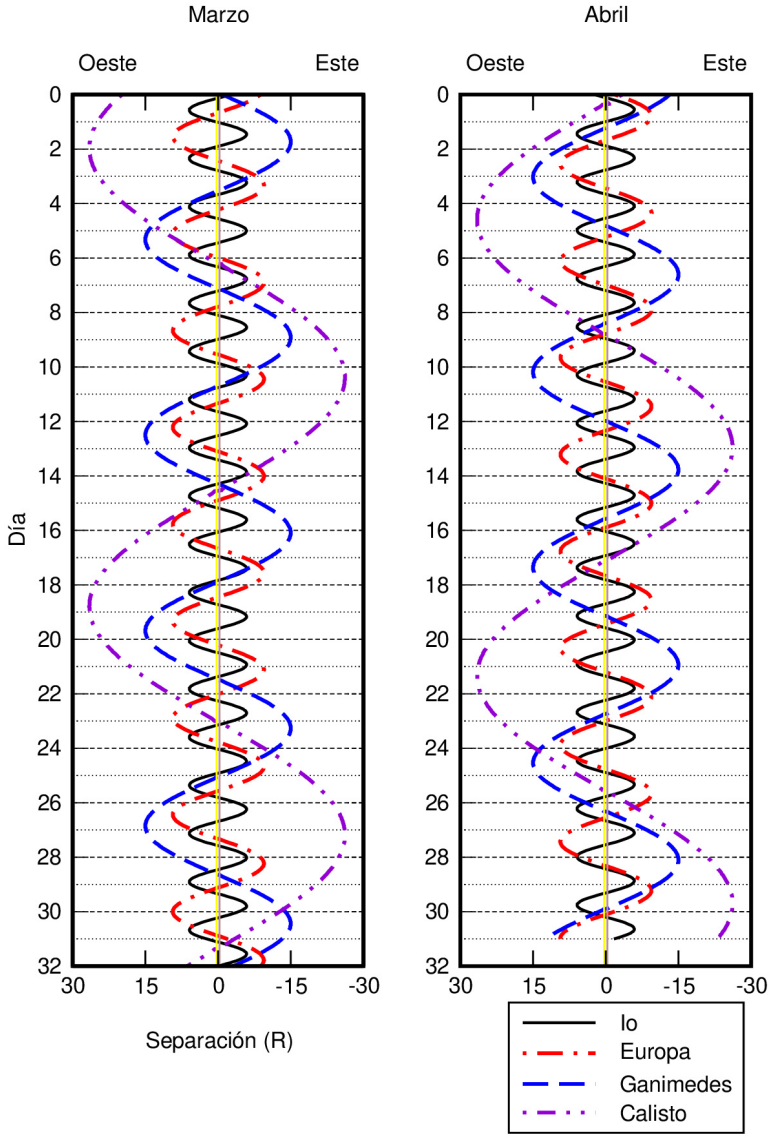
Posiciones relativas de los satélites galileanos de Júpiter

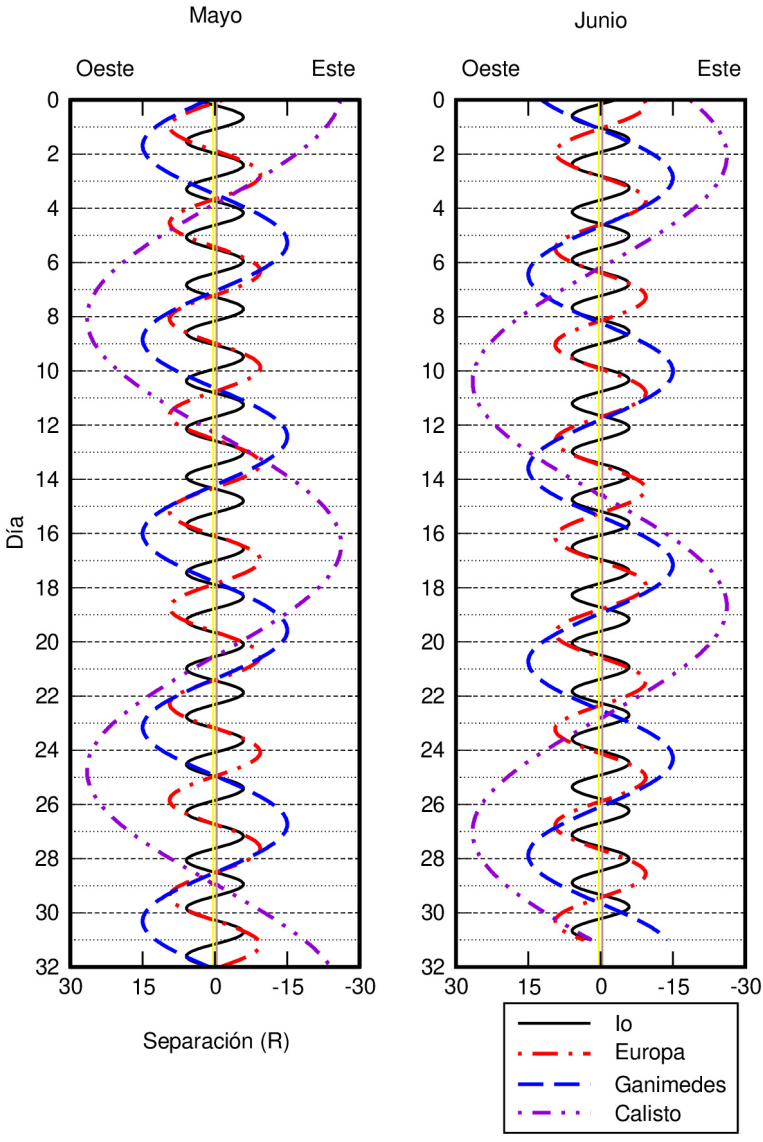
De mayor a menor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Calisto, Ganimedes, Europa e Io.

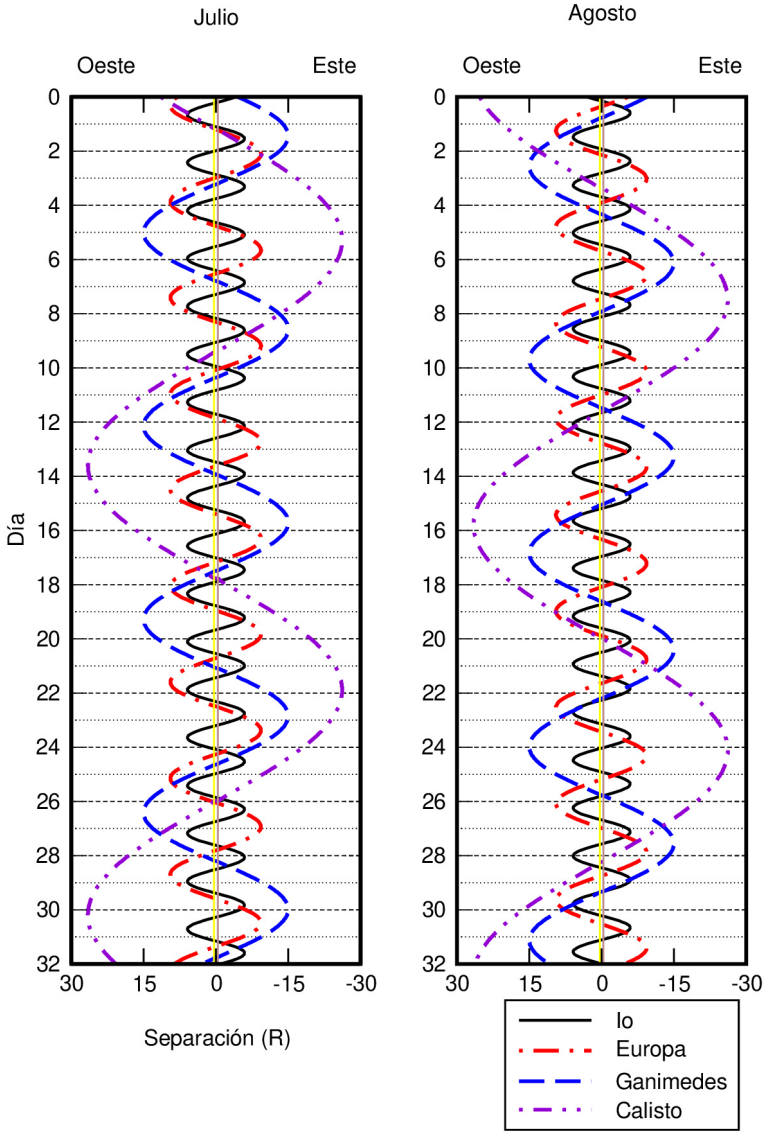


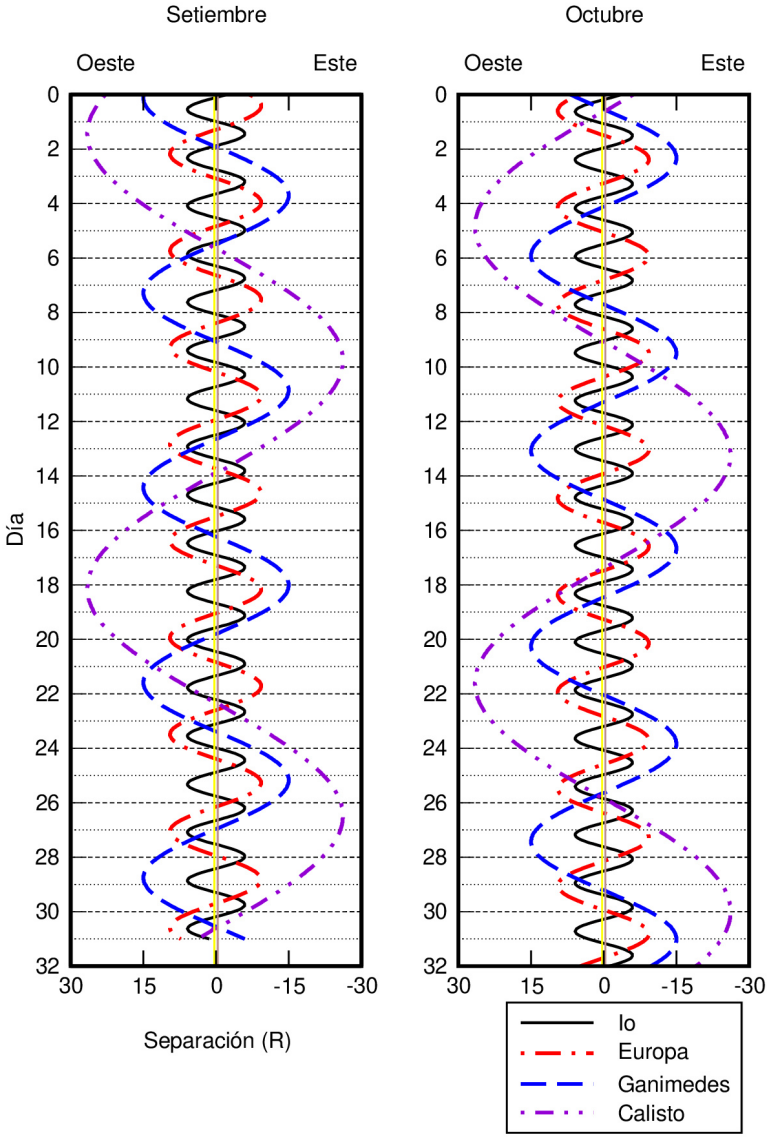
Obsérvese que Oeste y Este están colocados como se ven en un telescopio y al revés de como se ven con unos prismáticos.

Las dos líneas verticales indican el tamaño del planeta. La separación respecto del centro del planeta viene dada en radios planetarios.




Mayo
Junio
Oeste
Este
Oeste
Este
Día
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
30
15
0
-15
-30
Separación (R)
Io
Europa
Ganimedes
Calisto


Julio
Agosto
Oeste
Este
Oeste
Este
Día
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
30
15
0
-15
-30
Separación (R)
Io
Europa
Ganimedes
Calisto


Setiembre
Octubre
Oeste
Este
Oeste
Este
Día
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
30
15
0
-15
-30
Separación (R)
Io
Europa
Ganimedes
Calisto

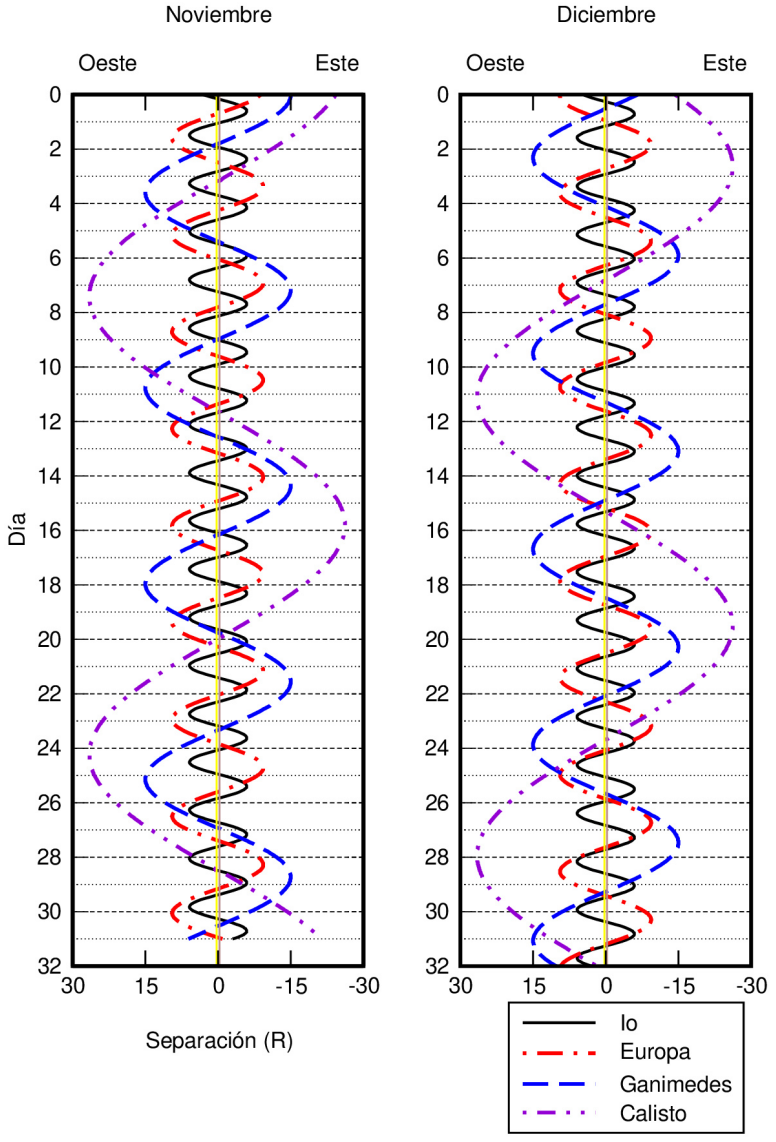

Noviembre
Diciembre
Oeste
Este
Oeste
Este
Día
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
30
15
0
-15
-30
Separación (R)
Io
Europa
Ganimedes
Calisto

Tabla de equivalencias para distancias en el sistema solar

paralaje	tiempo luz	distancia		
ecuatorial	(^{h} ^{m} ^{s})	en ua	en $\mathcal{R}_\oplus$	en km
1°	1,2	0,0024	57,3	$3{,}65\ 10^5$
$50'$	1,5	0,0029	68,8	$4{,}39\ 10^5$
$40'$	1,8	0,0037	85,9	$5{,}48\ 10^5$
$30'$	2,4	0,0049	114,6	$7{,}31\ 10^5$
$20'$	3,7	0,0073	171,9	$10{,}96\ 10^5$
$10'$	7,3	0,0147	343,8	$21{,}93\ 10^5$
$9'$	8,1	0,0163	382,0	$24{,}36\ 10^5$
$8'$	9,1	0,0183	429,7	$27{,}41\ 10^5$
$7'$	10,4	0,0209	491,1	$31{,}32\ 10^5$
$6'$	12,2	0,0244	573,0	$36{,}54\ 10^5$
$5'$	14,6	0,0293	687,5	$43{,}85\ 10^5$
$4'$	18,3	0,0366	859,4	$54{,}82\ 10^5$
$3'$	24,4	0,0489	1145,9	$73{,}09\ 10^5$
$2'$	36,6	0,0733	1718,9	$109{,}63\ 10^5$
$1'$	73,1	0,1466	3438	$219{,}26\ 10^5$
$50''$	1 27,8	0,176	4125	$263\ 10^5$
$40''$	1 49,7	0,220	5157	$329\ 10^5$
$30''$	2 26,3	0,293	6875	$439\ 10^5$
$20''$	3 39,4	0,440	10313	$658\ 10^5$
$10''$	7 18,8	0,879	20600	$1316\ 10^5$
$9''$	8 07,6	0,977	22900	$146\ 10^6$
$8''$	9 08,5	1,099	25800	$164\ 10^6$
$7''$	10 26,9	1,256	29500	$188\ 10^6$
$6''$	12 11,4	1,466	34400	$219\ 10^6$
$5''$	14 37,7	1,759	41300	$263\ 10^6$
$4''$	18 17,1	2,199	51600	$329\ 10^6$
$3''$	24 22,8	2,931	68800	$439\ 10^6$
$2''$	36 34,2	4,397	103100	$658\ 10^6$
$1''$	73 08,3	8,794	206300	$1316\ 10^6$
$0''{,}9$	1 21 16	9,8	$229\ 10^3$	$146\ 10^7$
$0''{,}8$	1 31 25	11,0	$258\ 10^3$	$164\ 10^7$
$0''{,}7$	1 44 29	12,6	$295\ 10^3$	$188\ 10^7$
$0''{,}6$	2 01 54	14,7	$344\ 10^3$	$219\ 10^7$
$0''{,}5$	2 26 17	17,6	$413\ 10^3$	$263\ 10^7$
$0''{,}4$	3 02 51	22,0	$516\ 10^3$	$329\ 10^7$
$0''{,}3$	4 03 48	29,3	$688\ 10^3$	$439\ 10^7$
$0''{,}2$	6 05 42	44,0	$1031\ 10^3$	$658\ 10^7$
$0''{,}1$	12 11 23	87,9	$2063\ 10^3$	$1316\ 10^7$

La unidad astronómica (ua) por definición es igual a 149.597.870,700 km.

OBJETOS MENORES DEL SISTEMA SOLAR

Planetas enanos
- Elementos orbitales y parámetros físicos
- Efemérides

Asteroides
- Elementos orbitales y parámetros físicos
- Efemérides de los asteroides principales

Cometas
Lluvias de meteoros

Estadísticas de objetos menores

Número de objetos conocidos de distinto tipo en junio de 2019:

Planetas enanos:	5
Satélites de los planetas enanos:	9
Asteroides descubiertos:	∼795 000
Asteroides numerados:	∼541 000
Asteroides nombrados:	∼21 900
Ritmo anual de descubrimiento de asteroides:	∼15 000
Asteroides potencialmente peligrosos:	1 968
Objetos Atenas ($Q > 0{,}983$ ua, $a < 1$ ua):	1 538
Objetos Apolo ($q < 1{,}017$ ua, $a > 1$ ua):	10 151
Objetos Amor ($1{,}017 < q < 1{,}3$ ua):	8 538
Objetos Centauro (entre Júpiter y Neptuno):	28
Objetos transneptunianos:	2 405
Cometas con Cometas con denominación IAU:	∼ 4140
Cometas de corto periodo numerados:	380
Ritmo de descubrimiento de cometas:	∼ 40 por año
Masa total de los asteroides:	0,0005 $\mathcal{M}_\oplus$
Masa del cinturón de Kuiper:	0,03-0,1 $\mathcal{M}_\oplus$
Masa de la nube exterior de Oort:	∼5 $\mathcal{M}_\oplus$

Donde son:

- a semieje mayor de la órbita.
- q distancia mínima al Sol.
- Q distancia máxima al Sol.

Véase una descripción de distintos tipos de asteroides en la sección dedicada a los asteroides cercanos a la Tierra.

Planetas enanos

En la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) celebrada en Praga en agosto de 2006 se resolvió añadir un nuevo término de objeto celeste, el de "planeta enano". Este es un cuerpo celeste que:

(a) está en órbita alrededor del Sol,

(b) tiene suficiente masa para que su propia gravedad haya superado la fuerza de cuerpo rígido, de manera que ha adquirido equilibrio hidrostático (forma casi esférica),
(c) no ha limpiado de otros cuerpos similares la vecindad de su órbita y
(d) no es un satélite.

Según tal definición, Plutón deja de ser un planeta en el sentido clásico y pasa a ser catalogado como planeta enano. Además, es el prototipo de una nueva categoría de objetos transneptunianos que la IAU, en la reunión de su Comite Ejecutivo celebrada en Oslo en junio de 2008, ha decidido denominar oficialmente *plutoide* y que corresponde a los planetas enanos más alejados del Sol que Neptuno.

También pasan a ser planetas enanos el asteroide Ceres, el plutoide Eris y, en junio y setiembre del año 2008, los plutoides Makemake y Haumea.

Elementos orbitales y parámetros físicos

En las tablas siguientes figuran los elementos orbitales de los planetas enanos referidos al equinoccio y eclíptica medios J2000.0. Cuando alguna magnitud se expresa en *años* se refiere a años julianos, de 365,25 días.

La explicación de los distintos parámetros que aparecen en las tablas puede encontrarse en el capítulo dedicado a los planetas.

Elementos orbitales (J2000.0)

Planeta	inclinación i	longitud del nodo, Ω	argumento perihelio, ω	longitud del perihelio, ϖ
Ceres	10,°587	80,°409	73,°213	153,°622
Plutón	17,°142	110,°303	113,°764	224,°067
Haumea	28,°225	122,°104	239,°360	361,°464
Makemake	28,°998	79,°597	298,°410	378,°007
Eris	44,°179	35,°874	151,°506	187,°380

Argumento del perihelio: $\omega = \varpi - \Omega$.

Distancias orbitales (J2000.0)

	semieje mayor, a		excentri–	distancias (ua)	
Planeta	en ua	10^6 km	cidad, e	q,mínima	Q,máxima
Ceres	2,7655	413,71	0,0800	2,544	2,987
Plutón	39,4817	5906,38	0,2488	28,641	50,322
Haumea	43,0808	6444,80	0,1963	34,624	51,538
Makemake	45,4823	6804,06	0,1597	38,218	52,746
Eris	67,6960	10127,18	0,4409	37,846	97,546

Traslación (J2000.0)

Planeta	periodo orbital P (años)	movimiento medio diario n	velocidad orbital media V (km/s)	periodo sinódico medio (días)
Ceres	4,60	$0\overset{\circ}{.}214304$	17,88	466,72
Plutón	247,94	$0\overset{\circ}{.}003975$	4,67	366,73
Haumea	282,77	$0\overset{\circ}{.}003486$	4,48	366,54
Makemake	306,74	$0\overset{\circ}{.}003213$	4,42	366,44
Eris	557,00	$0\overset{\circ}{.}001770$	3,44	365,90

La velocidad de escape es $\sqrt{2}$ veces la velocidad orbital.

Datos fotométricos

Planeta	albedo geométrico	albedo de Bond	magnitud visual, V, en oposic.	índice de color B–V	constante solar (Tierra=1)
Ceres	0,1		6,8	0,71	0,13
Plutón	∼0,6	∼0,5	15,1	0,85	0,0007
Haumea	0,7		16,5		0,0005
Makemake	0,8		16,0		0,0005
Eris	0,9		17,1		0,0002

La constante solar de la Tierra es: 1 370 W m^{-2} = 1,96 cal min^{-1} cm^{-2}.

Tamaño

Planeta	radio ecuat. en $\mathcal{R}_\oplus$	tamaño elipsoide en km	achata–miento, f	tamaño del angular a 1 ua	volumen Tierra=1 ($\approx 10^{12}$ km^3)
Ceres	0,076	$965 \times 961 \times 891$	0,075	$1\overset{''}{.}3$	0,0004
Plutón	0,186	2377	<0,006	$3\overset{''}{.}3$	0,0064
Haumea	∼0,157	$1920 \times 1540 \times 990$	∼0,4	$\sim 2\overset{''}{.}7$	∼0,002
Makemake	∼0,118	$1434 \times 1434 \times 1422$	0,008	$\sim 2\overset{''}{.}1$	∼0,002
Eris	0,185	2326	∼0	$3\overset{''}{.}3$	0,0064

El achatamiento se define como: $f = 1 - D_{polar}/D_{ecuat}$

Masa

Planeta	masa, M_P ($\mathcal{M}_\oplus$)	densidad media (g cm^{-3})	gravedad superf. ecu. (m s^{-2})	constante gravit., GM_P (10^{10} m^3 s^{-2})
Ceres	0,00016	2,2	0,56	6
Plutón	0,00218	1,9	0,62	87
Haumea	∼0,0007	2,6	∼0,3	∼27
Makemake	∼0,0007	∼2	∼0,5	∼27
Eris	0,00277	2,4	0,79	110

Descubrimiento de los planetas enanos

Ceres:	1 de enero de 1801, por Giuseppe Piazzi (1746–1826) en Palermo mediante observación visual. Anunció el descubrimiento el 24 de enero.
Plutón:	18 de febrero de 1930, por Clyde William Tombaugh (1906–1997). Descubrimiento hecho a partir de fotografías tomadas con un telescopio de 13 pulgadas de apertura en el observatorio Lowell (EEUU) los días 23 y 29 de enero, y hecho público el 13 de marzo.
Haumea:	7 de marzo de 2003, en el Observatorio de Sierra Nevada (España) y el 28 de diciembre de 2004 en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU). El descubrimiento se anunció en julio de 2005 por M.E. Brown et al y por J.L. Ortiz et al. Aún no hay descubridor oficial.
Eris:	21 de octubre de 2003, por Michael E. Brown, Chad A. Trujillo y David L. Rabinowitz en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU). El descubrimiento se anunció el 29 de julio de 2005.
Makemake:	31 de marzo de 2005, por Michael E. Brown, Chad A. Trujillo y David L. Rabinowitz en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU). El descubrimiento se anunció el 29 de julio de 2005.

Satélites de los planetas enanos

planeta satélite	dimensiones (km)	mag.	periodo orbital (d)	descubrimiento
Plutón:				
I Caronte	1208	16,8	6,387	1978 Christy
II Nix	$50\times35\times33$	23,4	24,855	2005 Weaver et al
III Hidra	$65\times45\times25$	22,9	38,202	2005 Weaver et al
IV Cerbero	$19\times10\times9$	26,3	32,168	2011 Showalter et al
V Estigia	$16\times9\times8$	26,9	20,162	2012 Showalter et al
Haumea:				
I Hi'iaka	$\sim$310	20,6	49,46	2005 Brown y AOT
II Namaka	$\sim$170	21,9	18,28	2005 Brown y AOT
Makemake:				
I S/2015 (126472) 1	$\sim$ 175	23,8	$>$ 12	2016 Parker et al
Eris:				
I Disnomia	300–400	23,1	$\sim$14	2005 Brown y AOT

AOT: adaptive-optics team del Observatorio Keck en Mauna Kea.
Los valores del tamaño y el periodo del satélite de Makemake son preliminares.

Efemérides

Coordenadas astrométricas, incluyendo perturbaciones planetarias.

CERES 2020
(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} (° ′ ″)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	Ángulo de fase β (°)	mag. V
Ene	1	19 18 46,5	−26 14 57	3,884	2,916	3	8,9
Ene	11	19 36 28,2	−25 52 11	3,900	2,921	2	8,8
Ene	21	19 54 01,8	−25 23 20	3,902	2,926	2	8,9
Ene	31	20 11 22,3	−24 49 01	3,889	2,931	4	9,0
Feb	10	20 28 24,5	−24 10 01	3,861	2,936	6	9,1
Feb	20	20 45 04,5	−23 27 14	3,819	2,941	8	9,2
Mar	1	21 01 18,4	−22 41 40	3,763	2,945	10	9,2
Mar	11	21 17 01,8	−21 54 25	3,694	2,949	11	9,3
Mar	21	21 32 11,8	−21 06 39	3,612	2,953	13	9,3
Mar	31	21 46 44,4	−20 19 36	3,519	2,957	15	9,3
Abr	10	22 00 35,0	−19 34 39	3,415	2,960	16	9,3
Abr	20	22 13 40,0	−18 53 09	3,303	2,963	17	9,2
Abr	30	22 25 53,5	−18 16 36	3,183	2,966	18	9,2
May	10	22 37 08,9	−17 46 32	3,057	2,969	19	9,1
May	20	22 47 19,4	−17 24 31	2,926	2,971	20	9,1
May	30	22 56 15,2	−17 12 14	2,794	2,974	20	9,0
Jun	9	23 03 45,9	−17 11 12	2,662	2,976	20	8,9
Jun	19	23 09 39,8	−17 22 48	2,533	2,977	19	8,7
Jun	29	23 13 43,0	−17 48 05	2,410	2,979	18	8,6
Jul	9	23 15 43,3	−18 27 15	2,296	2,980	17	8,4
Jul	19	23 15 30,0	−19 19 33	2,195	2,981	14	8,3
Jul	29	23 12 57,6	−20 22 35	2,111	2,982	12	8,1
Ago	8	23 08 12,3	−21 31 58	2,048	2,982	9	7,9
Ago	18	23 01 32,1	−22 41 49	2,009	2,982	7	7,7
Ago	28	22 53 32,2	−23 45 07	1,996	2,982	5	7,7
Set	7	22 45 02,7	−24 35 16	2,011	2,982	6	7,7
Set	17	22 36 57,2	−25 07 38	2,052	2,981	9	7,9
Set	27	22 30 07,7	−25 19 56	2,118	2,980	12	8,1
Oct	7	22 25 12,7	−25 12 29	2,206	2,979	14	8,3
Oct	17	22 22 33,3	−24 47 16	2,310	2,978	16	8,4
Oct	27	22 22 17,1	−24 06 46	2,429	2,976	18	8,6
Nov	6	22 24 18,5	−23 13 43	2,557	2,974	19	8,7
Nov	16	22 28 25,6	−22 10 23	2,691	2,972	19	8,9
Nov	26	22 34 24,1	−20 58 33	2,827	2,970	19	9,0
Dic	6	22 41 57,5	−19 39 46	2,963	2,967	19	9,1
Dic	16	22 50 50,8	−18 15 08	3,096	2,964	19	9,1
Dic	26	23 00 51,3	−16 45 35	3,224	2,961	18	9,2

PLUTON 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β ($^\circ$)	V
Ene	1	19 36 00,9	−22 15 56	34,910	33,950	0	14,4
Ene	11	19 37 26,7	−22 13 33	34,939	33,956	0	14,4
Ene	21	19 38 52,8	−22 11 07	34,939	33,963	0	14,4
Ene	31	19 40 17,5	−22 08 44	34,910	33,970	1	14,4
Feb	10	19 41 38,5	−22 06 30	34,853	33,976	1	14,4
Feb	20	19 42 54,1	−22 04 28	34,770	33,983	1	14,4
Mar	1	19 44 02,5	−22 02 44	34,663	33,989	1	14,4
Mar	11	19 45 02,0	−22 01 23	34,536	33,996	1	14,4
Mar	21	19 45 51,5	−22 00 27	34,393	34,002	2	14,4
Mar	31	19 46 29,8	−22 00 00	34,239	34,009	2	14,4
Abr	10	19 46 56,1	−22 00 03	34,077	34,016	2	14,4
Abr	20	19 47 10,1	−22 00 39	33,913	34,022	2	14,4
Abr	30	19 47 11,7	−22 01 47	33,752	34,029	2	14,4
May	10	19 47 01,1	−22 03 25	33,599	34,035	2	14,3
May	20	19 46 38,9	−22 05 33	33,458	34,042	1	14,3
May	30	19 46 06,0	−22 08 05	33,333	34,049	1	14,3
Jun	9	19 45 23,9	−22 10 59	33,228	34,055	1	14,3
Jun	19	19 44 34,0	−22 14 09	33,147	34,062	1	14,3
Jun	29	19 43 38,3	−22 17 30	33,093	34,068	1	14,3
Jul	9	19 42 38,8	−22 20 56	33,066	34,075	0	14,3
Jul	19	19 41 37,7	−22 24 21	33,067	34,082	0	14,3
Jul	29	19 40 37,3	−22 27 40	33,098	34,088	0	14,3
Ago	8	19 39 39,8	−22 30 47	33,158	34,095	1	14,3
Ago	18	19 38 47,4	−22 33 38	33,244	34,101	1	14,3
Ago	28	19 38 02,0	−22 36 08	33,355	34,108	1	14,3
Set	7	19 37 25,5	−22 38 14	33,488	34,115	1	14,3
Set	17	19 36 59,3	−22 39 54	33,638	34,121	1	14,4
Set	27	19 36 44,5	−22 41 05	33,803	34,128	2	14,4
Oct	7	19 36 41,9	−22 41 47	33,976	34,134	2	14,4
Oct	17	19 36 51,9	−22 41 59	34,154	34,141	2	14,4
Oct	27	19 37 14,6	−22 41 42	34,331	34,148	2	14,4
Nov	6	19 37 49,5	−22 40 57	34,502	34,154	2	14,4
Nov	16	19 38 36,0	−22 39 45	34,662	34,161	1	14,4
Nov	26	19 39 33,0	−22 38 09	34,808	34,167	1	14,4
Dic	6	19 40 39,1	−22 36 13	34,933	34,174	1	14,4
Dic	16	19 41 52,8	−22 33 59	35,037	34,181	1	14,4
Dic	26	19 43 12,4	−22 31 31	35,114	34,187	1	14,4

La magnitud de Plutón incluye la de su satélite principal Caronte.

HAUMEA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Ene	1	14 22 10,3	+15 31 45	50,619	50,363	1	17,4
Ene	11	14 22 34,5	+15 35 22	50,466	50,361	1	17,4
Ene	21	14 22 51,1	+15 39 52	50,311	50,358	1	17,4
Ene	31	14 22 59,7	+15 45 07	50,156	50,356	1	17,4
Feb	10	14 23 00,1	+15 50 57	50,008	50,354	1	17,4
Feb	20	14 22 52,5	+15 57 10	49,870	50,351	1	17,4
Mar	1	14 22 37,3	+16 03 33	49,747	50,349	1	17,3
Mar	11	14 22 15,0	+16 09 53	49,642	50,347	1	17,3
Mar	21	14 21 46,6	+16 15 58	49,558	50,345	1	17,3
Mar	31	14 21 13,2	+16 21 34	49,499	50,342	1	17,3
Abr	10	14 20 35,9	+16 26 31	49,464	50,340	1	17,3
Abr	20	14 19 56,3	+16 30 38	49,456	50,338	1	17,3
Abr	30	14 19 15,6	+16 33 48	49,474	50,335	1	17,3
May	10	14 18 35,3	+16 35 54	49,517	50,333	1	17,3
May	20	14 17 56,7	+16 36 53	49,583	50,331	1	17,3
May	30	14 17 21,3	+16 36 42	49,671	50,328	1	17,3
Jun	9	14 16 50,3	+16 35 22	49,778	50,326	1	17,4
Jun	19	14 16 24,5	+16 32 55	49,901	50,324	1	17,4
Jun	29	14 16 04,9	+16 29 25	50,035	50,321	1	17,4
Jul	9	14 15 52,2	+16 24 59	50,177	50,319	1	17,4
Jul	19	14 15 46,8	+16 19 44	50,323	50,317	1	17,4
Jul	29	14 15 49,1	+16 13 47	50,468	50,315	1	17,4
Ago	8	14 15 58,9	+16 07 19	50,610	50,312	1	17,4
Ago	18	14 16 16,2	+16 00 29	50,742	50,310	1	17,4
Ago	28	14 16 40,7	+15 53 28	50,863	50,308	1	17,4
Set	7	14 17 11,7	+15 46 27	50,968	50,305	1	17,4
Set	17	14 17 48,7	+15 39 36	51,054	50,303	1	17,4
Set	27	14 18 30,7	+15 33 05	51,118	50,301	1	17,4
Oct	7	14 19 16,8	+15 27 06	51,160	50,298	1	17,4
Oct	17	14 20 05,9	+15 21 47	51,176	50,296	1	17,4
Oct	27	14 20 56,7	+15 17 16	51,167	50,294	1	17,4
Nov	6	14 21 48,1	+15 13 40	51,132	50,291	1	17,4
Nov	16	14 22 38,8	+15 11 07	51,072	50,289	1	17,4
Nov	26	14 23 27,4	+15 09 39	50,989	50,287	1	17,4
Dic	6	14 24 12,7	+15 09 19	50,885	50,284	1	17,4
Dic	16	14 24 53,5	+15 10 09	50,763	50,282	1	17,4
Dic	26	14 25 28,7	+15 12 06	50,626	50,279	1	17,4

MAKEMAKE 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β ($^\circ$)	V
Ene	1	13 10 52,3	+23 04 35	52,514	52,571	1	17,2
Ene	11	13 11 01,0	+23 09 19	52,363	52,571	1	17,2
Ene	21	13 11 01,7	+23 14 44	52,218	52,572	1	17,1
Ene	31	13 10 54,4	+23 20 37	52,084	52,573	1	17,1
Feb	10	13 10 39,5	+23 26 47	51,965	52,574	1	17,1
Feb	20	13 10 17,6	+23 32 59	51,864	52,574	1	17,1
Mar	1	13 09 49,5	+23 39 00	51,786	52,575	1	17,1
Mar	11	13 09 16,3	+23 44 38	51,732	52,576	1	17,1
Mar	21	13 08 39,1	+23 49 39	51,704	52,577	1	17,1
Mar	31	13 07 59,5	+23 53 54	51,702	52,578	1	17,1
Abr	10	13 07 18,7	+23 57 13	51,726	52,578	1	17,1
Abr	20	13 06 38,2	+23 59 30	51,776	52,579	1	17,1
Abr	30	13 05 59,4	+24 00 38	51,849	52,580	1	17,1
May	10	13 05 23,7	+24 00 37	51,944	52,581	1	17,1
May	20	13 04 52,2	+23 59 25	52,057	52,581	1	17,1
May	30	13 04 25,9	+23 57 05	52,185	52,582	1	17,1
Jun	9	13 04 05,8	+23 53 39	52,324	52,583	1	17,2
Jun	19	13 03 52,4	+23 49 15	52,471	52,584	1	17,2
Jun	29	13 03 46,2	+23 43 58	52,620	52,585	1	17,2
Jul	9	13 03 47,5	+23 37 57	52,768	52,585	1	17,2
Jul	19	13 03 56,2	+23 31 21	52,911	52,586	1	17,2
Jul	29	13 04 12,2	+23 24 20	53,045	52,587	1	17,2
Ago	8	13 04 35,2	+23 17 04	53,166	52,588	1	17,2
Ago	18	13 05 04,6	+23 09 43	53,271	52,588	1	17,2
Ago	28	13 05 39,8	+23 02 28	53,357	52,589	1	17,2
Set	7	13 06 19,9	+22 55 30	53,422	52,590	1	17,2
Set	17	13 07 04,0	+22 48 58	53,462	52,591	1	17,1
Set	27	13 07 51,0	+22 43 03	53,478	52,591	1	17,1
Oct	7	13 08 39,8	+22 37 52	53,469	52,592	1	17,1
Oct	17	13 09 29,2	+22 33 33	53,435	52,593	1	17,1
Oct	27	13 10 18,0	+22 30 14	53,376	52,594	1	17,2
Nov	6	13 11 05,0	+22 27 58	53,294	52,594	1	17,2
Nov	16	13 11 48,8	+22 26 50	53,191	52,595	1	17,2
Nov	26	13 12 28,4	+22 26 52	53,070	52,596	1	17,2
Dic	6	13 13 02,7	+22 28 02	52,934	52,597	1	17,2
Dic	16	13 13 30,8	+22 30 18	52,789	52,597	1	17,2
Dic	26	13 13 51,8	+22 33 37	52,637	52,598	1	17,2

ERIS 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Ene	1	01 42 18,1	−02 01 22	95,782	96,007	1	18,8
Ene	11	01 42 13,8	−02 00 05	95,950	96,005	1	18,8
Ene	21	01 42 13,5	−01 58 24	96,118	96,003	1	18,8
Ene	31	01 42 17,3	−01 56 22	96,284	96,001	1	18,8
Feb	10	01 42 25,1	−01 54 00	96,440	95,999	1	18,8
Feb	20	01 42 36,5	−01 51 23	96,583	95,997	1	18,8
Mar	1	01 42 51,2	−01 48 36	96,708	95,995	0	18,8
Mar	11	01 43 08,9	−01 45 41	96,811	95,993	0	18,8
Mar	21	01 43 28,9	−01 42 45	96,890	95,991	0	18,8
Mar	31	01 43 50,7	−01 39 51	96,943	95,989	0	18,8
Abr	10	01 44 13,6	−01 37 03	96,967	95,987	0	18,8
Abr	20	01 44 37,1	−01 34 26	96,963	95,985	0	18,8
Abr	30	01 45 00,4	−01 32 02	96,931	95,983	0	18,8
May	10	01 45 23,0	−01 29 56	96,872	95,981	0	18,8
May	20	01 45 44,2	−01 28 09	96,788	95,979	0	18,8
May	30	01 46 03,5	−01 26 45	96,680	95,977	0	18,8
Jun	9	01 46 20,4	−01 25 44	96,553	95,975	1	18,8
Jun	19	01 46 34,5	−01 25 08	96,410	95,973	1	18,8
Jun	29	01 46 45,2	−01 24 57	96,254	95,971	1	18,8
Jul	9	01 46 52,5	−01 25 11	96,090	95,969	1	18,8
Jul	19	01 46 56,0	−01 25 48	95,923	95,967	1	18,8
Jul	29	01 46 55,7	−01 26 47	95,757	95,965	1	18,8
Ago	8	01 46 51,6	−01 28 05	95,596	95,963	1	18,8
Ago	18	01 46 43,8	−01 29 41	95,446	95,961	1	18,8
Ago	28	01 46 32,5	−01 31 30	95,311	95,959	1	18,8
Set	7	01 46 18,0	−01 33 29	95,194	95,957	0	18,8
Set	17	01 46 00,7	−01 35 34	95,099	95,955	0	18,8
Set	27	01 45 41,2	−01 37 40	95,029	95,953	0	18,8
Oct	7	01 45 20,0	−01 39 43	94,987	95,951	0	18,8
Oct	17	01 44 57,8	−01 41 37	94,973	95,949	0	18,7
Oct	27	01 44 35,3	−01 43 20	94,989	95,947	0	18,8
Nov	6	01 44 13,2	−01 44 46	95,033	95,945	0	18,8
Nov	16	01 43 52,2	−01 45 52	95,106	95,943	0	18,8
Nov	26	01 43 33,1	−01 46 36	95,204	95,940	0	18,8
Dic	6	01 43 16,4	−01 46 54	95,325	95,938	1	18,8
Dic	16	01 43 02,6	−01 46 46	95,465	95,936	1	18,8
Dic	26	01 42 52,4	−01 46 11	95,620	95,934	1	18,8

Asteroides

En junio de 2019 se llevan descubiertos unos 795 000 asteroides, de los cuales unos 541 000 han sido numerados y unos 21 900 han recibido un nombre. Por su órbita y su tamaño, unos 1 968 son considerados potencialmente peligrosos.

En este apartado se dan los datos orbitales, físicos y fotométricos de 25 asteroides, de entre los más brillantes, la fecha de la oposición de los primeros asteroides a lo largo de este año, si tal oposición tiene lugar, y, por último, se incluyen tablas con las efemérides de tales asteroides.

En la tabla siguiente se incluyen los primeros 30 asteroides cuya magnitud visual en la oposición media es $V < 10$.

Elementos orbitales

nombre		T	a (ua)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)
1	Ceres	2018,34	2,7692	0,0760	73,598	80,306	10,594
2	Palas	2018,59	2,7725	0,2303	310,049	173,080	34,836
3	Juno	2018,92	2,6691	0,2569	248,139	169,853	12,989
4	Vesta	2018,42	2,3614	0,0887	150,728	103,811	7,142
5	Astrea	2016,09	2,5742	0,1911	358,687	141,577	5,367
6	Hebe	2018,42	2,4252	0,2030	239,808	138,640	14,738
7	Iris	2017,92	2,3853	0,2312	145,265	259,563	5,524
8	Flora	2017,59	2,2018	0,1565	285,287	110,889	5,887
9	Metis	2016,51	2,3856	0,1231	6,417	68,909	5,577
10	Hygiea	2017,00	3,1415	0,1125	312,315	283,202	3,832
11	Partenope	2016,42	2,4531	0,1005	195,550	125,547	4,630
12	Victoria	2018,01	2,3343	0,2202	69,642	235,410	8,373
13	Egeria	2017,25	2,5760	0,0851	80,545	43,222	16,536
14	Irene	2017,42	2,5856	0,1666	97,859	86,123	9,122
15	Eunomia	2016,00	2,6441	0,1861	98,499	292,934	11,752
16	Psyche	2015,34	2,9238	0,1336	228,823	150,046	3,096
18	Melpomene	2016,76	2,2967	0,2177	227,951	150,384	10,129
19	Fortuna	2017,26	2,4427	0,1580	182,065	211,144	1,574
20	Masalia	2018,17	2,4098	0,1421	256,772	206,110	0,709
27	Euterpe	2016,00	2,3467	0,1732	356,450	94,788	1,584
29	Amphitrite	2016,17	2,5541	0,0727	63,363	356,342	6,083
39	Laetitia	2015,50	2,7693	0,1115	209,132	156,953	10,369
40	Harmonia	2018,34	2,2672	0,0470	269,732	94,189	4,257
44	Nysa	2018,50	2,4235	0,1479	343,333	131,548	3,707
51	Nemausa	2018,42	2,3658	0,0676	2,580	175,979	9,977
89	Julia	2017,83	2,5500	0,1847	45,381	311,549	16,130
192	Nausikaa	2015,67	2,4031	0,2450	30,675	343,109	6,798
230	Atamantis	2019,09	2,3823	0,0616	140,127	239,853	9,451
349	Dembowska	2017,34	2,9226	0,0916	345,759	32,342	8,246
354	Eleonora	2015,00	2,7986	0,1141	5,563	140,353	18,399

Los elementos de la órbita se refieren al equinoccio y eclíptica medios J2000.0:

T = instante de paso por el perihelio,
a = semieje mayor de la órbita,
e = excentricidad,
ω = argumento del perihelio,
Ω = longitud del nodo ascendente y
i = inclinación de la órbita respecto de la eclíptica.

Las distancias al Sol mínima (distancia perihélica, q) y máxima (distancia afélica, Q) vienen dadas por:

$$q = a(1-e) \text{ y } Q = a(1+e)$$

El periodo de revolución, expresado en años, se determina mediante:

$$\mathrm{P} = a^{3/2}$$

El movimiento medio es: $n = 0{,}98561/P$ (°/día).

Datos físicos y fotométricos

nombre		tamaño	tipo	P_{rotac}	V(a,0)	coef. mag.	
		(km)	esp.	(h)	(magn.)	H	G
1	Ceres	965×961×891	C	9,074	6,79	3,34	0,12
2	Palas	570×525×500	B	7,813	7,59	4,13	0,11
3	Juno	320×267×200	S	7,210	8,58	5,33	0,32
4	Vesta	573×557×446	V	5,342	5,74	3,20	0,32
5	Astrea	167×123×82	S	16,800	9,89	6,85	0,15
6	Hebe	205×185×170	S	7,275	8,41	5,71	0,24
7	Iris	240×200×200	S	7,139	8,11	5,51	0,15
8	Flora	161×161×161	S	12,865	8,60	6,49	0,28
9	Metis	222×182×130	S	5,079	8,88	6,28	0,17
10	Hygiea	530×407×370	C	27,623	9,56	5,43	0,15
11	Partenope	153×153×153	S	13,729	9,31	6,55	0,15
12	Victoria	113	S	8,660	9,71	7,24	0,22
13	Egeria	208×208×208	C	7,045	9,78	6,74	0,15
14	Irene	167×153×139	S	15,028	9,37	6,30	0,15
15	Eunomia	357×255×212	S	6,083	8,47	5,28	0,23
16	Psyche	240×185×145	M	4,196	9,65	5,90	0,20
18	Melpomene	170×155×129	S	11,570	8,88	6,51	0,25
19	Fortuna	225×205×195	C	7,443	9,87	7,13	0,10
20	Masalia	160×145×132	S	8,098	9,15	6,50	0,25
27	Euterpe	124×75	S	10,410	9,5	7,0	0,15
29	Amphitrite	233×212×193	S	5,392	8,84	5,85	0,20
39	Laetitia	210×150×107	S	5,138	9,5	6,1	0,15
40	Harmonia	108	S	8,910	9,3	7,0	0,15
44	Nysa	71	E	6,422	9,72	7,03	0,46
51	Nemausa	148	C	7,783	9,91	7,35	0,06

Los diez mayores asteroides de tamaño conocido, ordenados de mayor a menor de acuerdo con el diámetro de una esfera de volumen equivalente, son: 1 Ceres, 2 Palas (Pallas), 4 Vesta, 10 Hygiea, 704 Interamnia, 52 Europa, 511 Davida, 87 Silvia (Sylvia), 65 Cibeles (Cybele) y 15 Eunomia, todos ellos mayores de 260 km.

Se ha podido determinar la masa de muy pocos asteroides. Los cinco de mayor masa conocida, ordenados de mayor a menor, son: 1 Ceres, 4 Vesta, 2 Palas (Pallas), 10 Hygiea y 31 Eufrósine (Euphrosyne), todos ellos con una masa superior a $5\ 10^{19}$ kg.

El tipo espectral se refiere a la composición del asteroide o a algún parámetro relacionado con su reflectividad. En la tabla figuran los siguientes casos:

C = tipo carbonáceo, con albedo bajo (∼0,07),
B = tipo carbonáceo, con espectro azulado y albedo bajo (∼0,07),
M = tipo metálico, con albedo medio (∼0,15),
S = tipo pétreo, con albedo medio (∼0,15),
V = tipo Vesta, con albedo alto (∼0,25) y
E = con albedo muy alto (∼0,33).

La columna indicada por V(a,0) da la magnitud media del asteroide cuando se halla en oposición (distancia al Sol igual al semieje de la órbita, distancia a la Tierra igual al semieje menos una ua) y con fase nula.

El cálculo de la magnitud para cualquier instante se puede efectuar mediante los coeficientes H y G dados en las dos últimas columnas de la tabla. Para ello es necesario conocer la distancia del asteroide al Sol, r, y a la Tierra, Δ, así como el ángulo de fase β (ver tablas en las páginas siguientes). La magnitud aparente predicha (para $0^\circ < \beta < 120^\circ$) será:

$$V = \mathrm{H} + 5\log(r\Delta) - 2{,}5\log[(1-\mathrm{G})\,\Phi_1 + \mathrm{G}\,\Phi_2]$$

donde r y Δ se expresan en ua y siendo:

$$\log_e\Phi_1 = -3{,}33\left[\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]^{0{,}63}$$
$$\log_e\Phi_2 = -1{,}87\left[\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]^{1{,}22}$$

Cuando no está tabulado, el ángulo de fase β se puede calcular conocidas las distancias entre Sol, Tierra y asteroide, mediante la fórmula:

$$\cos\beta = \frac{\Delta^2 + r^2 - R^2}{2\,r\,\Delta}$$

donde R es la distancia Tierra-Sol (ver sección *SOL* o, en primera aproximación, $R = 1$).

Fechas de la oposición en 2020 de los primeros asteroides

	nombre	oposición en longitud	magnitud V	oposición en asc. recta
1	Ceres	Ago 28, 14^h	7,7	Set 03, 1^h
2	Palas	Jul 13, 1^h	9,6	Jul 07, 18^h
3	Juno	Abr 02, 20^h	9,6	Abr 05, 13^h
5	Astrea	Ene 21, 7^h	8,9	Ene 20, 16^h
6	Hebe	Abr 04, 7^h	9,9	Abr 10, 16^h
7	Iris	Jun 28, 1^h	8,8	Jun 27, 22^h
8	Flora	Nov 01, 13^h	8,0	Nov 04, 14^h
11	Partenope	Oct 23, 17^h	9,4	Oct 26, 1^h
12	Victoria	Feb 18, 4^h	11,1	Feb 14, 12^h
13	Egeria	Dic 20, 11^h	10,0	Dic 20, 7^h
16	Psyche	Dic 07, 18^h	9,4	Dic 08, 3^h
19	Fortuna	Set 11, 11^h	9,2	Set 10, 18^h
20	Masalia	Ago 28, 23^h	9,6	Ago 28, 16^h
27	Euterpe	Mar 14, 18^h	9,4	Mar 15, 17^h
39	Laetitia	Dic 21, 11^h	9,8	Dic 21, 12^h
40	Harmonia	Abr 23, 9^h	9,8	Abr 25, 5^h

La oposición en longitud corresponde al instante de fase mínima.

Asteroides cercanos a la Tierra

Se conoce un número cada vez mayor de asteroides que se acercan a la órbita de la Tierra. A aquellos cuyo perihelio q llega a ser menor de 1,3 ua se los denomina NEA, acrónimo de la expresión inglesa Near Earth Asteroids. Incluyen varios grupos especiales, que reciben el nombre del primer asteroide descubierto con unas determinadas características:

PHA Son los NEA potencialmente peligrosos, dado que pueden llegar a estar a una distancia de la Tierra menor de 0,05 ua (7,5 millones de km) y cuya magnitud absoluta es $H < 22$, lo que se traduce en un tamaño mayor de unos 150 m.

Atón Son aquellos NEA que cruzan la órbita de la Tierra ($Q > 1 - e_\oplus$ ua) y cuyo semieje orbital es menor que el de ésta ($a < 1$ ua).

Apolo Son aquellos NEA que cruzan la órbita de la Tierra ($q < 1 + e_\oplus$ ua) y cuyo semieje orbital es mayor que el de ésta ($a > 1$ ua).

Amor Son aquellos NEA que no llegan a cruzar la órbita terrestre pero cuyo perihelio es $1 + e_\oplus < q < 1{,}3$ ua ($e_\oplus = 0{,}017$).

Efemérides

A continuación figuran las efemérides de los primeros asteroides para cada diez días en el intervalo en que su elongación solar es mayor de 90°. No se han considerado las perturbaciones planetarias. Las coordenadas ecuatoriales se refieren al equinoccio y ecuador medios de la época J2000. Se trata de coordenadas *astrométricas*, es decir, coordenadas geocéntricas corregidas únicamente de tiempo-luz pero no de aberración ánua.

1 CERES 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Consultar efemérides en la página 244, apartado de planetas enanos

2 PALAS 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} (° ′ ″)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β (°)	mag. V
Abr	20	19 33 28,2	+15 11 48	3,108	3,290	18	10,2
Abr	30	19 36 41,5	+16 44 00	3,007	3,301	18	10,1
May	10	19 37 59,0	+18 12 03	2,909	3,312	17	10,0
May	20	19 37 15,2	+19 32 16	2,818	3,322	16	9,9
May	30	19 34 28,3	+20 40 08	2,736	3,332	16	9,8
Jun	9	19 29 45,6	+21 30 52	2,667	3,342	15	9,7
Jun	19	19 23 23,2	+21 59 59	2,613	3,350	14	9,7
Jun	29	19 15 47,6	+22 03 31	2,576	3,358	13	9,6
Jul	9	19 07 36,5	+21 39 26	2,560	3,366	12	9,6
Jul	19	18 59 30,9	+20 47 56	2,564	3,373	12	9,6
Jul	29	18 52 12,2	+19 31 29	2,591	3,379	12	9,6
Ago	8	18 46 15,7	+17 54 57	2,638	3,385	13	9,7
Ago	18	18 42 04,7	+16 04 10	2,705	3,390	14	9,8
Ago	28	18 39 53,8	+14 05 17	2,790	3,395	15	9,9
Set	7	18 39 46,5	+12 04 07	2,889	3,399	16	10,0
Set	17	18 41 38,9	+10 05 18	3,001	3,402	17	10,1
Set	27	18 45 24,1	+08 12 32	3,122	3,405	17	10,2
Oct	7	18 50 50,9	+06 28 29	3,248	3,408	17	10,3

3 JUNO 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β ($^\circ$)	V
Ene	11	13 13 19,0	−05 21 04	2,685	2,875	20	10,6
Ene	21	13 19 18,8	−05 19 09	2,565	2,899	20	10,5
Ene	31	13 23 21,5	−05 01 59	2,448	2,922	19	10,4
Feb	10	13 25 14,9	−04 28 45	2,338	2,945	17	10,2
Feb	20	13 24 50,9	−03 39 23	2,240	2,967	15	10,1
Mar	1	13 22 07,9	−02 34 53	2,159	2,989	12	10,0
Mar	11	13 17 17,6	−01 18 06	2,099	3,010	9	9,8
Mar	21	13 10 44,6	+00 06 18	2,064	3,030	6	9,7
Mar	31	13 03 06,6	+01 32 08	2,059	3,050	3	9,5
Abr	10	12 55 12,4	+02 52 24	2,083	3,070	4	9,6
Abr	20	12 47 49,6	+04 01 05	2,135	3,089	7	9,8
Abr	30	12 41 39,7	+04 53 51	2,215	3,107	10	10,0
May	10	12 37 12,2	+05 28 38	2,317	3,124	13	10,2
May	20	12 34 41,0	+05 45 31	2,438	3,141	15	10,4
May	30	12 34 09,8	+05 45 39	2,573	3,158	17	10,6
Jun	9	12 35 34,0	+05 31 06	2,718	3,173	18	10,8
Jun	19	12 38 43,1	+05 04 07	2,870	3,189	18	10,9
Jun	29	12 43 26,5	+04 26 44	3,024	3,203	19	11,0

5 ASTREA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β ($^\circ$)	V
Ene	1	08 23 26,6	+14 41 32	1,188	2,119	11	9,6
Ene	11	08 16 18,1	+15 28 48	1,142	2,110	6	9,2
Ene	21	08 07 28,9	+16 27 48	1,120	2,103	2	8,9
Ene	31	07 58 26,8	+17 31 44	1,124	2,096	6	9,2
Feb	10	07 50 49,3	+18 33 20	1,152	2,091	11	9,5
Feb	20	07 45 51,4	+19 27 08	1,203	2,087	16	9,7
Mar	1	07 44 18,2	+20 09 50	1,272	2,084	20	10,0
Mar	11	07 46 23,2	+20 39 55	1,356	2,083	23	10,2
Mar	21	07 51 52,9	+20 56 58	1,450	2,082	26	10,4
Mar	31	08 00 24,7	+21 00 53	1,553	2,084	27	10,6
Abr	10	08 11 29,6	+20 51 46	1,661	2,086	28	10,8
Abr	20	08 24 37,5	+20 29 51	1,773	2,090	29	11,0

6 HEBE 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Ene	11	13 29 03,8	+01 53 31	2,708	2,882	20	11,1
Ene	21	13 36 07,7	+02 13 07	2,574	2,889	20	10,9
Ene	31	13 41 24,1	+02 48 45	2,443	2,895	19	10,8
Feb	10	13 44 37,8	+03 40 43	2,319	2,900	18	10,7
Feb	20	13 45 35,8	+04 48 25	2,207	2,905	16	10,5
Mar	1	13 44 08,7	+06 09 49	2,110	2,909	14	10,3
Mar	11	13 40 18,4	+07 40 44	2,033	2,912	11	10,2
Mar	21	13 34 19,3	+09 15 06	1,980	2,914	8	10,0
Mar	31	13 26 41,6	+10 45 13	1,954	2,916	6	9,9
Abr	10	13 18 11,8	+12 02 58	1,955	2,917	7	9,9
Abr	20	13 09 42,7	+13 01 57	1,985	2,917	9	10,1
Abr	30	13 02 06,2	+13 38 05	2,039	2,917	12	10,2
May	10	12 56 04,6	+13 50 28	2,116	2,916	14	10,4
May	20	12 52 02,8	+13 40 40	2,211	2,914	16	10,5
May	30	12 50 12,6	+13 11 23	2,320	2,912	18	10,7
Jun	9	12 50 33,7	+12 26 03	2,438	2,909	19	10,8
Jun	19	12 52 57,2	+11 27 52	2,562	2,905	20	11,0
Jun	29	12 57 12,4	+10 19 35	2,689	2,900	21	11,1

7 IRIS 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Mar	31	18 42 15,4	−23 09 57	2,596	2,794	21	10,8
Abr	10	18 50 05,2	−22 49 03	2,443	2,779	21	10,7
Abr	20	18 55 55,5	−22 27 46	2,294	2,763	20	10,5
Abr	30	18 59 28,2	−22 07 10	2,150	2,746	19	10,3
May	10	19 00 27,9	−21 48 06	2,016	2,729	18	10,1
May	20	18 58 42,3	−21 31 03	1,895	2,711	15	9,9
May	30	18 54 06,3	−21 16 07	1,791	2,692	12	9,7
Jun	9	18 46 52,3	−21 02 46	1,708	2,673	8	9,4
Jun	19	18 37 30,1	−20 50 12	1,649	2,653	4	9,1
Jun	29	18 26 52,0	−20 37 41	1,617	2,633	1	8,8
Jul	9	18 16 07,5	−20 24 58	1,612	2,612	5	9,1
Jul	19	18 06 26,0	−20 12 39	1,634	2,590	10	9,3
Jul	29	17 58 48,4	−20 01 48	1,679	2,568	14	9,5
Ago	8	17 53 54,7	−19 53 23	1,744	2,545	17	9,6
Ago	18	17 52 01,6	−19 47 55	1,825	2,521	20	9,8
Ago	28	17 53 11,8	−19 45 06	1,917	2,497	22	10,0
Set	7	17 57 14,7	−19 44 03	2,016	2,473	23	10,1
Set	17	18 03 54,4	−19 43 25	2,120	2,448	24	10,2
Set	27	18 12 54,8	−19 41 36	2,224	2,423	24	10,3

8 FLORA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Jul	19	01 52 33,7	+04 56 02	1,652	1,919	32	10,2
Jul	29	02 08 37,9	+05 46 42	1,544	1,907	32	10,0
Ago	8	02 23 27,9	+06 24 04	1,439	1,897	32	9,8
Ago	18	02 36 41,6	+06 47 00	1,337	1,888	31	9,6
Ago	28	02 47 50,8	+06 54 36	1,240	1,880	30	9,4
Set	7	02 56 26,7	+06 46 49	1,149	1,873	28	9,2
Set	17	03 01 56,5	+06 24 06	1,066	1,867	25	9,0
Set	27	03 03 50,5	+05 48 19	0,995	1,863	21	8,7
Oct	7	03 01 56,0	+05 03 28	0,938	1,859	17	8,5
Oct	17	02 56 22,6	+04 15 33	0,897	1,858	12	8,2

8 FLORA (cont.) 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Oct	27	02 47 60,0	+03 33 11	0,877	1,857	7	8,0
Nov	6	02 38 18,6	+03 05 38	0,879	1,858	7	8,0
Nov	16	02 29 04,1	+03 00 00	0,903	1,860	11	8,2
Nov	26	02 21 56,8	+03 20 01	0,948	1,864	16	8,5
Dic	6	02 18 01,8	+04 04 45	1,011	1,869	20	8,7
Dic	16	02 17 43,3	+05 10 30	1,090	1,875	24	9,0
Dic	26	02 21 00,9	+06 32 39	1,181	1,882	27	9,2

11 PARTENOPE 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Jul	29	02 05 30,2	+07 46 51	1,953	2,265	27	11,0
Ago	8	02 15 04,4	+08 10 09	1,846	2,273	26	10,8
Ago	18	02 22 35,4	+08 19 38	1,741	2,282	25	10,7
Ago	28	02 27 40,5	+08 14 33	1,642	2,290	23	10,5
Set	7	02 30 00,7	+07 54 52	1,552	2,299	21	10,3
Set	17	02 29 21,2	+07 21 06	1,474	2,309	17	10,1
Set	27	02 25 39,6	+06 35 13	1,412	2,318	14	9,9
Oct	7	02 19 16,2	+05 41 07	1,371	2,328	9	9,7
Oct	17	02 10 53,3	+04 44 28	1,353	2,339	5	9,5
Oct	27	02 01 37,4	+03 52 35	1,362	2,349	4	9,4
Nov	6	01 52 45,9	+03 12 30	1,397	2,359	8	9,7
Nov	16	01 45 26,1	+02 49 18	1,457	2,370	12	10,0
Nov	26	01 40 28,1	+02 45 36	1,540	2,381	16	10,2
Dic	6	01 38 15,8	+03 01 10	1,641	2,392	19	10,5
Dic	16	01 38 51,6	+03 34 04	1,757	2,403	21	10,7
Dic	26	01 42 07,0	+04 21 43	1,883	2,414	22	10,9

12 VICTORIA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Ene	1	10 18 01,8	−01 04 09	2,172	2,823	17	12,0
Ene	11	10 15 12,0	−01 27 52	2,055	2,816	15	11,8
Ene	21	10 09 55,8	−01 34 10	1,957	2,808	12	11,6
Ene	31	10 02 28,8	−01 21 22	1,880	2,800	9	11,4
Feb	10	09 53 27,6	−00 49 52	1,830	2,791	6	11,2
Feb	20	09 43 44,3	−00 02 20	1,809	2,781	5	11,1
Mar	1	09 34 20,9	+00 56 21	1,817	2,770	7	11,2
Mar	11	09 26 18,1	+01 59 45	1,852	2,759	10	11,4
Mar	21	09 20 20,0	+03 01 41	1,912	2,746	14	11,6
Mar	31	09 16 53,6	+03 57 04	1,992	2,733	17	11,7
Abr	10	09 16 07,5	+04 42 20	2,088	2,720	19	11,9
Abr	20	09 17 55,3	+05 15 39	2,194	2,705	20	12,0
Abr	30	09 22 04,9	+05 36 10	2,307	2,690	22	12,2
May	10	09 28 19,1	+05 43 48	2,424	2,674	22	12,3

13 EGERIA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Set	27	06 02 39,9	+30 53 53	2,168	2,443	24	11,5
Oct	7	06 12 52,3	+32 08 50	2,038	2,435	24	11,3
Oct	17	06 20 54,1	+33 30 45	1,913	2,428	23	11,2
Oct	27	06 26 14,4	+35 00 59	1,795	2,421	21	11,0
Nov	6	06 28 22,8	+36 39 32	1,687	2,414	19	10,8
Nov	16	06 26 49,0	+38 24 12	1,595	2,408	17	10,5
Nov	26	06 21 15,6	+40 09 24	1,521	2,402	13	10,3
Dic	6	06 11 54,8	+41 46 29	1,470	2,396	10	10,1
Dic	16	05 59 36,9	+43 05 12	1,444	2,391	8	10,0
Dic	26	05 46 01,5	+43 57 07	1,444	2,386	9	10,0

16 PSYCHE 2020
(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Set	7	05 02 58,5	+19 28 54	2,419	2,588	23	10,9
Set	17	05 12 34,8	+19 29 25	2,299	2,596	23	10,8
Set	27	05 20 10,2	+19 25 02	2,182	2,604	22	10,7
Oct	7	05 25 26,6	+19 16 51	2,068	2,613	21	10,5
Oct	17	05 28 06,1	+19 05 53	1,963	2,622	19	10,4
Oct	27	05 27 55,0	+18 53 10	1,869	2,632	17	10,2
Nov	6	05 24 51,2	+18 39 35	1,791	2,642	13	10,0
Nov	16	05 19 06,2	+18 25 53	1,732	2,653	10	9,8
Nov	26	05 11 13,6	+18 12 52	1,698	2,663	6	9,6
Dic	6	05 02 08,6	+18 01 32	1,692	2,675	2	9,4
Dic	16	04 52 57,5	+17 53 12	1,714	2,686	4	9,6
Dic	26	04 44 49,3	+17 49 26	1,764	2,698	8	9,8

19 FORTUNA 2020
(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Jun	9	23 04 56,6	−04 02 22	1,998	2,281	26	11,7
Jun	19	23 15 17,9	−02 52 12	1,866	2,265	26	11,5
Jun	29	23 24 03,1	−01 51 21	1,738	2,248	26	11,3
Jul	9	23 30 55,6	−01 02 08	1,615	2,232	25	11,1
Jul	19	23 35 36,0	−00 27 09	1,500	2,216	23	10,9
Jul	29	23 37 44,0	−00 09 06	1,395	2,201	20	10,6
Ago	8	23 37 06,5	−00 10 01	1,304	2,186	17	10,4
Ago	18	23 33 39,8	−00 31 01	1,228	2,172	13	10,1
Ago	28	23 27 40,1	−01 11 02	1,173	2,158	8	9,7
Set	7	23 19 52,7	−02 05 37	1,140	2,145	3	9,4
Set	17	23 11 23,6	−03 07 37	1,132	2,133	3	9,4
Set	27	23 03 34,8	−04 07 50	1,148	2,122	9	9,7
Oct	7	22 57 41,0	−04 57 36	1,186	2,111	14	10,0
Oct	17	22 54 31,6	−05 31 02	1,245	2,101	18	10,2
Oct	27	22 54 32,4	−05 44 48	1,319	2,092	22	10,5
Nov	6	22 57 42,7	−05 38 20	1,406	2,084	24	10,7
Nov	16	23 03 47,2	−05 12 38	1,503	2,077	26	10,9
Nov	26	23 12 25,9	−04 29 16	1,606	2,071	28	11,1
Dic	6	23 23 14,3	−03 30 24	1,713	2,066	28	11,2
Dic	16	23 35 51,3	−02 18 08	1,823	2,062	29	11,3

20 MASALIA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β ($^\circ$)	V
May	30	22 38 15,2	−07 49 45	2,471	2,680	22	11,5
Jun	9	22 45 38,5	−07 03 21	2,331	2,671	22	11,4
Jun	19	22 51 20,3	−06 26 35	2,193	2,662	22	11,3
Jun	29	22 55 04,7	−06 01 29	2,061	2,652	20	11,1
Jul	9	22 56 37,8	−05 49 50	1,937	2,642	19	10,9
Jul	19	22 55 47,0	−05 53 09	1,825	2,631	16	10,7
Jul	29	22 52 26,1	−06 12 15	1,729	2,620	13	10,5
Ago	8	22 46 42,9	−06 46 18	1,653	2,608	9	10,2
Ago	18	22 39 00,6	−07 32 47	1,600	2,596	5	10,0
Ago	28	22 30 03,2	−08 26 57	1,574	2,583	1	9,6
Set	7	22 20 51,8	−09 22 27	1,574	2,571	4	9,9
Set	17	22 12 30,0	−10 13 03	1,601	2,557	9	10,1
Set	27	22 05 56,0	−10 53 24	1,653	2,544	13	10,3
Oct	7	22 01 48,9	−11 20 09	1,726	2,530	16	10,5
Oct	17	22 00 26,4	−11 31 58	1,815	2,516	19	10,7
Oct	27	22 01 51,2	−11 28 34	1,917	2,501	21	10,8
Nov	6	22 05 52,3	−11 10 41	2,027	2,487	23	11,0
Nov	16	22 12 12,9	−10 39 18	2,142	2,472	23	11,1
Nov	26	22 20 35,5	−09 55 22	2,259	2,456	24	11,2

27 EUTERPE 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β ($^\circ$)	V
Ene	1	11 56 07,8	+02 13 27	1,661	2,093	27	10,9
Ene	11	12 03 40,2	+01 36 29	1,564	2,110	26	10,8
Ene	21	12 08 28,8	+01 17 57	1,473	2,128	24	10,6
Ene	31	12 10 12,1	+01 19 48	1,390	2,146	21	10,4
Feb	10	12 08 39,4	+01 42 28	1,321	2,165	17	10,2

27 EUTERPE (cont.) 2020
(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Feb	20	12 03 55,6	+02 24 26	1,269	2,184	13	10,0
Mar	1	11 56 29,1	+03 21 20	1,238	2,203	8	9,7
Mar	11	11 47 20,2	+04 25 23	1,232	2,223	2	9,5
Mar	21	11 37 47,1	+05 27 27	1,252	2,242	4	9,6
Mar	31	11 29 11,4	+06 18 50	1,298	2,262	9	9,9
Abr	10	11 22 40,4	+06 53 24	1,368	2,282	13	10,2
Abr	20	11 18 50,2	+07 08 42	1,458	2,301	17	10,5
Abr	30	11 17 53,1	+07 04 43	1,564	2,321	20	10,8
May	10	11 19 42,0	+06 43 03	1,683	2,341	22	11,0
May	20	11 23 57,8	+06 06 07	1,812	2,360	24	11,3
May	30	11 30 20,6	+05 16 06	1,947	2,379	25	11,5
Jun	9	11 38 29,1	+04 15 14	2,086	2,398	25	11,6
Jun	19	11 48 04,2	+03 05 27	2,226	2,417	25	11,8

39 LAETITIA 2020
(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	declinación δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	distancia (ua) a Tierra Δ	distancia (ua) al Sol r	ángulo de fase β ($^\circ$)	mag. V
Set	27	06 10 48,1	+12 04 03	2,382	2,606	23	11,0
Oct	7	06 18 33,4	+11 24 51	2,265	2,616	22	10,9
Oct	17	06 24 07,3	+10 43 43	2,152	2,627	21	10,8
Oct	27	06 27 12,9	+10 02 59	2,045	2,638	20	10,7
Nov	6	06 27 38,5	+09 25 13	1,947	2,649	18	10,5
Nov	16	06 25 17,6	+08 53 17	1,863	2,660	15	10,3
Nov	26	06 20 16,9	+08 30 15	1,797	2,671	12	10,1
Dic	6	06 13 02,2	+08 18 48	1,754	2,682	9	10,0
Dic	16	06 04 16,5	+08 20 47	1,736	2,694	6	9,8
Dic	26	05 55 00,9	+08 36 52	1,746	2,705	6	9,8

40 HARMONIA 2020

(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Fecha		ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo	mag.
		α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} (° ′ ″)	a Tierra Δ	al Sol r	de fase β (°)	V
Ene	31	14 20 29,6	−08 54 47	2,084	2,373	24	11,6
Feb	10	14 29 04,6	−09 20 22	1,956	2,372	24	11,5
Feb	20	14 35 32,6	−09 33 25	1,831	2,371	23	11,3
Mar	1	14 39 30,1	−09 33 23	1,714	2,370	21	11,1
Mar	11	14 40 38,3	−09 20 17	1,607	2,368	19	10,9
Mar	21	14 38 44,6	−08 54 43	1,515	2,366	16	10,6
Mar	31	14 33 49,4	−08 18 20	1,440	2,364	12	10,4
Abr	10	14 26 17,4	−07 34 36	1,388	2,362	7	10,1
Abr	20	14 16 56,5	−06 48 28	1,360	2,360	3	9,9
Abr	30	14 06 55,4	−06 06 14	1,359	2,357	4	9,9
May	10	13 57 32,6	−05 34 12	1,384	2,354	9	10,2
May	20	13 49 53,1	−05 16 54	1,432	2,351	13	10,4
May	30	13 44 42,5	−05 16 49	1,501	2,348	17	10,6
Jun	9	13 42 22,5	−05 34 07	1,586	2,344	20	10,9
Jun	19	13 42 53,0	−06 07 19	1,684	2,341	23	11,1
Jun	29	13 46 05,0	−06 54 21	1,790	2,337	24	11,2
Jul	9	13 51 42,6	−07 52 42	1,903	2,333	25	11,4
Jul	19	13 59 27,9	−08 59 54	2,018	2,328	26	11,5

Cometas

En esta sección se dan los datos relativos a algunos cometas de largo periodo relevantes y los elementos orbitales de los 75 primeros cometas de corto periodo cuyo regreso ha sido observado al menos una vez.

Debido al elevado ritmo actual de descubrimiento de nuevos cometas, hemos considerado oportuno reducir la lista publicada en el ANUARIO a partir de la edición de 2017. La edición de 2016 contenía la lista de los 327 primeros cometas de corto periodo. Si se necesita disponer de elementos orbitales de los cometas periódicos numerados en la actualidad, se puede recurrir a la página del JPL/NASA: `http://ssd.jpl.nasa.gov`.

En junio de 2019 el número de cometas de corto periodo numerados ascendió a 380. Se numeran los cometas que han aparecido al menos en dos ocasiones y aquellos descubiertos recientemente cuya órbita está bien determinada. El último de estos cometas ha sido nombrado como 380P/PANSTARRS y su primera aparición tuvo lugar en el año 2018.

Cometas periódicos que pasan por su perihelio

En primer lugar figura una lista, extraída de los 75 primeros cometas periódicos numerados, en la que figuran aquellos cuyo paso por el perihelio está previsto para este año, de acuerdo con los parámetros de que se dispone para su órbita. Hay que indicar, sin embargo, que algunos han aparecido sólo ocasionalmente.

Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2020

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación
			Sol (ua)	Tierra (ua)	(°)
2P/Encke	Jun	26	0,34	1,19	15
58P/Jackson-Neujmin	Jun	28	1,38	1,62	58
36P/Whipple	Jul	19	3,09	3,19	75
16P/Brooks 2	Ago	2	1,47	1,44	71
11P/Tempel-Swift-LINEAR	Dic	15	1,55	1,00	103

ua = unidad astronómica = 149 597 870 700 m

Cometas de largo periodo

Son aquellos cometas cuyo periodo de revolución alrededor del Sol es mayor que 400 años. La siguiente tabla contiene una lista de cometas de largo periodo que han resultado relevantes por su brillo u otras circunstancias. Por ejemplo, el de 1680 fue observado por Newton. Los últimos cometas incluidos en la lista tienen órbitas hiperbólicas, al ser la excentricidad de su órbita mayor que la unidad. En la tabla figuran los siguientes elementos: el periodo en años (**P**), las distancias mínima y máxima al Sol (**q** y **Q**, respectivamente) y la excentricidad e inclinación de la órbita (**e** y **i**, respectivamente). Obsérvese que la mayoría de estas órbitas están muy inclinadas respecto del plano del sistema solar y que su excentricidad es muy próxima a la unidad (**e** $= 1$ indica que la órbita es parabólica). El código indica el año de su aparición y su orden de aparición en tal año.

Cometas de largo periodo relevantes

Nombre	Código	P (años)	q (ua)	Q (ua)	e	i (°)
Gran cometa de 1861 (Tebbutt)	C/1861 J1	409	0,822	109	0,9851	85
Gran cometa de marzo de 1843	C/1843 D1	515	0,006	129	0,9999	144
Gran cometa de setiembre 1882	C/1882 R1	672	0,008	153	0,9999	142
Ikeya-Seki	C/1965 S1	877	0,008	183	0,9999	142
Bennett	C/1969 Y1	1680	0,538	282	0,9962	90
Gran cometa de 1807	C/1807 R1	1710	0,646	286	0,9955	63
Donati	C/1858 L1	1950	0,578	312	0,9963	117
Gran cometa de 1881	C/1881 K1	2390	0,735	357	0,9959	63
Hale-Bopp	C/1995 O1	2530	0,914	371	0,9951	89
Humason	C/1961 R1	2920	2,133	407	0,9896	153
Gran cometa de 1811 (Flaugergues)	C/1811 F1	3100	1,035	424	0,9951	107
Cometa meridional de 1947	C/1947 X1	3800	0,110	487	0,9995	139
Gran cometa de 1680 (Kirch)	C/1680 V1	9370	0,006	889	1,0000	61
Coggia	C/1874 H1	13700	0,676	1140	0,9988	66
Skjellerup-Maristany	C/1927 X1	$> 10^4$	0,176	2200	0,9998	85
Cometa del eclipse	C/1948 V1	$\sim 10^5$	0,135	4200	0,9999	23
Hyakutake	C/1996 B2	$\sim 10^5$	0,230	4600	0,9999	125
West	C/1975 V1	$\sim 10^6$	0,197	14000	1,0000	43
Gran cometa de enero de 1910	C/1910 A1	$> 10^6$	0,129	52000	1,0000	139
Gran cometa meridional de 1887	C/1887 B1		0,005		1,0	144
Gran cometa meridional de 1865	C/1865 B1		0,026		1,0	92
Gran cometa de 1577 (Tycho)	C/1577 V1		0,177		1,0	105
Cometa de 1744 (De Chéseaux)	C/1743 X1		0,222		1,0	47
Gran cometa de 1901	C/1901 G1		0,245		1,0	131
Gran cometa de 1402	C/1402 D1		0,380		1,0	55
Gran cometa de 1472	C/1471 Y1		0,486		1,0	171
Sarabat	C/1729 P1		4,051		1,0	77
Seki-Lines	C/1962 C1		0,031		> 1	65
Kohoutek	C/1973 E1		0,142		> 1	14
McNaught	C/2006 P1		0,171		> 1	78
Arend-Roland	C/1956 R1		0,316		> 1	120
Morehouse	C/1908 R1		0,945		> 1	140

Cometas de corto periodo

En la tabla que ocupa las páginas siguientes figuran los elementos orbitales de los 75 primeros cometas de corto periodo (P < 200 años) que han aparecido al menos en dos ocasiones. Están ordenados según el sistema de designación de cometas adoptado por la Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU) en 1994. El periodo, P, viene dado en la segunda columna. El año de su primera aparición conocida viene dado en la última columna.

75 primeros cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (ua)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
1P/Halley	75,3	1986,10	0,586	0,967	111,3	58,4	162,3	-239
2P/Encke	3,30	2010,60	0,336	0,848	186,5	334,6	11,8	1786
3D/Biela	6,65	1832,91	0,879	0,751	221,7	250,7	13,2	1772
4P/Faye	7,54	2006,88	1,667	0,567	205,0	199,3	9,0	1843
5D/Brorsen	5,46	1879,25	0,590	0,810	14,9	103,0	29,4	1846
6P/d'Arrest	6,53	2008,62	1,354	0,613	178,1	138,9	19,5	1678
7P/Pons-Winnecke	6,36	2008,74	1,253	0,635	172,3	93,4	22,3	1819
8P/Tuttle	13,6	2008,07	1,027	0,820	207,5	270,3	55,0	1790
9P/Tempel 1	5,52	2011,03	1,509	0,517	178,9	68,9	10,5	1867
10P/Tempel 2	5,38	2005,13	1,427	0,535	195,6	117,8	12,0	1873
11P/Tempel-Swift-LINEAR	6,37	2002,00	1,584	0,539	163,6	240,7	13,5	1869
12P/Pons-Brooks	70,8	1954,39	0,774	0,955	199,0	255,9	74,2	1812
13P/Olbers	69,5	1956,47	1,178	0,930	64,6	86,1	44,6	1815
14P/Wolf	8,74	2009,16	2,725	0,358	159,0	202,1	27,9	1884
15P/Finlay	6,50	2008,48	0,970	0,721	347,5	13,8	6,8	1886
16P/Brooks 2	6,14	2008,28	1,467	0,563	219,5	159,4	4,3	1889
17P/Holmes	6,88	2007,34	2,053	0,432	24,3	326,9	19,1	1892
18D/Perrine-Mrkos	6,72	1968,84	1,272	0,643	166,1	240,9	17,8	1896
19P/Borrelly	6,85	2008,56	1,354	0,625	353,4	75,4	30,3	1904
20D/Westphal	61,9	1913,91	1,254	0,920	57,1	348,0	40,9	1852
21P/Giacobini-Zinner	6,62	2005,51	1,038	0,706	172,5	195,4	31,8	1900
22P/Kopff	6,43	2009,40	1,577	0,544	162,7	120,9	4,7	1906
23P/Brorsen-Metcalf	70,5	1989,70	0,479	0,972	129,6	311,6	19,3	1847
24P/Schaumasse	8,25	2001,34	1,205	0,705	57,9	79,8	11,8	1911
25D/Neujmin 2	5,43	1927,05	1,338	0,567	193,7	328,7	10,6	1916
26P/Grigg-Skjellerup	5,31	2008,23	1,117	0,633	1,7	211,7	22,4	1808
27P/Crommelin	27,9	2011,59	0,748	0,919	196,0	250,6	29,0	1818
28P/Neujmin 1	18,2	2002,99	1,552	0,775	346,9	347,0	14,2	1913
29P/Schwassmann-Wachmann 1	14,6	2004,50	5,722	0,044	48,2	312,7	9,4	1902
30P/Reinmuth 1	7,34	2010,30	1,883	0,501	13,2	119,7	8,1	1928
31P/Schwassmann-Wachmann 2	8,74	2010,75	3,424	0,193	17,9	114,2	4,5	1929
32P/Comas Sola	8,80	2005,25	1,834	0,570	45,9	60,8	12,9	1926
33P/Daniel	8,10	2008,55	2,170	0,462	19,0	66,6	22,4	1909

75 primeros cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (ua)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
34D/Gale	11,0	1938,47	1,183	0,761	209,2	67,9	11,7	1927
35P/Herschel-Rigollet	∼ 155	1939,61	0,748	0,974	29,3	356,0	64,2	1788
36P/Whipple	8,51	2003,51	3,088	0,259	202,2	182,4	9,9	1925
37P/Forbes	6,36	2011,95	1,575	0,541	329,4	315,0	9,0	1929
38P/Stephan-Oterma	37,7	1980,93	1,574	0,860	358,2	79,2	18,0	1867
39P/Oterma	19,5	2002,97	5,471	0,246	56,3	331,6	1,9	1943
40P/Vaisala 1	10,8	2004,06	1,796	0,633	47,2	134,7	11,5	1939
41P/Tuttle-Giacobini-Kresak	5,42	2006,45	1,048	0,660	62,2	141,1	9,2	1858
42P/Neujmin 3	10,7	2004,54	2,015	0,585	147,2	150,4	4,0	1929
43P/Wolf-Harrington	6,13	2010,50	1,358	0,595	191,5	249,9	16,0	1924
44P/Reinmuth 2	7,08	2008,14	2,107	0,428	58,1	286,6	5,9	1947
45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	5,25	2011,74	0,530	0,825	326,2	89,0	4,3	1948
46P/Wirtanen	5,44	2008,09	1,057	0,658	356,3	82,2	11,7	1948
47P/Ashbrook-Jackson	8,34	2009,09	2,799	0,319	357,7	357,0	13,1	1948
48P/Johnson	6,94	2011,75	2,301	0,368	207,9	117,3	13,7	1949
49P/Arend-Rigaux	6,72	2011,80	1,421	0,601	332,9	118,9	19,1	1951
50P/Arend	8,27	2007,84	1,924	0,529	49,0	355,3	19,2	1951
51P/Harrington	7,13	2008,47	1,688	0,544	269,2	83,8	5,4	1953
52P/Harrington-Abell	7,54	2006,62	1,757	0,543	139,1	337,2	10,2	1955
53P/Van Biesbroeck	12,5	2003,77	2,415	0,552	134,1	149,0	6,6	1954
54P/de Vico-Swift-NEAT	7,38	2009,91	2,172	0,427	1,9	358,9	6,1	1844
55P/Tempel-Tuttle	33,2	1998,16	0,976	0,906	172,5	235,3	162,5	1366
56P/Slaughter-Burnham	11,5	2005,04	2,535	0,504	44,1	346,3	8,2	1959
57P/duToit-Neujmin-Delporte	6,40	2008,99	1,725	0,500	115,3	188,8	2,8	1941
58P/Jackson-Neujmin	8,24	1995,77	1,381	0,662	200,4	160,7	13,5	1936
59P/Kearns-Kwee	9,51	2009,18	2,355	0,475	127,5	313,0	9,3	1963
60P/Tsuchinshan 2	6,78	2005,98	1,766	0,507	203,4	288,1	6,7	1965
61P/Shajn-Schaldach	7,06	2008,69	2,108	0,427	221,7	163,1	6,0	1949
62P/Tsuchinshan 1	6,63	2004,94	1,489	0,578	22,9	96,7	10,5	1965
63P/Wild 1	13,3	1999,99	1,961	0,650	168,0	358,5	19,9	1960
64P/Swift-Gehrels	9,35	2009,45	1,377	0,690	96,3	300,7	8,9	1889
65P/Gunn	6,83	2010,17	2,444	0,321	197,2	68,2	10,4	1954
66P/du Toit	14,7	2003,66	1,274	0,788	257,2	22,2	18,7	1944
67P/Churyumov-Gerasimenko	6,45	2009,16	1,246	0,640	12,7	50,2	7,0	1969
68P/Klemola	10,8	2009,06	1,759	0,641	154,0	175,3	11,1	1965
69P/Taylor	6,96	2004,92	1,942	0,467	355,5	108,8	20,6	1915
70P/Kojima	7,06	2007,76	2,012	0,453	2,1	119,3	6,6	1970
71P/Clark	5,53	2011,96	1,567	0,499	208,8	59,6	9,5	1973
72P/Denning-Fujikawa	9,01	1978,75	0,780	0,820	334,3	41,5	8,6	1881
73P/Schwassmann-Wachmann 3	5,34	1995,73	0,933	0,695	198,8	69,9	11,4	1930
74P/Smirnova-Chernykh	8,51	2009,57	3,556	0,147	86,9	77,1	6,6	1967
75P/Kohoutek	6,67	1994,50	1,785	0,496	175,8	269,7	5,9	1975

Los elementos de la órbita, referidos a la época J2000, son:

T = instante del último paso por el perihelio,
q = mínima distancia al Sol (distancia perihélica),
e = excentricidad de la órbita ($e > 1$ para órbitas hiperbólicas),
ω = argumento del perihelio,
Ω = longitud del nodo ascendente,
i = inclinación de la órbita respecto de la eclíptica.

La distancia máxima al Sol (distancia afélica), usualmente designada por la letra Q, puede ser calculada para órbitas elípticas mediante la fórmula:

$$Q = q\,\frac{1+e}{1-e} \qquad \text{(en ua)}.$$

El semieje mayor de la órbita y su periodo vienen dados por:

$$a = \frac{q}{1-e} \qquad \text{(en ua)}, \qquad P = a^{3/2} \qquad \text{(en años)}.$$

Para facilitar la búsqueda de los parámetros de un determinado cometa conocido su nombre, a continuación se encuentra la lista ordenada alfabéticamente de los cometas de la tabla anterior, con indicación de su número de orden y su periodo.

75 primeros cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
8,27	50P/Arend	3,30	2P/Encke
6,73	49P/Arend-Rigaux	7,52	4P/Faye
8,38	47P/Ashbrook-Jackson	6,51	15P/Finlay
6,65	3D/Biela	6,42	37P/Forbes
6,86	19P/Borrelly	10,99	34D/Gale
6,15	16P/Brooks 2	6,54	21P/Giacobini-Zinner
5,46	5D/Brorsen	5,31	26P/Grigg-Skjellerup
70,52	23P/Brorsen-Metcalf	7,65	65P/Gunn
6,45	67P/Churyumov-Gerasimenko	75,31	1P/Halley
5,56	71P/Clark	7,16	51P/Harrington
9,58	32P/Comas Sola	7,58	52P/Harrington-Abell
28,07	27P/Crommelin	154,91	35P/Herschel-Rigollet
8,09	33P/Daniel	6,89	17P/Holmes
6,56	6P/d'Arrest	5,26	45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova
9,03	72P/Denning-Fujikawa	8,24	58P/Jackson-Neujmin
7,38	54P/de Vico-Swift-NEAT	6,95	48P/Johnson
14,78	66P/du Toit	9,52	59P/Kearns-Kwee
6,42	57P/duToit-Neujmin-Delporte	10,84	68P/Klemola

75 primeros cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
6,67	75D/Kohoutek	37,93	38P/Stephan-Oterma
7,05	70P/Kojima	9,41	64P/Swift-Gehrels
6,43	22P/Kopff	7,67	69P/Taylor
18,19	28P/Neujmin 1	5,58	9P/Tempel 1
5,43	25D/Neujmin 2	5,37	10P/Tempel 2
10,77	42P/Neujmin 3	6,31	11P/Tempel-Swift-LINEAR
69,52	13P/Olbers	33,24	55P/Tempel-Tuttle
19,38	39P/Oterma	6,39	62P/Tsuchinshan 1
6,72	18D/Perrine-Mrkos	6,57	60P/Tsuchinshan 2
70,84	12P/Pons-Brooks	13,61	8P/Tuttle
6,32	7P/Pons-Winnecke	5,42	41P/Tuttle-Giacobini-Kresak
7,33	30P/Reinmuth 1	10,98	40P/Vaisala 1
7,09	44P/Reinmuth 2	12,56	53P/Van Biesbroeck
8,26	24P/Schaumasse	61,86	20D/Westphal
14,66	29P/Schwassmann-Wachmann 1	8,52	36P/Whipple
8,73	31P/Schwassmann-Wachmann 2	13,21	63P/Wild 1
5,44	73P/Schwassmann-Wachmann 3	5,44	46P/Wirtanen
7,06	61P/Shajn-Schaldach	8,75	14P/Wolf
11,47	56P/Slaughter-Burnham	6,13	43P/Wolf-Harrington
8,51	74P/Smirnova-Chernykh		

Meteoros y lluvias de meteoros

Se llama **meteoro** al fenómeno resultante de la penetración de una partícula de materia (*meteoroide*) en la atmósfera a gran velocidad (mayor que 11 km s^{-1}). La vaporización de la partícula por su colisión con las moléculas del aire produce una luminosidad que hace observable este fenómeno. Su duración suele ser de una fracción de segundo. La altura a la que el meteoro se hace visible es del orden de 100 km, aunque depende un poco de la velocidad de penetración, evaporándose a mayor altura las partículas que inciden a mayor velocidad. Las partículas de tamaño entre una décima de milímetro y algunos centímetros se consumen totalmente por encima de los 50 km, aunque el gran brillo y velocidad transversal de alguno de ellos los haga aparecer próximos al observador. Sólo algunos meteoroides, de masa inicial suficientemente grande (> 1 kg) y de consistencia muy sólida (rocosa, metálica), llegan al suelo cada día, pasando a denominarse *meteoritos*.

En ciertas épocas del año se aprecia un ritmo de aparición de meteoros mayor que la media procedentes de una región dada del cielo (*radiante*), lo que indica un origen común. Se habla de *lluvia de meteoros* y se las asocia a los restos que cometas que cruzan la órbita terrestre van dejando en sus sucesivos pasos cerca del Sol.

Máximo indica la fecha aproximada en que se da el máximo ritmo de lluvia de meteoros. Puede variar en un día de un año a otro.

Visibilidad es el periodo en que se suele observar la lluvia de meteoros con un ritmo significativamente superior al ritmo medio habitual.

Radiante es la dirección de la cual parece provenir la lluvia de meteoros en el instante del máximo.

Velocidad es la velocidad de choque de los meteoros con la parte alta de la atmósfera.

Ritmo es el ritmo máximo de caida de meteoros (expresado en meteoros por hora) que se observaría a simple vista en un lugar en el que el radiante se encontrara en el cénit y las condiciones de visibilidad fuesen óptimas. En la tabla, cuando el ritmo máximo es variable de un año a otro, se indican tanto el valor habitual como los valores extremos.

Las lluvias de meteoros diurnas (como las Ariétidas y las ζ Perseidas, de junio) sólo son observables con radar y no han sido incluidas en la tabla. La observación con radar se basa en que la onda radio emitida es reflejada por los gases que ioniza el meteoro en la atmósfera superior.

Principales lluvias de meteoros

nombre	máximo	visibilidad	radiante		velocidad	ritmo cenital	
			α	δ	(km s^{-1})	(h^{-1})	
Cuadrántidas	3 Ene	28 Dic - 12 Ene	230°	49°	41	120	[60-200]
Líridas	22 Abr	16 Abr - 25 Abr	271°	34°	49	18	[14-90]
η Acuáridas	6 May	19 Abr - 28 May	338°	-1°	66	50	[40-85]
δ Acuáridas	30 Jul	12 Jul - 23 Ago	340°	-16°	41	25	[16-40]
Perseidas	12 Ago	17 Jul - 24 Ago	48°	58°	59	100	[80-200]
Dracónidas	8 Oct	6 Oct - 10 Oct	262°	54°	20	>20	[20-500+]
Oriónidas	21 Oct	2 Oct - 7 Nov	95°	16°	66	20	[14-70]
Leónidas	17 Nov	6 Nov - 30 Nov	152°	22°	71	15	[10-20+]
Gemínidas	14 Dic	4 Dic - 17 Dic	112°	33°	35	120	[110-140]
Úrsidas	22 Dic	17 Dic - 26 Dic	217°	76°	33	10	[10-50]

EFEMÉRIDES ESTELARES

Estrella Polar

Se denomina Estrella Polar a la más brillante de la constelación de la Osa Menor (α UMi). Se trata de una estrella de magnitud V=2,0 que se encuentra a menos de 1° de la dirección del Polo Norte. Al ser visible a lo largo de todo el año (en el hemisferio Norte) resulta adecuada para algunas aplicaciones en topografía y navegación. Su proximidad al polo permite determinar la latitud del lugar: en primera aproximación (error $< 1°$), es la altura de la Polar. Su dirección sobre el horizonte da, en primera aproximación, la del meridiano. En esta sección se describe la determinación de la latitud y de la dirección de la meridiana por observaciones de la estrella Polar.

α **UMi**	
α_{2000}	$2^{\mathrm{h}}31^{\mathrm{m}}48\overset{\mathrm{s}}{,}704$
δ_{2000}	$89°15'50\overset{''}{,}72$
$\mu_\alpha \cos\delta$	0,03829″ por año
μ_δ	–0,0152″ por año
π	0,003″
V	2,02
$B-V$	0,60
tipo espectral	F8

Consideraciones previas

Para realizar o reducir observaciones de la Polar conviene determinar los siguientes valores:

tiempo sidéreo local = tiempo sidéreo en Greenwich a 0^h TU (*TIEMPOS*)
+ 1,0027379 * Tiempo Universal
+ longitud λ del lugar (positiva al Este)

ángulo horario de la Polar:

H = tiempo sidéreo local $-$ asc. recta de la Polar (α, ver tabla)

distancia polar de la Polar: p (ver tabla)

declinación de la Polar: $\delta = 90^\circ - p$

El instante de culminación superior de la Polar por el meridiano de Greenwich en una fecha dada puede calcularse a partir del valor de la ascensión recta α dada en la tabla de la Polar, mediante:

$$\mathrm{TU} = 0{,}99727\ (\alpha - \mathrm{TSG0} + 24^h)$$

donde TSG0 es el tiempo sidéreo en Greenwich a 0^h de TU (v. tabla en *TIEMPOS*) y el tiempo TU resultante debe darse entre 0^h y 24^h.

Predicción de las coordenadas horizontales de la Polar

La altura h y el acimut a de la Polar en el día y hora considerados y en un lugar de latitud ϕ vienen dados por:

altura: $h = \phi + p\cos H - 0{,}00873\ (p\ \mathrm{sen}\ H)^2 \tan\phi$
acimut: $a = -p\ \mathrm{sen}\ H / \cos h$

donde todos los ángulos (ϕ, p, H, h, a) deben ser expresados en grados y el acimut a se mide desde el Norte positivamente hacia el Este.

Determinación de la latitud

La medida de la altura h de la Polar sobre el horizonte permite determinar la latitud ϕ de un lugar, suponiendo que se conoce la longitud λ de éste con suficiente precisión. Se calculan, como se ha indicado antes, el ángulo horario H de la Polar y su distancia polar p para el instante TU en que se ha realizado la medida de la altura h. Tras corregir ésta de refracción,

errores instrumentales y, si fuera necesario, de la depresión del horizonte, la latitud se determina mediante:

$$\phi = h - p\cos H + 0{,}00873\ (p\ \text{sen}\ H)^2 \tan h$$

donde todos los ángulos (ϕ, p, H, h) deben ser expresados en grados. Para nuestras latitudes, el último sumando es $< 20''$.

Determinación de la meridiana

La medida, sobre el horizonte, de la dirección de la Polar respecto del Norte permite determinar la dirección de la meridiana. Procediendo como antes calculamos los ángulos H y p. Medimos la altura h de la Polar o la predecimos mediante la fórmula dada en **Predicción...** . El acimut de la Polar vendrá dado por:

$$a = -p\ \text{sen}\, H / \cos h$$

midiéndose el acimut a desde el Norte y positivo hacia el Este. Si se desea referir el acimut al Sur, súmese 180° al valor antes obtenido.

Coordenadas Hipparcos y otros parámetros

Datos extraidos de la base de datos estelares SIMBAD y otras referencias.

α **UMi**	
α_{2000}	$2^{\text{h}}31^{\text{m}}49\overset{\text{s}}{.}09456$ ICRS
δ_{2000}	$89^\circ 15' 50\overset{''}{.}7923$ ICRS
$\mu_\alpha \cos\delta$	0,04448″ por año
μ_δ	–0,01185″ por año
Velocidad radial	–17,4 km s^{-1}
π	0,00754″
Distancia	133 pc
V	2,005
$B-V$	0,586
M_V	–3,6
Tipo espectral (HIC)	F7 Ib-IIv C
Variabilidad	Cefeida clásica (δ Cephei)
Periodo	3,97 días
Variación en magnitud	$< 0{,}05$
Masa	$\sim$4,5 $\mathcal{M}_\odot$
Nombres alternativos	α UMi, SAO 308
	PPM 431, FK5 907
	HIP 11767, Tyc 4628-237-1
	HD 8890, IRAS 01490+8901
Sistema estelar	Polar Aa, Polar Ab, Polar B

Posición aparente de la Polar en 2020
en su culminación superior en Greenwich

día	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p
	2^h57^m	$38'$	2^h56^m	$38'$	2^h55^m	$38'$	2^h55^m	$38'$	2^h55^m	$39'$	2^h55^m	$39'$
1	53^s,69	55″,9	59^s,96	51″,3	65^s,42	52″,5	23^s,17	58″,8	10^s,33	7″,5	28^s,92	16″,1
2	52^s,07	55″,7	58^s,16	51″,3	63^s,91	52″,6	22^s,32	59″,1	10^s,22	7″,8	29^s,99	16″,3
3	50^s,49	55″,5	56^s,44	51″,3	62^s,43	52″,8	21^s,37	59″,3	10^s,10	8″,1	31^s,23	16″,6
4	48^s,97	55″,3	54^s,76	51″,2	60^s,95	52″,9	20^s,32	59″,5	10^s,05	8″,4	32^s,64	16″,9
5	47^s,54	55″,1	53^s,08	51″,2	59^s,42	53″,0	19^s,23	59″,8	10^s,14	8″,7	34^s,15	17″,1
6	46^s,18	54″,9	51^s,35	51″,1	57^s,78	53″,1	18^s,15	60″,0	10^s,42	9″,1	35^s,68	17″,3
7	44^s,87	54″,8	49^s,51	51″,0	56^s,02	53″,2	17^s,18	60″,4	10^s,90	9″,4	37^s,17	17″,5
8	43^s,57	54″,5	47^s,52	51″,0	54^s,16	53″,3	16^s,39	60″,7	11^s,52	9″,7	38^s,55	17″,7
9	42^s,22	54″,3	45^s,40	50″,9	52^s,27	53″,5	15^s,81	61″,0	12^s,22	10″,0	39^s,83	17″,8
10	40^s,76	54″,1	43^s,19	50″,9	50^s,44	53″,7	15^s,39	61″,3	12^s,90	10″,3	41^s,01	18″,0
11	39^s,15	53″,8	40^s,98	50″,9	48^s,75	53″,9	15^s,08	61″,6	13^s,50	10″,5	42^s,14	18″,2
12	37^s,38	53″,6	38^s,85	51″,0	47^s,24	54″,1	14^s,78	61″,9	14^s,01	10″,8	43^s,26	18″,4
13	35^s,47	53″,4	36^s,85	51″,0	45^s,90	54″,3	14^s,44	62″,2	14^s,43	11″,0	44^s,41	18″,6
14	33^s,50	53″,2	35^s,00	51″,1	44^s,68	54″,6	14^s,03	62″,4	14^s,79	11″,3	45^s,62	18″,8
15	31^s,54	53″,0	33^s,27	51″,2	43^s,50	54″,8	13^s,52	62″,7	15^s,12	11″,6	46^s,93	19″,0
16	29^s,65	52″,9	31^s,62	51″,2	42^s,31	55″,0	12^s,95	63″,0	15^s,47	11″,8	48^s,35	19″,3
17	27^s,88	52″,8	29^s,97	51″,3	41^s,07	55″,1	12^s,34	63″,2	15^s,87	12″,1	49^s,89	19″,5
18	26^s,23	52″,7	28^s,28	51″,3	39^s,74	55″,3	11^s,71	63″,5	16^s,35	12″,5	51^s,54	19″,7
19	24^s,66	52″,6	26^s,51	51″,3	38^s,32	55″,5	11^s,12	63″,8	16^s,95	12″,8	53^s,28	19″,9
20	23^s,12	52″,5	24^s,65	51″,3	36^s,84	55″,7	10^s,60	64″,2	17^s,68	13″,1	55^s,08	20″,0
21	21^s,57	52″,3	22^s,68	51″,4	35^s,32	55″,9	10^s,17	64″,5	18^s,53	13″,4	56^s,88	20″,2
22	19^s,94	52″,2	20^s,64	51″,4	33^s,80	56″,1	9^s,87	64″,8	19^s,50	13″,7	58^s,65	20″,3
23	18^s,20	52″,0	18^s,55	51″,5	32^s,31	56″,4	9^s,70	65″,2	20^s,55	14″,0	60^s,32	20″,4
24	16^s,33	51″,9	16^s,46	51″,6	30^s,90	56″,7	9^s,65	65″,5	21^s,65	14″,2	61^s,89	20″,5
25	14^s,35	51″,7	14^s,40	51″,7	29^s,59	56″,9	9^s,72	65″,8	22^s,75	14″,5	63^s,37	20″,6
26	12^s,28	51″,6	12^s,40	51″,8	28^s,40	57″,2	9^s,86	66″,2	23^s,80	14″,7	64^s,78	20″,7
27	10^s,16	51″,5	10^s,49	52″,0	27^s,33	57″,5	10^s,04	66″,5	24^s,77	14″,9	66^s,19	20″,8
28	8^s,02	51″,4	8^s,69	52″,2	26^s,38	57″,8	10^s,21	66″,7	25^s,65	15″,1	67^s,67	21″,0
29	5^s,90	51″,4	7^s,01	52″,3	25^s,53	58″,1	10^s,33	67″,0	26^s,45	15″,3	69^s,28	21″,2
30	3^s,84	51″,3			24^s,74	58″,3	10^s,37	67″,3	27^s,22	15″,6	71^s,05	21″,3
31	1^s,85	51″,3			23^s,97	58″,6			28^s,02	15″,8		

Distancia polar: $p = 90° - \delta$, siendo δ la declinación.

El valor mínimo de la distancia polar p se dará alrededor del año 2100, en que tendrá un valor de unos $27'$.

El hecho de usar un valor de la ascensión recta α para una fecha dada, sin interpolar a la hora de observación introduce un error esperado en la latitud ϕ que se determine de 0″,1 (3 m), siendo el error máximo posible menor de 0″,4 (12 m).

Posición aparente de la Polar en 2020
en su culminación superior en Greenwich

día	Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p	α	p
	2^h56^m	$39'$	2^h57^m	$39'$	2^h58^m	$39'$	2^h59^m	$39'$	2^h59^m	$38'$	2^h59^m	$38'$
1	12^{s}97	21$''$5	13^{s}53	22$''$4	14^{s}68	18$''$5	3^{s}83	10$''$8	34^{s}63	60$''$3	37^{s}16	48$''$9
2	15^{s}01	21$''$6	15^{s}63	22$''$3	16^{s}29	18$''$2	5^{s}03	10$''$5	35^{s}33	59$''$9	36^{s}85	48$''$5
3	17^{s}09	21$''$7	17^{s}61	22$''$2	17^{s}90	18$''$0	6^{s}28	10$''$3	36^{s}05	59$''$6	36^{s}43	48$''$1
4	19^{s}15	21$''$8	19^{s}48	22$''$1	19^{s}52	17$''$9	7^{s}61	10$''$0	36^{s}76	59$''$2	35^{s}87	47$''$7
5	21^{s}12	21$''$8	21^{s}27	22$''$0	21^{s}21	17$''$7	9^{s}01	9$''$7	37^{s}43	58$''$8	35^{s}16	47$''$3
6	22^{s}97	21$''$9	23^{s}03	22$''$0	22^{s}97	17$''$5	10^{s}46	9$''$4	38^{s}47	58$''$0	34^{s}32	47$''$0
7	24^{s}72	21$''$9	24^{s}81	21$''$9	24^{s}81	17$''$3	11^{s}94	9$''$1	38^{s}78	57$''$6	33^{s}39	46$''$6
8	26^{s}37	22$''$0	26^{s}63	21$''$9	26^{s}73	17$''$2	13^{s}41	8$''$8	38^{s}95	57$''$2	32^{s}44	46$''$3
9	27^{s}98	22$''$0	28^{s}53	21$''$8	28^{s}70	17$''$0	14^{s}83	8$''$4	39^{s}00	56$''$8	31^{s}53	46$''$0
10	29^{s}59	22$''$1	30^{s}52	21$''$8	30^{s}70	16$''$7	16^{s}16	8$''$1	38^{s}98	56$''$4	30^{s}72	45$''$7
11	31^{s}24	22$''$2	32^{s}60	21$''$7	32^{s}69	16$''$5	17^{s}36	7$''$7	38^{s}96	56$''$0	30^{s}05	45$''$4
12	32^{s}96	22$''$3	34^{s}77	21$''$7	34^{s}62	16$''$2	18^{s}42	7$''$3	39^{s}02	55$''$7	29^{s}49	45$''$1
13	34^{s}78	22$''$3	37^{s}00	21$''$6	36^{s}46	15$''$9	19^{s}33	6$''$9	39^{s}21	55$''$4	28^{s}98	44$''$8
14	36^{s}70	22$''$4	39^{s}25	21$''$5	38^{s}16	15$''$7	20^{s}15	6$''$6	39^{s}55	55$''$0	28^{s}44	44$''$5
15	38^{s}73	22$''$5	41^{s}48	21$''$3	39^{s}72	15$''$3	20^{s}94	6$''$2	39^{s}97	54$''$7	27^{s}77	44$''$1
16	40^{s}85	22$''$6	43^{s}64	21$''$2	41^{s}15	15$''$1	21^{s}78	5$''$9	40^{s}39	54$''$3	26^{s}92	43$''$7
17	43^{s}03	22$''$6	45^{s}69	21$''$0	42^{s}53	14$''$8	22^{s}75	5$''$6	40^{s}71	53$''$9	25^{s}88	43$''$4
18	45^{s}22	22$''$7	47^{s}61	20$''$8	43^{s}94	14$''$5	23^{s}86	5$''$3	40^{s}87	53$''$5	24^{s}69	43$''$0
19	47^{s}38	22$''$7	49^{s}40	20$''$7	45^{s}44	14$''$3	25^{s}09	5$''$0	40^{s}85	53$''$1	23^{s}39	42$''$7
20	49^{s}46	22$''$6	51^{s}11	20$''$5	47^{s}10	14$''$1	26^{s}36	4$''$6	40^{s}65	52$''$7	22^{s}03	42$''$4
21	51^{s}43	22$''$6	52^{s}81	20$''$3	48^{s}89	13$''$9	27^{s}58	4$''$3	40^{s}33	52$''$3	20^{s}67	42$''$1
22	53^{s}27	22$''$5	54^{s}59	20$''$2	50^{s}76	13$''$6	28^{s}68	3$''$9	39^{s}92	51$''$9	19^{s}35	41$''$9
23	55^{s}02	22$''$5	56^{s}49	20$''$1	52^{s}63	13$''$3	29^{s}61	3$''$5	39^{s}47	51$''$5	18^{s}08	41$''$6
24	56^{s}73	22$''$5	58^{s}54	20$''$0	54^{s}44	13$''$0	30^{s}38	3$''$1	39^{s}03	51$''$2	16^{s}87	41$''$4
25	58^{s}48	22$''$5	60^{s}71	19$''$9	56^{s}12	12$''$7	31^{s}01	2$''$7	38^{s}62	50$''$8	15^{s}74	41$''$2
26	60^{s}33	22$''$5	62^{s}94	19$''$7	57^{s}65	12$''$4	31^{s}54	2$''$3	38^{s}28	50$''$5	14^{s}65	40$''$9
27	62^{s}33	22$''$6	65^{s}16	19$''$5	59^{s}05	12$''$0	32^{s}00	1$''$9	37^{s}99	50$''$2	13^{s}60	40$''$7
28	64^{s}47	22$''$6	67^{s}30	19$''$3	60^{s}32	11$''$7	32^{s}44	1$''$6	37^{s}76	49$''$9	12^{s}52	40$''$4
29	66^{s}72	22$''$6	69^{s}33	19$''$1	61^{s}52	11$''$4	32^{s}91	1$''$2	37^{s}57	49$''$6	11^{s}39	40$''$2
30	69^{s}02	22$''$5	71^{s}23	18$''$9	62^{s}67	11$''$1	33^{s}42	0$''$9	37^{s}38	49$''$2	10^{s}17	39$''$9
31	71^{s}31	22$''$5	73^{s}00	18$''$7			33^{s}99	0$''$6			8^{s}81	39$''$6

El día 5 de noviembre la Polar culmina dos veces en Greenwich, siendo las coordenadas en su segundo paso: $\alpha = 2^h59^m38^s{,}01$ y $p = 38'58''{,}4$.

Distancia polar:

$$p = 90^\circ - \delta$$

Declinación de la Polar:

$$\delta = 90^\circ - p$$

Mínimos de β Persei (Algol) en 2020

fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora	
Ene 2	20^h21^m	Abr 3	14^h40^m	Jul 1	11^h59^m	Oct 1	05^h56^m
Ene 5	17^h11^m	Abr 6	11^h29^m	Jul 4	08^h48^m	Oct 4	02^h45^m
Ene 8	14^h00^m	Abr 9	08^h19^m	Jul 7	05^h36^m	Oct 6	23^h33^m
Ene 11	10^h49^m	Abr 12	05^h08^m	Jul 10	02^h25^m	Oct 9	20^h22^m
Ene 14	07^h38^m	Abr 15	01^h57^m	Jul 12	23^h14^m	Oct 12	17^h11^m
Ene 17	04^h28^m	Abr 17	22^h46^m	Jul 15	20^h02^m	Oct 15	14^h00^m
Ene 20	01^h17^m	Abr 20	19^h35^m	Jul 18	16^h51^m	Oct 18	10^h48^m
Ene 22	22^h06^m	Abr 23	16^h24^m	Jul 21	13^h40^m	Oct 21	07^h37^m
Ene 25	18^h56^m	Abr 26	13^h14^m	Jul 24	10^h28^m	Oct 24	04^h26^m
Ene 28	15^h45^m	Abr 29	10^h03^m	Jul 27	07^h17^m	Oct 27	01^h15^m
Ene 31	12^h34^m	May 2	06^h52^m	Jul 30	04^h06^m	Oct 29	22^h04^m
Feb 3	09^h24^m	May 5	03^h41^m	Ago 2	00^h54^m	Nov 1	18^h53^m
Feb 6	06^h13^m	May 8	00^h30^m	Ago 4	21^h43^m	Nov 4	15^h41^m
Feb 9	03^h03^m	May 10	21^h19^m	Ago 7	18^h32^m	Nov 7	12^h30^m
Feb 11	23^h52^m	May 13	18^h08^m	Ago 10	15^h20^m	Nov 10	09^h19^m
Feb 14	20^h41^m	May 16	14^h57^m	Ago 13	12^h09^m	Nov 13	06^h08^m
Feb 17	17^h31^m	May 19	11^h46^m	Ago 16	08^h57^m	Nov 16	02^h57^m
Feb 20	14^h20^m	May 22	08^h35^m	Ago 19	05^h46^m	Nov 18	23^h46^m
Feb 23	11^h09^m	May 25	05^h24^m	Ago 22	02^h35^m	Nov 21	20^h35^m
Feb 26	07^h59^m	May 28	02^h13^m	Ago 24	23^h23^m	Nov 24	17^h24^m
Feb 29	04^h48^m	May 30	23^h02^m	Ago 27	20^h12^m	Nov 27	14^h13^m
Mar 3	01^h38^m	Jun 2	19^h51^m	Ago 30	17^h01^m	Nov 30	11^h02^m
Mar 5	22^h27^m	Jun 5	16^h40^m	Set 2	13^h49^m	Dic 3	07^h52^m
Mar 8	19^h16^m	Jun 8	13^h28^m	Set 5	10^h38^m	Dic 6	04^h41^m
Mar 11	16^h06^m	Jun 11	10^h17^m	Set 8	07^h26^m	Dic 9	01^h30^m
Mar 14	12^h55^m	Jun 14	07^h06^m	Set 11	04^h15^m	Dic 11	22^h19^m
Mar 17	09^h44^m	Jun 17	03^h55^m	Set 14	01^h04^m	Dic 14	19^h08^m
Mar 20	06^h34^m	Jun 20	00^h44^m	Set 16	21^h52^m	Dic 17	15^h57^m
Mar 23	03^h23^m	Jun 22	21^h33^m	Set 19	18^h41^m	Dic 20	12^h46^m
Mar 26	00^h12^m	Jun 25	18^h21^m	Set 22	15^h30^m	Dic 23	09^h36^m
Mar 28	21^h02^m	Jun 28	15^h10^m	Set 25	12^h18^m	Dic 26	06^h25^m
Mar 31	17^h51^m			Set 28	09^h07^m	Dic 29	03^h14^m

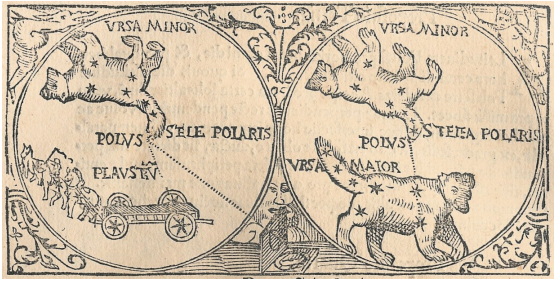
Mínimos de β Lyrae (Sheliak) en 2020

fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora	
Ene 3	04^h26^m	Abr 2	18^h42^m	Jul 2	08^h59^m	Oct 13	21^h52^m
Ene 16	03^h03^m	Abr 15	17^h19^m	Jul 15	07^h35^m	Oct 26	20^h28^m
Ene 29	01^h39^m	Abr 28	15^h56^m	Jul 28	06^h12^m	Nov 8	19^h05^m
Feb 11	00^h16^m	May 11	14^h32^m	Ago 10	04^h49^m	Nov 21	17^h42^m
Feb 23	22^h52^m	May 24	13^h09^m	Ago 23	03^h25^m	Dic 4	16^h18^m
Mar 7	21^h29^m	Jun 6	11^h45^m	Set 5	02^h02^m	Dic 17	14^h55^m
Mar 20	20^h06^m	Jun 19	10^h22^m	Set 18	00^h38^m	Dic 30	13^h31^m
				Set 30	23^h15^m		

Estrellas variables de largo periodo tipo Mira

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magnitud máx.	magnitud mín.	periodo (días)	fecha del máximo
X Oph	18 38	+08 50	5,9	9,2	334	Ene 06
χ Cyg	19 51	+32 55	3,3	14,2	406	Ene 18
S CMi	07 33	+08 19	6,6	13,2	332	Ene 22
S UMa	12 44	+61 06	7,0	12,4	226	Feb 13
R Aql	19 06	+08 14	5,5	12,0	284	Feb 18
SS Vir	12 25	+00 48	6,0	9,6	354	Feb 26
R Gem	07 07	+22 42	6,0	14,0	369	Mar 04
R Sgr	19 17	−19 18	6,7	12,8	268	Mar 21
V Mon	06 23	−02 12	6,0	13,7	333	Abr 05
T UMa	12 36	+59 29	6,6	13,4	256	Abr 06
T Hya	08 56	−09 08	6,7	13,2	289	Abr 20
T Her	18 09	+31 01	6,8	13,9	165	Abr 27
U Ori	05 56	+20 10	4,8	12,6	372	May 04
W And	02 18	+44 18	6,7	14,6	395	May 09
R Vul	21 04	+23 49	7,0	14,3	136	May 11
R Vir	12 38	+06 59	6,0	12,1	145	May 12
R LMi	09 46	+34 31	6,3	13,2	371	May 14
S Vir	13 33	−07 12	6,3	13,2	377	May 22
R Ser	15 51	+15 08	5,2	14,4	356	May 25
R Crv	12 20	−19 15	6,7	14,4	317	Jun 01
U Cyg	20 20	+47 54	5,9	12,1	462	Jun 01
R Peg	23 07	+10 33	6,9	13,8	378	Jun 04
V Cas	23 12	+59 42	6,9	13,4	228	Jun 24
RT Cyg	19 44	+48 47	6,4	12,7	190	Jul 05
U Cet	02 34	−13 09	6,8	13,4	234	Jul 06
R Cnc	08 17	+11 44	6,1	11,8	361	Jul 14
R Tri	02 37	+34 16	5,4	12,6	266	Jul 20
R Aqr	23 44	−15 17	5,8	12,4	386	Jul 21
T Cep	21 10	+68 29	5,2	11,3	388	Jul 22
R Boo	14 37	+26 44	6,2	12,1	223	Ago 05
S CrB	15 21	+31 22	5,8	14,1	360	Ago 06
R Dra	16 33	+66 45	6,7	13,0	245	Ago 29
R Aur	05 17	+53 35	6,7	13,9	457	Set 19
V CrB	15 50	+39 34	6,9	12,6	357	Set 23
o Cet	02 19	−02 59	2,0	10,0	331	Oct 04
R UMa	10 45	+68 47	6,7	13,4	301	Oct 05
S Her	16 52	+14 56	6,4	13,8	307	Oct 13
R Leo	09 48	+11 26	4,4	11,3	312	Oct 16
R And	00 24	+38 35	5,8	14,9	409	Oct 20
R Cas	23 58	+51 24	4,7	13,5	430	Oct 20
R Cyg	19 37	+50 12	6,1	14,2	426	Oct 28
U Her	16 26	+18 54	6,5	13,4	406	Oct 29
R Hya	13 30	−23 17	3,0	11,0	389	Nov 14
T Cas	00 23	+55 48	6,9	13,0	444	Nov 26
R Lep	05 00	−14 48	5,5	11,7	432	Dic 04

CATALOGOS


VRSA MINOR
POLVS
STELE POLARIS
PLAVSTRV
VRSA MINOR
POLVS
STELLA POLARIS
VRSA
MAIOR

ESTRELLAS

Constelaciones
Estrellas con nombre propio
Estrellas más cercanas
Estrellas con mayor movimiento propio
Las 20 estrellas más brillantes
Estrellas más brillantes que $V = 3$
Estrellas dobles
Estrellas variables
Tabla de equivalencias entre brillo y magnitud
Tabla de equivalencias para distancias en la Vía Láctea

Constelaciones

Las constelaciones son áreas en que se divide la esfera celeste para localizar las estrellas y demás astros. A fin de evitar confusiones, la Unión Astronómica Internacional recomendó en 1928 utilizar 88 constelaciones definidas por unos límites bien establecidos. Estas son las que figuran en la tabla siguiente, en la que se indica su nombre latino, su abreviatura, su posición aproximada dada en ascensión recta (α) y declinación (δ), su área expresada en grados cuadrados, el número aproximado de estrellas más brillantes que la magnitud 6^a (en total unas cinco mil) y la traducción más habitual del nombre.

Las cuatro constelaciones más extensas son: Hidra Hembra, Virgen, Osa Mayor y Ballena. Las cuatro constelaciones más pequeñas son: Cruz del Sur, Caballo Menor, Flecha y Compás.

Estrellas con nombre propio

Algunas de las estrellas más brillantes han recibido un nombre propio por el que a menudo son citadas. Se desaconseja el uso de tales nombres, dado que no hay unanimidad en la asignación de nombres, hay diferentes ortografías para un mismo nombre y nombres iguales o muy parecidos son asignados a estrellas en distintas constelaciones. En una tabla indicamos, para algo más de cien estrellas, la equivalencia entre el nombre propio y la estrella a que se suele referir (dada en notación de Bayer o Flamstead), cuyas coordenadas ecuatoriales y brillo se indican.

En una pequeña tabla aparte se dan los nombres y posiciones de las nueve estrellas más brillantes del cúmulo abierto de las Pléyades.

En otra tabla se dan nombres propios para las estrellas más brillantes o más conocidas de algunas constelaciones. En alguno de los casos se da más de un nombre; por ejemplo: β Centauri figura como *Hadar* y *Agena*.

Estrellas más cercanas

La estrella más cercana al Sol es Proxima Centauri, que se encuentra a 1,30 parsecs (4,2 años luz) de distancia. En la tabla figuran las estrellas conocidas más cercanas de 5 pc (unos 16 años luz). Cuando se trata de una estrella doble o múltiple sólo se ha hecho constar la estrella más brillante.

Entre las estrellas más cercanas se encuentran algunas de las más brillantes, como Sirio (α CMa), Rigil Kentaurus (α Cen), Proción (α CMi) y Altair (α Aql), que se encuentra a 5,1 pc. También pueden encontrarse en esta tabla algunas de las estrellas con mayor movimiento propio; entre ellas las conocidas como la estrella de Barnard y la estrella de Kapteyn.

Estrellas con mayor movimiento propio

Algunas estrellas cercanas presentan un movimiento apreciable respecto del sistema de referencia que definen aquellas tan alejadas que podemos suponer "fijas" en largos intervalos de tiempo. En la tabla figuran todas las estrellas conocidas cuyo movimiento propio anual supera los $3''$ y cuya magnitud es $V < 10$. Como excepción, se ha incluido Proxima Centauri por tratarse de la estrella más cercana conocida.

Estrellas brillantes

En una primera tabla figuran las 20 estrellas que aparecen como más brillantes en el cielo para un observador situado en el Sistema Solar. Este brillo se expresa en magnitudes y viene dado en la columna V, indicandose con un asterisco aquellas estrellas que son variables. En el caso de tratarse de una estrella doble, la letra A tras su nombre indica que se refiere a la componente más brillante, mientras que A+B indica que se refiere a la luminosidad conjunta. En la siguiente columna de la tabla figura la *magnitud absoluta*, lo que da idea del brillo intrínseco de la estrella independientemente de su cercanía o lejanía al observador. La magnitud absoluta se define como la magnitud aparente de la estrella si se encontrara a una distancia de 10 pc (32,6 años luz). Comparando las dos columnas vemos que la estrella que nos parece la más brillante (Sirio) tiene un brillo intrínseco unas 12 000 veces menor que una estrella aparentemente menos brillante, como es Deneb.

Para pasar de diferencia de magnitudes a razón de brillos se puede utilizar la tabla que figura al final de esta sección.

En una segunda tabla figuran las 177 estrellas conocidas más brillantes que $V = 3$, en la que se indica su posición para la época J2000, su movimiento propio, paralaje, magnitud y tipo espectral.

Efemérides

Algunas efemérides relativas a estrellas figuran en la primera parte del ANUARIO. En páginas anteriores se encuentran las efemérides de la Polar, los instantes de mínimo de β Persei (Algol) y β Lyrae y los instantes de máximo de las variables de largo periodo tipo Mira.

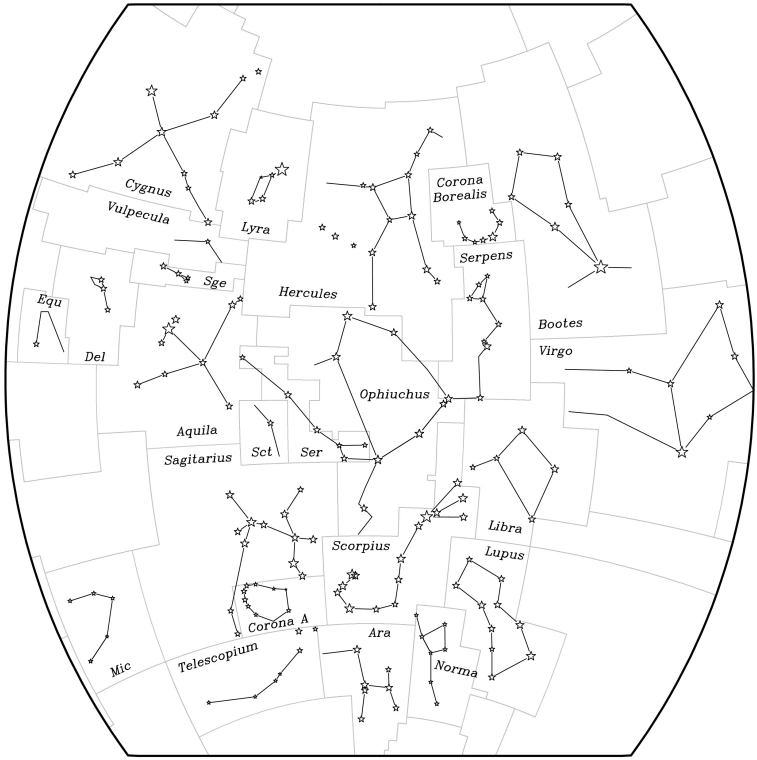
Constelaciones

nombre latino	abr.	α (h)	δ ($\circ$)	área ($\circ^2$)	N_*	traducción
Andromeda	And	1	40	722	100	Andrómeda
Antlia	Ant	10	−35	239	20	Máquina Neumática
Apus	Aps	16	−75	206	20	Ave del Paraiso
Aquarius	Aqr	23	−15	980	90	Acuario
Aquila	Aql	20	5	652	70	Aguila
Ara	Ara	17	−55	237	30	Altar
Aries	Ari	3	20	441	50	Carnero
Auriga	Aur	6	40	657	90	Cochero
Bootes	Boo	15	30	907	90	Boyero
Caelum	Cae	5	−40	125	10	Buril
Camelopardalis	Cam	6	70	757	50	Jirafa
Cancer	Cnc	9	20	506	60	Cangrejo
Canes Venatici	CVn	13	40	465	30	Perros de Caza
Canis Major	CMa	7	−20	380	80	Can Mayor
Canis Minor	CMi	8	5	183	20	Can Menor
Capricornus	Cap	21	−20	414	50	Capricornio
Carina	Car	9	−60	494	110	Quilla
Cassiopeia	Cas	1	60	598	90	Casiopea
Centaurus	Cen	13	−50	1060	150	Centauro
Cepheus	Cep	22	70	588	60	Cefeo
Cetus	Cet	2	−10	1231	100	Ballena
Chamaeleon	Cha	11	−80	132	20	Camaleón
Circinus	Cir	15	−60	93	20	Compás
Columba	Col	6	−35	270	40	Paloma
Coma Berenices	Com	13	20	386	50	Cabellera de Berenice
Corona Australis	CrA	19	−40	128	25	Corona Austral
Corona Borealis	CrB	16	30	179	20	Corona Boreal
Corvus	Crv	12	−20	184	15	Cuervo
Crater	Crt	11	−15	282	20	Copa
Crux	Cru	12	−60	68	30	Cruz del Sur
Cygnus	Cyg	21	40	804	150	Cisne (Cruz del Norte)
Delphinus	Del	21	10	189	30	Delfín
Dorado	Dor	5	−65	179	20	Dorada
Draco	Dra	17	65	1083	80	Dragón
Equuleus	Equ	21	10	72	10	Caballo Menor
Eridanus	Eri	3	−20	1138	100	Erídano
Fornax	For	3	−30	398	35	Horno químico
Gemini	Gem	7	20	514	70	Gemelos
Grus	Gru	22	−45	366	30	Grulla
Hercules	Her	17	30	1225	140	Hércules
Horologium	Hor	3	−60	249	20	Reloj
Hydra	Hya	10	−20	1303	130	Hidra Hembra
Hydrus	Hyi	2	−75	243	20	Hidra Macho
Indus	Ind	21	−55	294	20	Indio
Lacerta	Lac	22	45	201	35	Lagarto

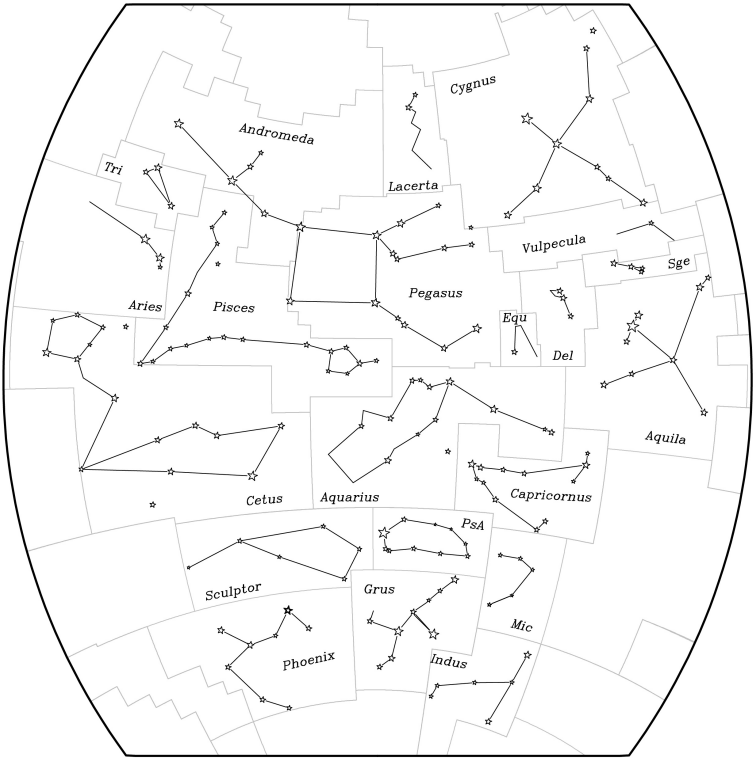
Constelaciones (cont.)

nombre latino	abr.	α (h)	δ (○)	área ($○^2$)	N_*	traducción
Leo	Leo	11	15	947	70	León
Leo Minor	LMi	10	35	232	20	León Menor
Lepus	Lep	6	−20	290	40	Liebre
Libra	Lib	15	−15	538	50	Balanza
Lupus	Lup	15	−45	334	70	Lobo
Lynx	Lyn	8	45	545	60	Lince
Lyra	Lyr	19	40	286	45	Lira
Mensa	Men	5	−80	153	15	Mesa
Microscopium	Mic	21	−35	210	20	Microscopio
Monoceros	Mon	7	−5	482	85	Unicornio
Musca	Mus	12	−70	138	30	Mosca
Norma	Nor	16	−50	165	20	Escuadra
Octans	Oct	22	−85	291	35	Octante
Ophiuchus	Oph	17	0	948	100	Ofiuco
Orion	Ori	5	5	594	120	Orión
Pavo	Pav	20	−65	378	45	Pavo
Pegasus	Peg	22	20	1121	100	Pegaso
Perseus	Per	3	45	615	90	Perseo
Phoenix	Phe	1	−50	469	40	Fénix
Pictor	Pic	6	−55	247	30	Caballete del Pintor
Pisces	Psc	1	15	889	75	Peces
Piscis Austrinus	PsA	22	−30	245	25	Pez Austral
Puppis	Pup	8	−40	673	140	Popa
Pyxis	Pyx	9	−30	221	25	Brújula
Reticulum	Ret	4	−60	114	15	Retículo
Sagitta	Sge	20	10	80	20	Flecha
Sagittarius	Sgr	19	−25	867	115	Sagitario
Scorpius	Sco	17	−40	497	100	Escorpión
Sculptor	Scl	0	−30	475	30	[Taller del] Escultor
Scutum	Sct	19	−10	109	20	Escudo
Serpens	Ser	17	0	637	60	Serpiente
Sextans	Sex	10	0	314	25	Sextante
Taurus	Tau	4	15	797	125	Toro
Telescopium	Tel	19	−50	252	30	Telescopio
Triangulum	Tri	2	30	132	15	Triángulo
Triangulum Australe	TrA	16	−65	110	20	Triángulo Austral
Tucana	Tuc	0	−65	295	25	Tucán
Ursa Major	UMa	11	50	1280	125	Osa Mayor
Ursa Minor	UMi	15	70	256	20	Osa Menor
Vela	Vel	9	−50	500	110	Vela
Virgo	Vir	13	0	1294	95	Virgen
Volans	Vol	8	−70	141	20	Pez Volador
Vulpecula	Vul	20	25	268	45	Raposilla

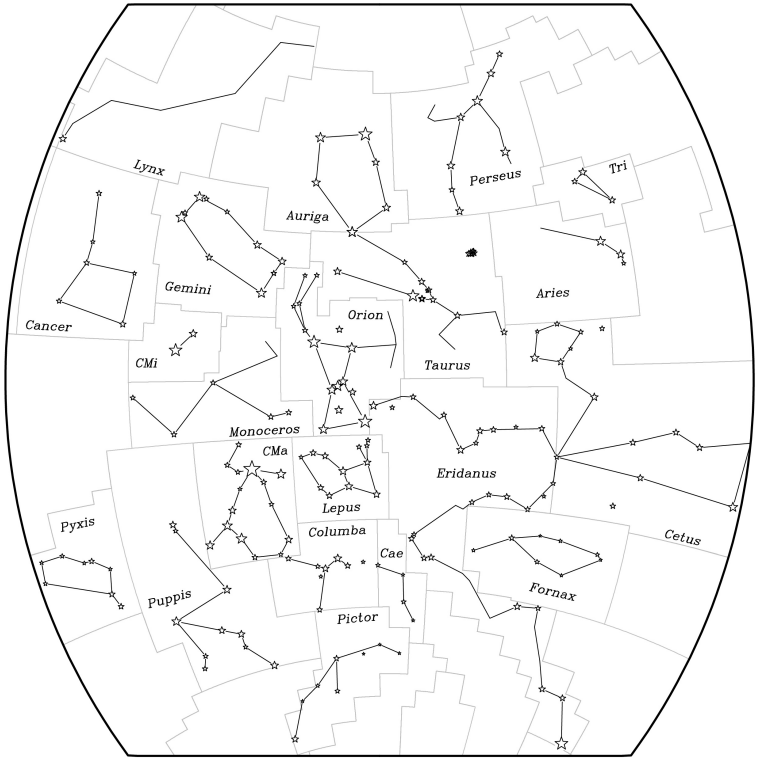
N_* es el número aproximado de estrellas más brillantes que la magnitud 6.



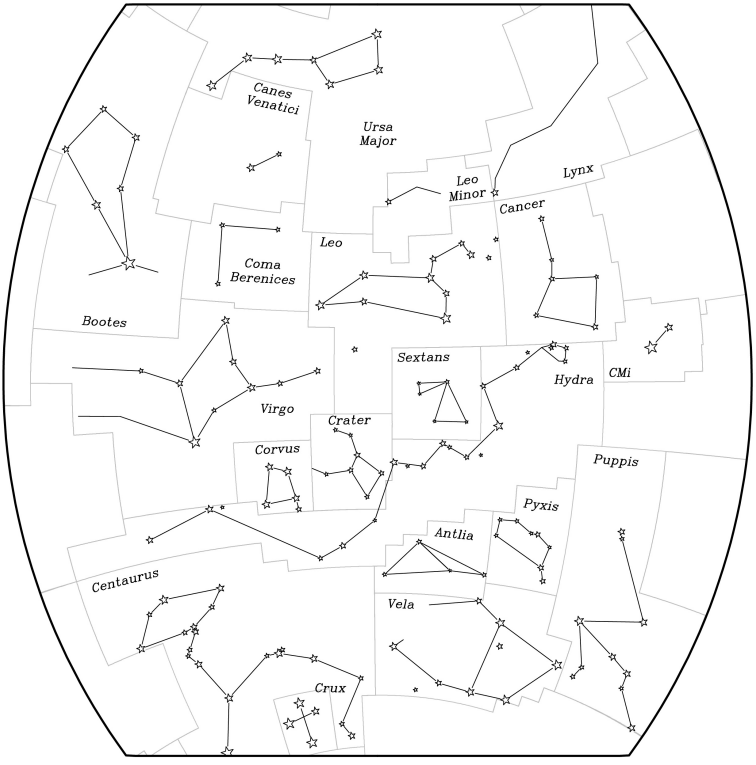
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, y con ascensiones rectas desde 13 a 21 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



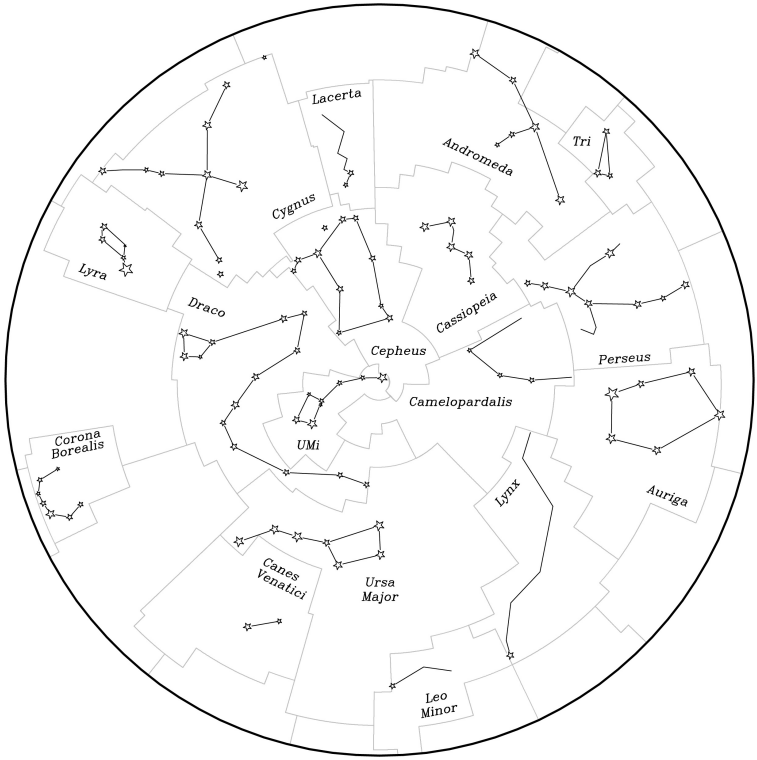
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, y con ascensiones rectas desde 19 a 3 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



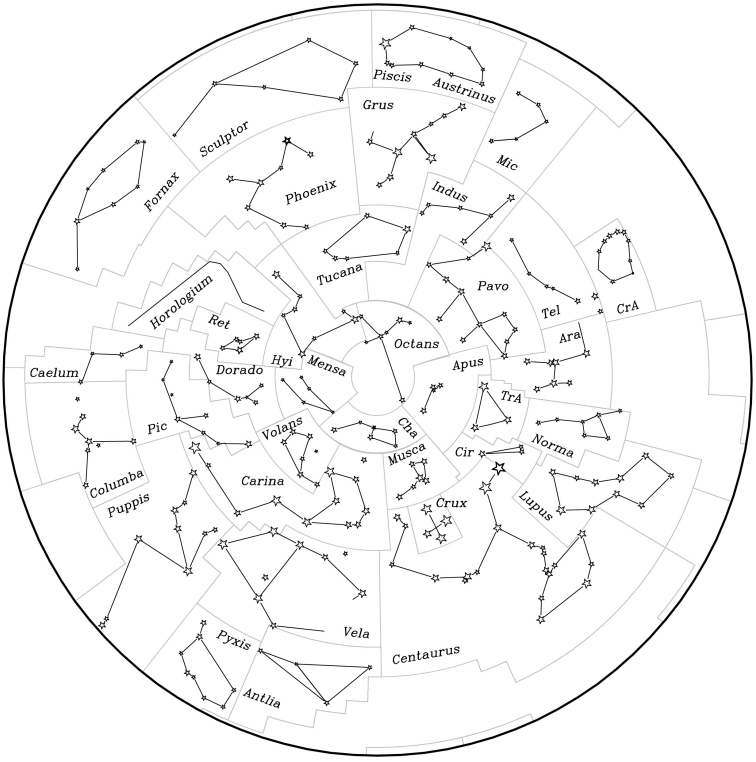
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, y con ascensiones rectas desde 1 a 9 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de $-65°$ y $+65°$, y con ascensiones rectas desde 7 a 15 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



Esta proyección cubre las constelaciones con declinación superior a $+25^\circ$, que corresponde al borde externo de la figura. El origen de ascensión recta se encuentra en la parte superior de la figura.



Esta proyección cubre las constelaciones con declinación inferior a $-25°$, que corresponde al borde externo de la figura. El origen de ascensión recta se encuentra en la parte superior de la figura.

Estrellas con nombre propio

nombre	en constelación (Bayer)	α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn. V
Acamar	θ^1 Eridani	02 58 16	−40 18	3,24
Achernar	α Eridani	01 37 43	−57 14	0,45
Acrux	α^1 Crucis	12 26 36	−63 06	1,33
Adara	ε Canis Majoris	06 58 38	−28 58	1,50
Al Na'ir	α Gruis	22 08 14	−46 58	1,73
Albireo	β^1 Cygni	19 30 43	+27 58	3,05
Alcaid	η Ursae Majoris	13 47 32	+49 19	1,85
Alchiba	α Corvi	12 08 25	−24 44	4,02
Alcor	80 Ursae Majoris	13 25 14	+54 59	3,99
Alcíone	η Tauri	03 47 29	+24 06	2,85
Aldebarán	α Tauri	04 35 55	+16 31	0,87
Alderamín	α Cephei	21 18 35	+62 35	2,45
Alfard	α Hydrae	09 27 35	−08 40	1,97
Alfeca	α Coronae Borealis	15 34 41	+26 43	2,22
Alferatz	α Andromedae	00 08 23	+29 05	2,07
Algedi	α^2 Capricorni	20 18 03	−12 33	3,58
Algenib	γ Pegasi	00 13 14	+15 11	2,83
Algieba	γ^1 Leonis	10 19 58	+19 50	2,28
Algol	β Persei	03 08 10	+40 57	2,09
Alhena	γ Geminorum	06 37 43	+16 24	1,93
Alioth	ε Ursae Majoris	12 54 02	+55 58	1,76
Almac	γ^1 Andromedae	02 03 54	+42 20	2,10
Alnilam	ε Orionis	05 36 13	−01 12	1,69
Altair	α Aquilae	19 50 47	+08 52	0,76
Ancaa	α Phoenicis	00 26 17	−42 18	2,40
Antares	α Scorpii	16 29 24	−26 26	1,06
Arneb	α Leporis	05 32 44	−17 49	2,58
Arturo	α Bootis	14 15 40	+19 11	−0,05
Atria	α Trianguli Australis	16 48 40	−69 02	1,91
Avior	ε Carinae	08 22 31	−59 31	1,86
Belátrix	γ Orionis	05 25 08	+06 21	1,64
Betelgeuse	α Orionis	05 55 10	+07 24	0,45
Canopo	α Carinae	06 23 57	−52 42	−0,62
Capela	α Aurigae	05 16 41	+46 00	0,08
Caf	β Cassiopeiae	00 09 11	+59 09	2,28
Cástor	α Geminorum	07 34 36	+31 53	1,58
Cor Caroli	α^2 Canum Venaticorum	12 56 02	+38 19	2,89
Cursa	β Eridani	05 07 51	−05 05	2,78
Deneb	α Cygni	20 41 26	+45 17	1,25
Denébola	β Leonis	11 49 04	+14 34	2,14
Difda	β Ceti	00 43 35	−17 59	2,04
Dubhe	α Ursae Majoris	11 03 44	+61 45	1,81
Elnath	β Tauri	05 26 18	+28 36	1,65
Etamín	γ Draconis	17 56 36	+51 29	2,24
Enif	ε Pegasi	21 44 11	+09 53	2,38

Estrellas con nombre propio

nombre	en constelación (Bayer)	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′)	magn. V
Espiga	α Virginis	13 25 12	−11 10	0,98
Fact	α Columbae	05 39 39	−34 04	2,65
Fecda	γ Ursae Majoris	11 53 50	+53 42	2,41
Fomalhaut	α Piscis Austrini	22 57 39	−29 37	1,17
Gacrux	γ Crucis	12 31 10	−57 07	1,59
Gienah	γ Corvi	12 15 48	−17 33	2,58
Graffias	β^1 Scorpii	16 05 26	−19 48	2,56
Hadar	β Centauri	14 03 49	−60 22	0,61
Hamal	α Arietis	02 07 10	+23 28	2,01
Izar	ε Bootis	14 44 59	+27 04	2,35
Kaus Australis	ε Sagittarii	18 24 10	−34 23	1,79
Kocab	β Ursae Minoris	14 50 42	+74 09	2,07
Markab	α Pegasi	23 04 46	+15 12	2,49
Megrez	δ Ursae Majoris	12 15 26	+57 02	3,32
Menkalinan	β Aurigae	05 59 32	+44 57	1,90
Menkar	α Ceti	03 02 17	+04 05	2,54
Menkent	θ Centauri	14 06 41	−36 22	2,06
Merak	β Ursae Majoris	11 01 51	+56 23	2,34
Miaplacidus	β Carinae	09 13 12	−69 43	1,67
Mimosa	β Crucis	12 47 43	−59 41	1,25
Mintaka	δ Orionis	05 32 00	−00 18	2,25
Mira	*o* Ceti	02 19 21	−02 59	6,47
Mirach	β Andromedae	01 09 44	+35 37	2,07
Mirfak	α Persei	03 24 19	+49 52	1,79
Mirzam	β Canis Majoris	06 22 42	−17 57	1,98
Mizar	ζ Ursae Majoris	13 23 56	+54 56	2,23
Nunki	σ Sagittarii	18 55 16	−26 18	2,05
Pavo Real	α Pavonis	20 25 39	−56 44	1,94
Polar	α Ursae Minoris	02 31 49	+89 16	1,97
Pólux	β Geminorum	07 45 19	+28 02	1,16
Proción	α Canis Minoris	07 39 18	+05 14	0,40
Ras Algethi	α^1 Herculis	17 14 39	+14 23	3,48
Ras Alhague	α Ophiuchi	17 34 56	+12 34	2,08
Rastaban	β Draconis	17 30 26	+52 18	2,79
Régulo	α Leonis	10 08 22	+11 58	1,36
Rígel	β Orionis	05 14 32	−08 12	0,18
Rigil Kentaurus	α^1 Centauri	14 39 37	−60 50	-0,01
Rucbat	α Sagittarii	19 23 53	−40 37	3,96
Sabik	η Ophiuchi	17 10 23	−15 43	2,43
Sadalmelik	α Aquarii	22 05 47	−00 19	2,95
Sadalsuud	β Aquarii	21 31 34	−05 34	2,90
Scheat	β Pegasi	23 03 47	+28 05	2,44
Schedar	α Cassiopeiae	00 40 31	+56 32	2,24
Shaula	λ Scorpii	17 33 37	−37 06	1,62
Sheratan	β Arietis	01 54 38	+20 48	2,64

Estrellas con nombre propio

nombre	en constelación (Bayer)	α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn. V
Sirio	α Canis Majoris	06 45 09	−16 43	−1,44
Suhail	λ Velorum	09 08 00	−43 26	2,23
Thuban	α Draconis	14 04 23	+64 23	3,67
Unukalhai	α Serpentis	15 44 16	+06 26	2,63
Vega	α Lyrae	18 36 56	+38 47	0,03
Vindemiatrix	ε Virginis	13 02 11	+10 58	2,85
Wezen	δ Canis Majoris	07 08 23	−26 24	1,83
Zavijava	β Virginis	11 50 42	+01 46	3,59
Zuben el Chamali	β Librae	15 17 00	−09 23	2,61
Zuben el Genubi	α^2 Librae	14 50 53	−16 03	2,75

Los nombres comunes que se dan para algunas estrellas permiten su identificación con el nombre en la constelación según Bayer. Hay que tener muy presente que, en obras antiguas, una misma estrella puede recibir nombres muy distintos y que un mismo nombre puede ser usado para diferentes estrellas. Además, una misma estrella puede recibir nombres muy similares; es común encontrar sustituciones de 'k' por 'c', 'ph' por 'f', 'a' por 'e', etc. La ortografía usada aquí es una de tantas, pues no existe una transcripción que pueda considerarse "correcta", habiendo adaptado algunos nombres a la fonética castellana.

En conclusión, no se recomienda el uso de estos nombres más o menos populares salvo en aquellos pocos casos en que no hay confusión posible y el nombre popular es realmente muy conocido (ej., Sirio). En todos los demás casos se recomienda usar las designaciones de Bayer, Flamstead o un número de catálogo.

Las Pléyades

nombre	designación Flamstead	α_{2000} (^{h} ^{m} ^{s})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$ $''$)	magn. V
Alcíone	25 η Tauri	3 47 29	24 06 18	2,87
Estérope	21 Tauri	3 45 54	24 33 16	5,76
Atlas	27 Tauri	3 49 10	24 03 12	3,62
Celeno	16 Tauri	3 44 48	24 17 22	5,45
Electra	17 Tauri	3 44 53	24 06 48	3,70
Maya	20 Tauri	3 45 50	24 22 04	3,87
Mérope	23 Tauri	3 46 20	23 56 54	4,16
Pléyone	28 Tauri	3 49 11	24 08 12	5,05
Táigete	19 Tauri	3 45 13	24 28 02	4,29

Varias de estas estrellas son binarias. Mérope está rodeada por la nebulosa de reflexión NGC 1435.

Estrellas con nombre propio ordenadas por constelación

- Andromeda: α Alferatz β Mirach γ^1 Almac
- Aquarius: α Sadalmelik β Sadalsuud γ Sadachbia δ Skat
- Aquila: α Altair β Alshain γ Tarazed
- Aries: α Hamal β Sheratan γ^2 Mesartim
- Auriga: α Capela, Cabra β Menkalinan
- Bootes: α Arturo β Nekkar γ Seginus ε Izar η Mufrid μ^1 Alkalurops
- Canes Venatici: α^2 Cor Caroli β Chara
- Canis Major: α Sirio β Mirzam δ Wezen ε Adara η Aludra
- Canis Minor: α Proción β Gomeisa
- Capricornus: α^2 Algiedi,Algedi β Dabih γ Nashira
- Carina: α Canopo β Miaplacidus ε Avior ι Aspidiske
- Cassiopeia: α Schedar β Caf δ Rucba
- Centaurus: α^1 Rigil Kentaurus β Hadar,Agena θ Menkent
- Cepheus: α Alderamín β Alfirc γ Errai
- Cetus: α Menkar β Difda,Deneb Kaitos *o* Mira
- Columba: α Fact β Wazn
- Corona Borealis: α Alfeca,Gemma β Nusakan
- Corvus: α Alchiba γ Gienah δ Algorab
- Crux: α^1 Acrux β Becrux,Mimosa γ Gacrux
- Cygnus: α Deneb β^1 Albireo γ Sadr
- Draco: α Thuban β Rastaban γ Etamín δ Altais
- Eridanus: α Achernar β Cursa γ Zaurak η Azha θ^1 Acamar
- Gemini: α Cástor β Pólux γ Alhena δ Wasat ε Mebsuta
- Grus: α Al Na'ir
- Hercules: α^1 Ras Algethi β Kornephoros
- Hydra: α Alfard,Cor Hydrae
- Leo: α Régulo β Denébola γ^1 Algieba δ Zosma ζ Adhafera
- Lepus: α Arneb β Nihal
- Libra: α^2 Zuben el Genubi β Zuben el Chamali γ Zuben el Hakrabi
- Lyra: α Vega β Sheliak γ Sulafat
- Ophiucus: α Ras Alhague β Cebalrai δ Yed Prior η Sabik
- Orion: α Betelgeuse β Rigel γ Belátrix δ Mintaka ε Alnilam ζ Alnitak κ Saif λ Meissa
- Pegasus: α Markab β Scheat γ Algenib ε Enif ζ Homam
- Perseus: α Mirfak β Algol ζ Atik
- Phoenix: α Ancaa
- Piscis Austrinus: α Fomalhaut
- Sagittarius: α Rucbat β Arkab γ^2 Alnasl δ Kaus Media ε Kaus Australis ζ Ascella λ Kaus Borealis σ Nunki
- Scorpius: α Antares β^1 Graffias λ Shaula ν Lesath
- Serpens: α Unukalhai θ^1 Alya
- Taurus: α Aldebarán β Elnath η Alcíone 17 Electra 19 Táigete 20 Maya 21 Estérope 23 Mérope 27 Atlas 28 Pléyone
- Triangulum Australe: α Atria
- Ursa Major: α Dubhe β Merak γ Fecda,Phad δ Megrez ε Alioth ζ Mizar η Alcaid ι Talita 80 Alcor
- Ursa Minor: α Polar β Kocab γ Fercad δ Yildun
- Vela: λ Suhail
- Virgo: α Espiga β Zavijava γ Porrima ε Vindemiatrix

Estrellas más cercanas

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn. V	magn. absol.	tipo espec.	dist. (pc)
Sol			−26,75	4,85	G2V	
Proxima Centau.	14 29,7	−62 41	11,01	15,49	M5.5Ve	1,3
α Cen A (Rigil K.)	14 39,6	−60 50	−0,01	4,38	G2V	1,3
e. de Barnard	17 57,8	+04 42	9,54	13,22	M3.8V	1,8
Wolf 359	10 56,5	+07 01	13,53	16,64	M5.8Ve	2,4
Lalande 21185	11 03,3	+35 58	7,50	10,46	M2.1Ve	2,5
L726–8	01 39,0	−17 57	12,52	15,40	M5.6Ve	2,7
α CMa (Sirio)	06 45,1	−16 43	−1,44	1,47	A1Vm	2,7
Ross 154	18 49,8	−23 50	10,45	13,11	M3.6Ve	2,9
Ross 248	23 41,9	+44 10	12,29	14,81	M4.9Ve	3,1
ε Eri	03 32,9	−09 28	3,73	6,14	K2Ve	3,3
Ross 128	11 47,7	+00 48	11,10	13,47	M4.1V	3,4
L789–6	22 38,6	−15 17	12,18	14,52	M5$^+$Ve	3,4
61 Cyg	21 06,9	+38 45	5,22	7,56	K3.5Ve	3,4
ε Ind	22 03,4	−56 47	4,68	6,95	K3Ve	3,5
α CMi (Proción)	07 39,3	+05 14	0,40	2,66	F5IV-V	3,5
BD+43°44	00 18,4	+44 01	8,08	10,30	M1.3Ve	3,6
BD+59°1915	18 42,8	+59 38	8,90	11,11	M3.0V	3,6
G51–15	08 29,8	+26 47	14,81	17,01	M6.6V	3,6
τ Cet	01 44,1	−15 56	3,50	5,69	G8V	3,6
CD−36°15693	23 05,9	−35 51	7,35	9,53	M1.3Ve	3,7
BD+5°1668	07 27,4	+05 14	9,82	11,94	M3.7V	3,8
L725–32	01 12,6	−17 00	12,04	14,16	M4.5Ve	3,8
CD−39°14192	21 17,3	−38 52	6,66	8,69	K5.5Ve	3,9
e. de Kapteyn	05 11,7	−45 01	8,84	10,84	M0.0V	4,0
Krüger 60	22 28,0	+57 42	9,85	11,82	M3.3Ve	4,0
Ross 614	06 29,4	−02 49	11,10	13,04	M4.5Ve	4,1
BD−12°4253	16 30,3	−12 40	10,11	12,05	M3.5V	4,1
e. de van Maanen	00 49,2	+05 23	12,37	14,22	DG	4,3
Wolf 424	12 33,3	+09 01	13,16	15,00	M5.3Ve	4,3
BD+50°1725	10 11,4	+49 27	6,59	8,32	K5.0Ve	4,5
L1159–16	02 00,2	+13 03	12,26	14,0	M4.5Ve	4,5
L143–23	10 44,5	−62 13	13,92	15,64	dM	4,5
LP731–58	10 48,2	−11 20	15,60	17,31	M7V	4,5
CD−37°15492	00 05,4	−37 21	8,56	10,26	M2.0V	4,6
G158–27	00 06,7	−07 33	13,74	15,39	M5.5	4,7
CD−46°11540	17 28,7	−46 54	9,37	11,01	M2.7V	4,7
G208–44	19 53,9	+44 25	13,41	15,04	M6Ve	4,7
CD−49°13515	21 33,6	−49 01	8,67	10,27	M1.8V	4,8
CD−44°11909	17 37,1	−44 19	10,96	12,56	M3.9V	4,8
BD−15°6290	22 53,3	−14 16	10,17	11,74	M3.9V	4,9
BD+20°2465	10 19,6	+19 52	9,43	10,99	M3.3Ve	4,9
BD+68°946	17 36,4	+68 20	9,15	10,70	M3.3V	4,9
L145–141	11 45,7	−64 51	11,50	13,04	DC	4,9
BD+15°2620	13 45,7	+14 53	8,49	10,02	M1.7Ve	5,0

Estrellas con mayor movimiento propio

nombre	const.	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′ ″)	mag. V	$\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ (″/año)	
estrella de Barnard	Oph	17 57 48,5	+4 41 36	9,54	−0,80	10,33
estrella de Kapteyn	Pic	5 11 40,6	−45 01 08	8,86	6,51	−5,73
Groombridge 1830	UMa	11 52 58,8	+37 43 07	6,42	4,00	−5,81
Lacaille 9352	PsA	23 05 52,0	−35 51 12	7,35	6,77	1,33
CD–37°15492	Scl	0 05 24,4	−37 21 26	8,56	5,63	−2,34
61 Cygni A	Cyg	21 06 54,6	+38 44 45	5,20	4,16	3,26
61 Cygni B	Cyg	21 06 55,3	+38 44 31	6,05	4,11	3,14
Lalande 21185	UMa	11 03 20,2	+35 58 11	7,49	−0,58	−4,77
ε Indi	Ind	22 03 21,6	−56 47 10	4,69	3,96	−2,54
BD+44°2051	UMa	11 05 28,6	+43 31 36	8,82	−4,41	0,94
σ^2 Eridani A	Eri	4 15 16,3	−7 39 10	4,43	−2,24	−3,42
Proxima Centauri	Cen	14 29 42,9	−62 40 46	11,01	−3,78	0,77
μCassiopeiae	Cas	1 08 16,4	+54 55 13	5,17	3,42	−1,60
BD+5°1668	CMi	7 27 24,5	+5 13 32	9,84	0,57	−3,69
α Centauri B	Cen	14 39 35,1	−60 50 14	1,35	−3,60	0,95
α Centauri A	Cen	14 39 36,5	−60 50 02	−0,01	−3,68	0,48
Gliese 579.2B	Lib	15 10 12,9	−16 27 46	9,44	−1,00	−3,54
Gliese 579.2A	Lib	15 10 13,0	−16 22 44	9,07	−1,00	−3,54
Lacaille 8760	Mic	21 17 15,3	−38 52 03	6,69	−3,26	−1,15
86 G Eridani	Eri	3 19 55,7	−43 04 11	4,26	3,04	0,73

Las 20 estrellas más brillantes

nombre	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′)	magn. V		magn. absol.	tipo espec.	dist. (pc)
Sirio (α CMa)	06 45 09	−16 43	−1,44		1,5	A0	2,6
Canopo (α Car)	06 23 57	−52 42	−0,62		−5,5	F0	96
Arturo (α Boo)	14 15 40	+19 11	−0,05		−0,3	K0	11
Rigil Kent. (α Cen A)	14 39 37	−60 50	−0,01		4,4	G0	1,3
Vega (α Lyr)	18 36 56	+38 47	0,03		0,6	A0	7,8
Capela (α Aur A+B)	05 16 41	+46 00	0,08		−0,5	G0	12,9
Rígel (β Ori)	05 14 32	−08 12	0,18	*	−6,7	B8p	237
Proción (α CMi)	07 39 18	+05 14	0,40		2,7	F5	3,5
Achernar (α Eri)	01 37 43	−57 14	0,45		−2,8	B5	44
Betelgeuse (α Ori)	05 55 10	+07 24	0,45	*	−5,1	M0	131
Hadar (β Cen)	14 03 49	−60 22	0,61	*	−5,4	B1	161
Altair (α Aql)	19 50 47	+08 52	0,76		2,2	A5	5,1
α Cru A+B	12 26 36	−63 06	0,77		−4,2	B1,B3	98
Aldebarán (α Tau)	04 35 55	+16 31	0,87	*	−0,6	K5	20
Espiga (α Vir)	13 25 12	−11 10	0,98	*	−3,5	B2	80
Antares (α Sco A+B)	16 29 24	−26 26	1,06	*	−5,3	M1,B3	185
Pólux (β Gem)	07 45 19	+28 02	1,16		1,1	K0	10
Fomalhaut (α PsA)	22 57 39	−29 37	1,17		1,7	A3	7,7
Deneb (α Cyg)	20 41 26	+45 17	1,25	*	−8,7	A2p	990
Mimosa (β Cru)	12 47 43	−59 41	1,25	*	−3,9	B1	108

Estrellas brillantes

nombre	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′ ″)	$\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ (″/milenio)		π (″)	V	B–V	tipo esp.
α And	00 08 23,3	+29 05 26	136	−163	0,034	2,07	−0,04	A0p
β Cas	00 09 10,7	+59 08 59	523	−180	0,060	2,28	0,38	F5
γ Peg	00 13 14,2	+15 11 01	5	−8	0,010	2,83	−0,19	B2
β Hyi	00 25 45,1	−77 15 15	2220	324	0,134	2,82	0,62	G0
α Phe	00 26 17,0	−42 18 22	233	−354	0,042	2,40	1,08	K0
α Cas	00 40 30,5	+56 32 14	50	−32	0,014	2,24	1,17	K0
β Cet	00 43 35,4	−17 59 12	233	33	0,034	2,04	1,02	K0
γ Cas	00 56 42,5	+60 43 00	26	−4	0,005	2,15	−0,05	B0p
β And	01 09 43,9	+35 37 14	176	−112	0,016	2,07	1,58	M0
δ Cas	01 25 49,0	+60 14 07	297	−49	0,033	2,66	0,16	A5
α Eri	01 37 42,9	−57 14 12	88	−40	0,023	0,45	−0,16	B5
β Ari	01 54 38,4	+20 48 29	96	−109	0,055	2,64	0,17	A5
α Hyi	01 58 46,2	−61 34 11	263	27	0,046	2,86	0,29	F0
γ^1 And	02 03 54,0	+42 19 47	43	−51	0,009	2,10	1,37	K0
α Ari	02 07 10,4	+23 27 45	191	−146	0,049	2,01	1,15	K2
β Tri	02 09 32,6	+34 59 14	149	−39	0,026	3,00	0,14	A5
α UMi	02 31 49,1	+89 15 51	44	−12	0,008	1,97	0,64	F8
θ Eri	02 58 15,7	−40 18 17	−54	26	0,020	2,88	0,13	A2
α Cet	03 02 16,8	+04 05 23	−12	−79	0,015	2,54	1,63	M0
γ Per	03 04 47,8	+53 30 23	1	−4	0,013	2,91	0,72	F5,A3
β Per	03 08 10,1	+40 57 20	2	−1	0,035	2,09	0,00	B8
α Per	03 24 19,4	+49 51 40	24	−26	0,006	1,79	0,48	F5
η Tau	03 47 29,1	+24 06 18	19	−43	0,009	2,85	−0,09	B5p
ζ Per	03 54 07,9	+31 53 01	4	−9	0,003	2,84	0,27	B1
ε Per	03 57 51,2	+40 00 37	13	−24	0,006	2,90	−0,20	B1
γ Eri	03 58 01,8	−13 30 31	61	−111	0,015	2,97	1,59	K5
α Tau	04 35 55,2	+16 30 33	63	−189	0,050	0,87	1,54	K5
ι Aur	04 56 59,6	+33 09 58	4	−19	0,006	2,69	1,49	K2
β Eri	05 07 51,0	−05 05 11	−83	−75	0,037	2,78	0,16	A3
β Ori	05 14 32,3	−08 12 06	2	−1	0,004	0,18	−0,03	B8p
α Aur	05 16 41,4	+45 59 53	76	−427	0,077	0,08	0,80	G0
γ Ori	05 25 07,9	+06 20 59	−9	−13	0,013	1,64	−0,22	B2
β Tau	05 26 17,5	+28 36 27	23	−174	0,025	1,65	−0,13	B8
β Lep	05 28 14,7	−20 45 34	−5	−86	0,020	2,81	0,81	G0
δ Ori	05 32 00,4	−00 17 57	2	1	0,004	2,25	−0,17	B0
α Lep	05 32 43,8	−17 49 20	3	2	0,003	2,58	0,21	F0
ι Ori	05 35 26,0	−05 54 36	2	−1	0,002	2,75	−0,21	Oe5
ε Ori	05 36 12,8	−01 12 07	1	−1	0,002	1,69	−0,18	B0
ζ Tau	05 37 38,7	+21 08 33	2	−18	0,008	2,97	−0,15	B3p
α Col	05 39 38,9	−34 04 27	0	−24	0,012	2,65	−0,12	B5p
ζ Ori	05 40 45,5	−01 56 33	4	3	0,004	1,74	−0,20	B0
κ Ori	05 47 45,4	−09 40 11	2	−1	0,005	2,07	−0,17	B0

Estrellas brillantes

nombre	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′ ″)	$\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ (″/milenio)		π (″)	V	B–V	tipo esp.
α Ori	05 55 10,3	+07 24 25	27	11	0,008	0,45	1,50	M0
β Aur	05 59 31,7	+44 56 51	−56	−1	0,040	1,90	0,08	A0p
θ Aur	05 59 43,3	+37 12 45	42	−74	0,019	2,65	−0,08	A0
β CMa	06 22 42,0	−17 57 21	−3	0	0,007	1,98	−0,24	B1
μ Gem	06 22 57,6	+22 30 49	57	−109	0,014	2,87	1,62	M0
α Car	06 23 57,1	−52 41 44	20	24	0,010	−0,62	0,16	F0
γ Gem	06 37 42,7	+16 23 57	−2	−67	0,031	1,93	0,00	A0
α CMa	06 45 08,9	−16 42 58	−546	−1223	0,379	−1,44	0,01	A0
τ Pup	06 49 56,2	−50 36 52	34	−66	0,018	2,94	1,21	K0
ε CMa	06 58 37,5	−28 58 20	3	2	0.008	1.50	−0.21	B1
δ CMa	07 08 23,5	−26 23 36	−3	3	0,002	1,83	0,67	F8p
π Pup	07 17 08,6	−37 05 51	−11	7	0,003	2,71	1,62	K5
η CMa	07 24 05,7	−29 18 11	−4	7	0,001	2,45	−0,08	B5p
β CMi	07 27 09,0	+08 17 22	−50	−38	0,019	2,89	−0,10	B8
α Gem	07 34 35,9	+31 53 18	−206	−148	0,063	1,58	0,03	A0,A0
α CMi	07 39 18,1	+05 13 30	−717	−1035	0,286	0,40	0,43	F5
β Gem	07 45 19,0	+28 01 34	−626	−46	0,097	1,16	0,99	K0
ζ Pup	08 03 35,1	−40 00 12	−31	17	0,002	2,21	−0,27	O3
ρ Pup	08 07 32,6	−24 18 15	−83	46	0,052	2,83	0,46	F5
γ Vel	08 09 32,0	−47 20 12	−6	10	0,004	1,75	−0,14	Oap
ε Car	08 22 30,8	−59 30 34	−25	23	0,005	1,86	1,20	K0,B
δ Vel	08 44 42,2	−54 42 32	29	−104	0,041	1,93	0,04	A0
λ Vel	09 07 59,8	−43 25 57	−23	14	0,006	2,23	1,66	K5
β Car	09 13 12,0	−69 43 02	−158	109	0,029	1,67	0,07	A0
ι Car	09 17 05,4	−59 16 31	−19	13	0,005	2,21	0,19	F0
κ Vel	09 22 06,8	−55 00 39	−11	11	0,006	2,47	−0,14	B3
α Hya	09 27 35,2	−08 39 31	−14	33	0,018	1,99	1,44	K2
ε Leo	09 45 51,1	+23 46 27	−46	−10	0,013	2,97	0,81	G0p
υ Car	09 47 06,1	−65 04 19	−12	5	0,002	2,92	0,27	F0
α Leo	10 08 22,3	+11 58 02	−249	5	0,042	1,36	−0,09	B8
γ Leo	10 19 58,4	+19 50 29	311	−153	0,026	2,01	1,13	K0,K0
θ Car	10 42 57,4	−64 23 40	−19	12	0,007	2,74	−0,22	B0
μ Vel	10 46 46,2	−49 25 13	63	−54	0,028	2,69	0,90	G5
β UMa	11 01 50,5	+56 22 57	82	34	0,041	2,34	0,03	A0
α UMa	11 03 43,7	+61 45 04	−136	−35	0,026	1,81	1,06	K0
ψ UMa	11 09 39,8	+44 29 55	−62	−27	0,022	3,00	1,14	K0
δ Leo	11 14 06,5	+20 31 25	143	−130	0,057	2,56	0,13	A3
β Leo	11 49 03,6	+14 34 19	−499	−114	0,090	2,14	0,09	A2
γ UMa	11 53 49,8	+53 41 41	108	11	0,039	2,41	0,04	A0
δ Cen	12 08 21,5	−50 43 21	−48	−6	0,008	2,58	−0,13	B3p
δ Cru	12 15 08,7	−58 44 56	−37	−11	0,009	2,79	−0,19	B3
γ Crv	12 15 48,4	−17 32 31	−160	22	0,020	2,58	−0,11	B8

Estrellas brillantes

nombre	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′ ″)	$\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ (″/milenio)		π (″)	V	B–V	tipo esp.
α Cru	12 26 35,9	−63 05 57	−35	−15	0.010	0.77	−0.24	B1,B3
δ Crv	12 29 51,9	−16 30 56	−210	−139	0,037	2,94	−0,01	A0
γ Cru	12 31 09,9	−57 06 48	28	−264	0,037	1,59	1,60	M3
β Crv	12 34 23,2	−23 23 48	1	−56	0,023	2,65	0,89	G5
α Mus	12 37 11,0	−69 08 08	−40	−12	0,011	2,69	−0,18	B3
γ Cen	12 41 31,0	−48 57 36	−187	−1	0,025	2,20	−0,02	A0
γ Vir	12 41 39,6	−01 26 58	−617	61	0,085	2,74	0,37	F0
β Cru	12 47 43,2	−59 41 19	−48	−13	0,009	1,25	−0,24	B1
ε UMa	12 54 01,7	+55 57 35	112	−9	0,040	1,76	−0,02	A0p
α^2 CVn	12 56 01,7	+38 19 06	−233	55	0,030	2,89	−0,12	A0p
ε Vir	13 02 10,6	+10 57 33	−275	20	0,032	2,85	0,93	K0
γ Hya	13 18 55,3	−23 10 18	68	−41	0,025	2,99	0,92	G5
ι Cen	13 20 35,8	−36 42 44	−341	−88	0,056	2,75	0,07	A2
ζ UMa	13 23 55,5	+54 55 31	121	−22	0,042	2,23	0,06	A2p
α Vir	13 25 11,6	−11 09 41	−43	−32	0,012	0,98	−0,23	B2
ε Cen	13 39 53,2	−53 27 59	−15	−13	0,009	2,29	−0,17	B1
η UMa	13 47 32,4	+49 18 48	−121	−16	0,032	1,85	−0,10	B3
η Boo	13 54 41,1	+18 23 52	−61	−358	0,088	2,68	0,58	G0
ζ Cen	13 55 32,4	−47 17 18	−57	−45	0,008	2,55	−0,18	B2p
β Cen	14 03 49,4	−60 22 23	−34	−25	0,006	0,61	−0,23	B1
θ Cen	14 06 41,0	−36 22 12	−519	−518	0,054	2,06	1,01	K0
α Boo	14 15 39,7	+19 10 57	−1093	−1999	0,089	−0,05	1,24	K0
η Cen	14 35 30,4	−42 09 28	−35	−32	0,011	2,33	−0,16	B3p
α^2 Cen	14 39 35,1	−60 50 14	−3600	952	0,742	1,35	0,90	K5
α^1 Cen	14 39 36,5	−60 50 02	−3678	482	0,742	−0,01	0,71	G0
α Lup	14 41 55,8	−47 23 18	−21	−24	0,006	2,30	−0,15	B2
ε Boo	14 44 59,2	+27 04 27	−51	20	0,016	2,35	0,97	K0
β UMi	14 50 42,3	+74 09 20	−32	12	0,026	2,07	1,47	K5
α^2 Lib	14 50 52,7	−16 02 30	−106	−69	0,042	2,75	0,15	A3
β Lup	14 58 31,9	−43 08 02	−34	−38	0,006	2,68	−0,18	B2p
β Lib	15 17 00,4	−09 22 59	−96	−21	0,020	2,61	−0,07	B8
γ TrA	15 18 54,6	−68 40 46	−66	−32	0,018	2,87	0,01	A0
γ UMi	15 20 43,7	+71 50 02	−18	18	0,007	3,00	0,06	A2
α CrB	15 34 41,3	+26 42 53	120	−89	0,044	2,22	0,03	A0
γ Lup	15 35 08,4	−41 10 00	−16	−26	0,006	2,80	−0,22	B3
α Ser	15 44 16,1	+06 25 32	135	44	0,045	2,63	1,17	K0
β TrA	15 55 08,5	−63 25 50	−188	−402	0,081	2,83	0,31	F0
π Sco	15 58 51,1	−26 06 51	−12	−26	0,007	2,89	−0,18	B2
δ Sco	16 00 20,0	−22 37 18	−9	−37	0,008	2,29	−0,12	B0
β^1 Sco	16 05 26,2	−19 48 20	−7	−25	0,006	2,56	−0,06	B1
δ Oph	16 14 20,7	−03 41 40	−46	−143	0,019	2,73	1,58	M0
σ Sco	16 21 11,3	−25 35 34	−10	−18	0,004	2,90	0,30	B1

Estrellas brillantes

nombre	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′ ″)	$\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ (″/milenio)		π (″)	V	B–V	tipo esp.
η Dra	16 23 59,5	+61 30 51	−17	57	0,037	2,73	0,91	G5
α Sco	16 29 24,4	−26 25 55	−10	−23	0,005	1,06	1,87	M1,B3
β Her	16 30 13,2	+21 29 23	−98	−14	0,022	2,78	0,95	K0
τ Sco	16 35 53,0	−28 12 58	−9	−23	0,008	2,82	−0,21	B0
ζ Oph	16 37 09,5	−10 34 02	13	25	0,007	2,54	0,04	B0
ζ Her	16 41 17,2	+31 36 10	−463	345	0,093	2,81	0,65	G0
α TrA	16 48 39,9	−69 01 40	18	−33	0,008	1,91	1,45	K2
ε Sco	16 50 09,8	−34 17 36	−612	−256	0,050	2,29	1,14	K0
μ^1 Sco	16 51 52,2	−38 02 51	−9	−22	0,004	3,00	−0,20	B3p
η Oph	17 10 22,7	−15 43 30	41	98	0,039	2,43	0,06	A2
α Her	17 14 38,9	+14 23 25	−7	33	0,009	2,78	1,16	M2,M2
β Ara	17 25 18,0	−55 31 48	−8	−25	0,005	2,84	1,48	K2
β Dra	17 30 26,0	+52 18 05	−16	12	0,009	2,79	0,95	G0
ν Sco	17 30 45,8	−37 17 45	−4	−29	0,006	2,70	−0,18	B3
α Ara	17 31 50,5	−49 52 34	−31	−67	0,013	2,84	−0,14	B3p
λ Sco	17 33 36,5	−37 06 14	−9	−30	0,005	1,62	−0,23	B2
α Oph	17 34 56,1	+12 33 36	110	−223	0,070	2,08	0,16	A5
θ Sco	17 37 19,2	−42 59 52	6	−1	0,012	1,86	0,41	F0
κ Sco	17 42 29,3	−39 01 48	−6	−26	0,007	2,39	−0,17	B2
β Oph	17 43 28,4	+04 34 02	−41	159	0,040	2,76	1,17	K0
ι^1 Sco	17 47 35,1	−40 07 37	0	−6	0,002	2,99	0,51	F6
γ Dra	17 56 36,4	+51 29 20	−9	−23	0,022	2,24	1,52	K5
γ Sgr	18 05 48,5	−30 25 27	−56	−182	0,034	2,98	0,98	K0
δ Sgr	18 20 59,7	−29 49 41	30	−26	0,011	2,72	1,38	K0
ε Sgr	18 24 10,3	−34 23 05	−40	−124	0,023	1,79	−0,03	A0
λ Sgr	18 27 58,2	−25 25 18	−45	−186	0,042	2,82	1,02	K0
α Lyr	18 36 56,3	+38 47 01	201	287	0,129	0,03	0,00	A0
σ Sgr	18 55 15,9	−26 17 48	14	−53	0,015	2,05	−0,13	B3
ζ Sgr	19 02 36,7	−29 52 48	−14	4	0,037	2,60	0,06	A4
ζ Aql	19 05 24,6	+13 51 49	−7	−95	0,039	2,99	0,01	A0
π Sgr	19 09 45,8	−21 01 25	−1	−37	0,007	2,88	0,38	F2
δ Cyg	19 44 58,5	+45 07 51	43	48	0,019	2,86	0,00	A0
γ Aql	19 46 15,6	+10 36 48	16	−3	0,007	2,72	1,51	K2
α Aql	19 50 47,0	+08 52 06	537	386	0,195	0,76	0,22	A5
γ Cyg	20 22 13,7	+40 15 24	2	−1	0,002	2,23	0,67	F8p
α Pav	20 25 38,9	−56 44 06	8	−86	0,018	1,94	−0,12	B3
α Cyg	20 41 25,9	+45 16 49	2	2	0,001	1,25	0,09	A2p
ε Cyg	20 46 12,7	+33 58 13	356	330	0,045	2,48	1,02	K0
α Cep	21 18 34,8	+62 35 08	150	48	0,067	2,45	0,26	A5
β Aqr	21 31 33,5	−05 34 16	23	−7	0,005	2,90	0,83	G0
ε Peg	21 44 11,2	+09 52 30	30	1	0,005	2,38	1,52	K0
δ Cap	21 47 02,4	−16 07 38	263	−296	0,085	2,85	0,18	A5

Estrellas brillantes

nombre	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ′ ″)	$\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ (″/milenio)		π (″)	V	B–V	tipo esp.
γ Cru	21 53 55,7	−37 21 54	96	−12	0,016	3,00	−0,08	B8
α Aqr	22 05 47,0	−00 19 11	18	−10	0,004	2,95	0,97	G0
α Gru	22 08 14,0	−46 57 40	128	−148	0,032	1,73	−0,07	B5
α Tuc	22 18 30,1	−60 15 35	−71	−38	0,016	2,87	1,39	K2
β Gru	22 42 40,1	−46 53 05	136	−5	0,019	2,07	1,61	M3
η Peg	22 43 00,1	+30 13 17	13	−26	0,015	2,93	0,85	G0
α PsA	22 57 39,0	−29 37 20	329	−164	0,130	1,17	0,14	A3
β Peg	23 03 46,5	+28 04 58	188	138	0,016	2,44	1,65	M0
α Peg	23 04 45,7	+15 12 19	61	−43	0,023	2,49	0,00	A0

En esta tabla figuran las estrellas más brillantes de magnitud visual $V = 3$ extraidas del Catálogo de Estrellas Hipparcos ordenadas por ascensión recta creciente. En la primera columna figura el nombre según Bayer seguido de la abreviatura del nombre de la constelación (ver tabla correspondiente). A continuación figuran las coordenadas ecuatoriales (ascensión recta y declinación) para la época J2000, seguidos de los movimientos propios expresados en segundos de arco por milenio. El movimiento propio en ascensión recta viene multiplicado por el coseno de la declinación pues ello facilita el cálculo riguroso; el producto $(\mu_\alpha \cos\delta)$ da la corrección en arco de cielo y no en la coordenada.

En primera aproximación, la corrección por movimiento propio viene dada por

$$\alpha = \alpha_{2000} + \mathrm{t}\,\mu_\alpha = \alpha_{2000} + \frac{\mathrm{t}}{\cos\delta}\,(\mu_\alpha \cos\delta)$$

$$\delta = \delta_{2000} + \mathrm{t}\,\mu_\delta$$

siendo $\mathrm{t} = (dia\ \ juliano - 245\,1545)/365\,250$.

La columna etiquetada π corresponde a la paralaje ecuatorial, su inverso da la distancia expresada en parsecs. Las dos columnas siguientes indican la magnitud visual V (según el catálogo Hipparcos) y el índice de color $B-V$ (o sea, la diferencia entre la magnitud azul B y la visual V). El tipo espectral, extraido del catálogo FK5, se halla en la última columna.

Estrellas dobles

Las estrellas dobles de la siguiente tabla han sido seleccionadas a partir de los catálogos Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars (`http://ad.usno.navy.mil/wds/orb6.html`) y The Washington Double Star Catalog (`http://ad.usno.navy.mil/wds/`). Solo se consideran declinaciones mayores de −48°. Cumplen, entre otras, las siguientes condiciones: la primaria es más brillante que magnitud 5, la secundaria es más brillante que magnitud 8 y su separación es mayor que

2″. Con tales criterios se pretende facilitar la identificación de las estrellas y su observación. Un asterisco indica que la separación y el ángulo de posición (A.P.) han sido calculados para el año actual al disponer de buenos elementos orbitales.

Estrellas dobles o múltiples

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} (° ′)	componentes	magnitudes prim.	magnitudes sec.	separ. (″)	A.P. (°)
η Cas	00 49,1	57 49	AB	3,52	7,36	13,4	326*
γ Ari	01 53,5	19 18	AB	4,52	4,58	7,4	1
γ And	02 03,9	42 20	A,BC	2,31	5,02	9,8	63
θ Eri	02 58,3	−40 18		3,20	4,12	8,6	91
η Tau	03 47,5	24 06	AB	2,83	6,27	117,6	291
HR 1190	03 48,6	−37 37		4,72	5,25	8,4	216
32 Eri	03 54,3	−02 57	AB	4,80	5,89	6,9	349
κ Tau	04 25,4	22 18	AB	4,22	5,29	339,4	174
θ Tau	04 28,7	15 52	AB	3,41	3,94	347,9	339
83 Tau	04 30,6	13 43	AC	4,75	6,09	4,8	314
92 tau	04 39,3	15 55		4,69	5,09	444,0	194
β Ori	05 14,5	−08 12	A,BC	0,30	6,80	9,5	202
β Lep	05 28,2	−20 46	AB	2,90	7,50	2,7	8
δ Ori	05 32,0	00 18	AC	2,41	6,83	53,3	2
Struve 747	05 35,0	−06 00	AB	4,70	5,51	40,0	228
λ Ori	05 35,1	09 56	AB	3,51	5,45	4,5	44
ι Ori	05 35,4	−05 55	AB	2,77	7,73	11,6	141
σ Ori	05 38,7	−02 36	AB,D	3,76	6,56	12,9	85
σ Ori	05 38,7	−02 36	AB,E	3,76	6,56	41,5	62
ζ Ori	05 40,7	−01 57	AB	1,88	3,70	2,2	168*
γ Lep	05 44,5	−22 27	AB	3,64	6,28	95,0	350
θ Aur	05 59,7	37 13	AB	2,60	7,20	4,0	304
ζ CMa	06 20,3	−30 04		2,96	7,81	169,6	340
β Mon	06 28,8	−07 02	AB	4,62	5,00	7,2	137
β Mon	06 28,8	−07 02	AC	4,62	5,39	9,9	130
ε CMa	06 58,6	−28 58		1,50	7,50	7,9	162
π Pup	07 17,1	−37 06	AB	2,89	7,94	66,5	213
NV Pup	07 18,3	−36 44	AB	4,66	5,07	241,6	102
η CMa	07 24,1	−29 18		2,45	6,77	178,0	286
α Gem	07 34,6	31 53	AB	1,93	2,97	5,3	53*
k Pup	07 38,8	−26 48	AB	4,40	4,62	9,9	318
γ Vel	08 09,5	−47 20	AB	1,79	4,14	40,3	221
γ Vel	08 09,5	−47 20	AC	1,79	7,26	61,5	152
ζ Cnc	08 12,2	17 39	AB,C	4,92	5,85	5,9	65*
ι Cnc	08 46,7	28 46		4,13	5,99	31,3	308
η Hya	08 46,8	06 25	AB,C	3,49	6,66	2,8	310*
38 Lyn	09 18,8	36 48	AB	3,92	6,09	2,6	222
ζ Leo	10 16,7	23 25		3,46	6,03	334,8	338
γ Leo	10 20,0	19 50	AB	2,37	3,64	4,7	127*
54 Leo	10 55,6	24 45		4,48	6,30	6,6	113

Estrellas dobles o múltiples

nombre	α_{2000} (h m)	δ_{2000} (° ′)	componentes	magnitudes prim.	magnitudes sec.	separ. (″)	A.P. (°)
α UMa	11 03,7	61 45	AC	2,02	7,19	380,6	204
HR 4314	11 05,3	−27 18	AD	4,96	5,70	507,3	88
ι Leo	11 23,9	10 32	AB	4,06	6,71	2,2	93*
γ Vir	12 41,7	−01 27	AB	3,48	3,53	2,8	359*
α CVn	12 56,0	38 19	AB	2,85	5,52	20,0	229
ζ UMa	13 23,9	54 56	AB	2,23	3,88	14,4	152
ζ UMa	13 23,9	54 56	AC	2,23	4,01	706,9	70
ζ UMa	13 23,9	54 56	AD	2,23	7,62	493,2	100
3 Cen	13 51,8	−33 00		4,50	5,97	7,9	104
π Boo	14 40,7	16 25	AB	4,88	5,79	5,5	113
ε Boo	14 45,0	27 04	AB	2,58	4,81	2,9	343
α Lib	14 50,9	−16 03	AB	2,74	5,19	231,1	314
δ Ser	15 34,8	10 32	AB	4,17	5,16	4,0	172*
ζ^2 CrB	15 39,4	36 38		4,96	5,91	6,2	307
η Lup	16 00,1	−38 24	AB	3,37	7,50	15,0	19
β Sco	16 05,4	−19 48	AC	2,59	4,52	13,9	20
β Sco	16 05,4	−19 48	AD	2,62	7,50	519,2	30
ν Sco	16 12,0	−19 28	AC	4,35	6,60	41,6	338
ε Nor	16 27,2	−47 33		4,51	6,12	22,9	334
α Sco	16 29,4	−26 26		0,96	5,40	2,6	277*
α Her	17 14,6	14 23	AB	3,48	5,40	4,6	103*
ρ Her	17 23,7	37 09	AB	4,50	5,40	4,1	320
HR 6516	17 30,4	−01 04	AD	3,82	5,50	16,9	317
ν Dra	17 32,2	55 11		4,87	4,90	62,5	310
θ Sco	17 37,3	−43 00		1,97	5,36	6,5	315
ψ Dra	17 41,9	72 09	AB	4,60	5,59	29,6	17*
95 Her	18 01,5	21 36		4,85	5,20	6,4	259
70 Oph	18 05,5	02 30	AB	4,22	6,17	6,6	123*
ε Lyr	18 44,3	39 40	AB,CD	4,67	4,56	209,5	172
ζ Lyr	18 44,8	37 36	AD	4,34	5,62	43,8	150
β Lyr	18 50,1	33 22	AB	3,63	6,69	45,6	148
θ Ser	18 56,2	04 12	AB	4,59	4,93	22,5	104
α Vul	19 28,7	24 40		4,61	5,93	427,7	28
β Cyg	19 30,7	27 58	AB	3,19	4,68	34,7	54
δ Cyg	19 45,0	45 08	AB	2,89	6,27	2,8	216*
ε Dra	19 48,2	70 16		4,01	6,87	3,2	21
o Cyg	20 13,6	46 44	AC	3,93	6,97	108,6	173
o Cyg	20 13,6	46 44	AD	3,93	4,83	336,7	322
α Cap	20 18,1	−12 33	AE	3,66	4,34	381,2	290
β Cap	20 21,0	−14 47	AB	3,15	6,08	205,4	267
γ Del	20 46,7	16 07	AB	4,36	5,03	8,9	265*
γ Equ	21 10,3	10 08	AD	4,70	6,06	335,8	152
ξ Cep	22 03,8	64 38	AB	4,45	6,40	8,4	273*
ζ^2 Aqr	22 28,8	00 01	AB	4,34	4,49	2,4	162
δ Cep	22 29,2	58 25	AC	4,21	6,11	40,9	192

Estrellas variables

La idea de *estrella variable* como toda aquélla cuya luminosidad no es constante resulta demasiado general pues incluiría todas las estrellas, dado que todas varían algo su luminosidad a lo largo de su vida. De manera más restrictiva, se considera que una estrella es variable cuando su brillo en luz visible cambia apreciablemente (varias décimas de magnitud) en escalas de tiempo "humanas" (de segundos a décadas). Se trata de una definición puramente observacional, que restringe las estrellas variables a aquellas en las que sus cambios de luminosidad son fácilmente apreciables para un ser humano equipado con un telescopio. Estos cambios se deben a procesos físicos muy diferentes, de acuerdo a los cuales las estrellas variables se suelen agrupar en los distintos tipos que a continuación se enumeran.

Variables eruptivas

Están constituidas por aquellas estrellas en las que los cambios de luminosidad se producen debido a la presencia de procesos violentos en sus atmósferas. Estos cambios suelen venir acompañados de eyecciones de material en forma de vientos estelares. De entre estas estrellas citaremos las de tipo Wolf-Rayet, FU Orionis, T Orionis, T Tauri, R Coronae Borealis, S Doradus, UV Ceti ("flare" o fulgurantes) y γ Cassiopeiae.

Variables pulsantes

En estas estrellas la variabilidad se debe a que el objeto está pulsando, es decir se contrae y se expande de un modo más o menos regular. Esas pulsaciones, que tienen lugar en las capas más exteriores de la estrella, cambian su tamaño y temperatura superficial, lo que da lugar a las variaciones de luz observadas. Existen numerosos tipos de variables pulsantes, dependiendo del estado evolutivo del objeto y de la variabilidad mostrada. Las hay de periodo corto (β Cephei = β Canis Majoris, δ Scuti, RR Lyrae), de periodo medio (Cefeidas, W Virginis), de periodo largo (Miras, estrellas OH/IR, RV Tauri) y las de tipo Semirregular e Irregular.

Variables rotantes

Se trata de estrellas en las que el brillo de su superficie no es uniforme, por lo que su variabilidad se aprecia al rotar el objeto. La no uniformidad de su superficie está ocasionada por la existencia de inhomogeneidades en su composición química o en su temperatura, producidas por intensos campos magnéticos o por la presencia de una compañera muy cercana. De entre estos objetos merecen ser destacados los "púlsares", estrellas de neutrones en rápida rotación. También se incluyen los tipos α Canum Venaticorum y DY Draconis.

Variables cataclísmicas

Estrellas variables en las que tienen lugar enormes y rápidos aumentos de su luminosidad. Estos se producen por la aparición de repentinos procesos de combustión nuclear en su interior o por intercambio de material entre las estrellas de sistemas binarios próximos. Los primeros engloban las novas, supernovas y novas recurrentes; de entre los segundos destacaremos las de tipo U Geminorum, Z Andromedae y Z Camelopardalis.

Variables eclipsantes

Son sistemas binarios en los que las estrellas se eclipsan mutuamente de un modo alternativo, lo que produce las variaciones de luz observadas. Dependiendo de su proximidad, sus luminosidades y tamaños relativos, y de la orientación de la órbita, se obtienen distintos tipos de curvas de variación de luz. Atendiendo a este criterio, tradicionalmente se distingen tres tipos de estrellas variables eclipsantes: Algol, β Lyrae y W Ursae Majoris.

Variables emisoras de rayos X

Están constituidas por estrellas variables con intensa emisión de rayos X no incluidas en los tipos anteriores. En general se trata de sistemas binarios en los que una estrella, que es muy compacta (una enana blanca o incluso un agujero negro), atrapa el material que la estrella compañera pierde. En su caida sobre la estrella compacta, este material emite rayos X. Los que son capturados por la otra estrella dan lugar a la emision de radiación de muy alta temperatura de forma más o menos episódica. Entre las variables de rayos X se encuentra Vela X–1, cuya contrapartida óptica es HD 77581.

Finalmente, podemos encontrar en los catálogos otros tipos de estrellas variables. Se utilizan para clasificar estrellas mal estudidas o muy peculiares, y objetos erróneamente considerados estrellas variables: estrellas consideradas variables que en realidad no lo son y objetos variables que en realidad no son estrellas. Estos últimos incluyen los "cuásares" y los "blázares", que no son más que dos manifestaciones de un mismo fenómeno: la variabilidad de los núcleos activos de galaxias.

Efemérides

La observación de estrellas variables se puede iniciar con las más brillantes de los distintos tipos. Entre las de corto periodo: Algol (β Per), β Lyr y RR Lyr. Los instantes de mínimo de las variables eclipsantes prototipo β Per y β Lyr pueden encontrarse en la página 276. Entre las de largo periodo se puede empezar por algunas de las estrellas Mira más brillantes, como son Mira (*o* Cet), R Leo y χ Cyg, cuyos instantes de máximo para este año vienen dados en la tabla de la página 277.

Estrellas variables de otros tipos

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magnitud máx.	magnitud mín.	periodo (días)	tipo
TV Psc	00 28	+17 24	4,7	5,4	70	Semirregular
γ Cas	00 57	+60 43	1,6	3,0		γ Cassiopeiae
RX And	01 05	+41 18	10,3	13,6	14,1	Z Camelopardalis
ζ Phe	01 08	−55 15	3,9	4,4	1,670	Algol
UV Cet	01 39	−17 58	6,8	13,0		UV Ceti, "flare"
ρ Per	03 05	+38 50	3,3	4,4	50	Semirregular
β Per	03 08	+40 57	2,1	3,4	2,867	Algol
GK Per	03 31	+43 54	0,2	14,0		Nova
BU Tau	03 49	+24 08	4,8	5,0		γ Cassiopeiae
λ Tau	04 01	+12 29	3,3	3,8	3,953	Algol
VW Hyi	04 09	−71 18	8,4	14,4	28	U Geminorum
T Tau	04 22	+19 32	8,4	13,5		T Tauri
RY Tau	04 22	+28 27	9,3	13,0		T Tauri
RV Tau	04 47	+26 11	9,8	13,3	78,7	RV Tauri
SU Aur	04 56	+30 34	9,3	11,8		T Tauri
ε Aur	05 02	+43 49	2,9	3,8	9890	Algol
ζ Aur	05 02	+41 05	3,7	4,0	972	Algol
UX Ori	05 05	−03 47	8,7	12,8		T Orionis
RX Lep	05 11	−11 51	5,0	7,0		Irregular
β Dor	05 34	−62 29	3,5	4,1	9,84	δ Cephei
T Ori	05 36	−05 29	9,5	12,6		T Orionis
α Ori	05 55	+07 24	0,4	1,3	2110	Semirregular
δ Pic	06 10	−54 58	4,7	4,9	1,673	β Lyrae
η Gem	06 15	+22 30	3,2	3,9	233	Semirregular
RT Aur	06 29	+30 30	5,0	5,8	3,728	δ Cephei
ζ Gem	07 04	+20 34	3,7	4,2	10,15	δ Cephei
EW CMa	07 14	−26 21	4,4	4,8		γ Cassiopeiae
L_2 Pup	07 14	−44 39	2,6	6,2	140	Semirregular
UW CMa	07 19	−24 34	4,8	5,3	4,393	β Lyrae
FW CMa	07 25	−16 12	5,0	5,5		γ Cassiopeiae
U Mon	07 31	−09 47	6,1	8,1	92,3	RV Tauri
U Gem	07 55	+22 00	8,2	14,9	103	U Geminorum
V Pup	07 58	−49 15	4,7	5,2	1,454	β Lyrae
MX Pup	08 14	−35 54	4,6	4,9		γ Cassiopeiae
Z Cam	08 26	+76 02	10,2	13,4	20,0	Z Camelopardalis
W UMa	09 44	+57 57	7,9	8,3	0,334	W Ursae Majoris
ZZ Car	09 45	−62 30	3,3	4,2	35,5	δ Cephei
AD Leo	10 20	+19 52	9,4	10,4		UV Ceti
η Car	10 45	−59 41	−0,8	7,9		S Doradus
W Vir	13 26	−03 23	9,5	10,8	17,3	W Virginis
μCen	13 50	−42 28	2,9	3,5		γ Cassiopeiae
δ Lib	15 01	−08 31	4,9	5,9	2,327	Algol
R CrB	15 49	+28 09	5,7	14,8		R Coronae Borealis

Estrellas variables de otros tipos

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magnitud máx.	mín.	periodo (días)	tipo
χ Oph	16 27	−18 27	4,2	5,0		γ Cassiopeiae
α Sco	16 29	−26 26	0,9	1,8	1730	Semirregular
AH Her	16 44	+25 15	10,6	13,9	19,6	Z Camelopardalis
μ^1 Sco	16 52	−38 03	2,8	3,1	1,44	β Lyrae
α Her	17 15	+14 23	3,0	4,0		Semirregular
u Her	17 17	+33 06	4,6	5,3	2,051	β Lyrae
X Sgr	17 48	−27 50	4,2	4,8	7,01	δ Cephei
W Sgr	18 05	−29 35	4,3	5,1	7,60	δ Cephei
δ Sct	18 42	−09 03	5,0	5,2	0,194	δ Scuti
R Sct	18 48	−05 42	4,5	8,2	140	RV Tauri
β Lyr	18 50	+33 22	3,3	4,3	12,936	β Lyrae
λ Pav	18 52	−62 11	3,4	4,3		γ Cassiopeiae
R Lyr	18 55	+43 57	3,9	5,0	46,0	Semirregular
κ Pav	18 57	−67 14	3,9	4,8	9,09	W Virginis
ε CrA	18 59	−37 06	4,7	5,0	0,591	W Ursae Majoris
TY CrA	19 02	−36 53	8,7	12,4		T Orionis
RY Sgr	19 17	−33 31	6,0	>15		R Coronae Borealis
RR Lyr	19 26	+42 47	7,1	8,1	0,567	RR Lyrae
η Aql	19 53	+01 00	3,5	4,4	7,177	δ Cephei
V695 Cyg	20 14	+46 44	3,8	3,9	3780	Algol
P Cyg	20 18	+38 02	3,0	6,0		S Doradus
δ Del	20 43	+15 04	4,4	4,5	0,158	δ Scuti
T Cyg	20 47	+34 22	5,0	5,5		Irregular
V832 Cyg	21 00	+47 31	4,5	4,9		γ Cassiopeiae
V Ind	21 12	−45 04	9,1	10,5	0,480	RR Lyrae
SS Cyg	21 43	+43 35	8,2	12,4	50,1	U Geminorum
μCep	21 44	+58 47	3,4	5,1	730	Semirregular
ε Oct	22 20	−80 26	5,0	5,4	55	Semirregular
δ Cep	22 29	+58 25	3,5	4,4	5,366	δ Cephei
RZ Cep	22 39	+64 51	9,2	9,8	0,309	RR Lyrae
β Gru	22 43	−46 53	2,0	2,3		Irregular
EW Lac	22 57	+48 41	5,0	5,3		γ Cassiopeiae
β Peg	23 04	+28 05	2,3	2,7		Irregular
λ And	23 38	+46 28	3,7	4,0	54,2	Semirregular
ρ Cas	23 54	+57 30	4,1	6,2	320	R Coronae Borealis

Magnitud de un astro

El brillo de un astro (estrella, planeta, nebulosa, etc) produce una impresión más o menos intensa, sobre un ojo o un detector, que se mide mediante la *magnitud*. Esta se relaciona con el brillo de manera logarítmica, pues aproximadamente así responde el ojo humano. Por razones históricas,

la magnitud es menor a mayor brillo. El origen de la escala de magnitudes se ha fijado a partir de unas estrellas de referencia situadas en la dirección del polo norte celeste. En esta escala, la brillante estrella α Lyr (Vega) tiene una magnitud (visual) de 0,03. Astros más brillantes (como Sirio, el Sol, la Luna o Júpiter) tienen magnitud negativa.

Relación entre diferencia de magnitud y razón de brillo

Una diferencia de magnitud aparente entre la luminosidad de dos astros (1 y 2) o entre la magnitud de un astro variable en dos instantes distintos (1 y 2), expresa una razón entre los brillos dada por las fórmulas:

$$\frac{B_1}{B_2} = 10^{0,4\,(m_2 - m_1)}$$

$$m_1 - m_2 = 2,5 \log \left(\frac{B_2}{B_1} \right)$$

Nótese la inversión en el orden de los subíndices a un lado y otro de las fórmulas, lo que refleja el hecho que, por definición, a una mayor magnitud le corresponde un menor brillo. Una diferencia de 1 magnitud corresponde a una razón de brillos de un factor 2,512 (o su inverso, 0,398). Una diferencia de 5 magnitudes corresponde a una razón de brillos de un factor 100 (o su inverso, 0,01).

diferencia de magnitudes $m_1 - m_2$	razón de brillos B_2/B_1
0,1	1,10
0,2	1,20
0,3	1,32
0,4	1,45
0,5	1,58
0,6	1,74
0,7	1,91
0,8	2,09
0,9	2,29
1,0	2,51
2,0	6,31
3,0	15,85
4,0	39,81
5,0	100,00
6,0	251,19
7,0	631
8,0	1585

razón de brillos B_2/B_1	diferencia de magnitudes $m_1 - m_2$
2	0,75
3	1,19
4	1,51
5	1,75
10	2,50
15	2,94
20	3,25
25	3,49
30	3,69
35	3,86
40	4,01
50	4,25
60	4,45
70	4,61
80	4,76
90	4,89
100	5,00

Tabla de equivalencias para distancias en la Vía Láctea

paralaje anual	tiempo luz (años)	distancia en parsecs	distancia en ua	distancia en km
1″,0	3,26	1,00	$21\ 10^4$	$309\ 10^{11}$
0″,9	3,62	1,11	$23\ 10^4$	$343\ 10^{11}$
0″,8	4,08	1,25	$26\ 10^4$	$386\ 10^{11}$
0″,7	4,66	1,43	$29\ 10^4$	$441\ 10^{11}$
0″,6	5,44	1,67	$34\ 10^4$	$514\ 10^{11}$
0″,5	6,52	2,00	$41\ 10^4$	$617\ 10^{11}$
0″,4	8,15	2,50	$52\ 10^4$	$771\ 10^{11}$
0″,3	10,87	3,33	$69\ 10^4$	$1029\ 10^{11}$
0″,2	16,31	5,00	$103\ 10^4$	$1543\ 10^{11}$
0″,1	32,62	10,00	$206\ 10^4$	$3086\ 10^{11}$
0″,09	36,24	11,11	$23\ 10^5$	$343\ 10^{12}$
0″,08	40,77	12,50	$26\ 10^5$	$386\ 10^{12}$
0″,07	46,59	14,29	$29\ 10^5$	$441\ 10^{12}$
0″,06	54,36	16,67	$34\ 10^5$	$514\ 10^{12}$
0″,05	65,23	20,00	$41\ 10^5$	$617\ 10^{12}$
0″,04	81,54	25,00	$52\ 10^5$	$771\ 10^{12}$
0″,03	108,72	33,33	$69\ 10^5$	$1029\ 10^{12}$
0″,02	163,08	50,00	$103\ 10^5$	$1543\ 10^{12}$
0″,01	326,16	100,00	$206\ 10^5$	$3086\ 10^{12}$
0″,009	362,4	111,1	$23\ 10^6$	$343\ 10^{13}$
0″,008	407,7	125,0	$26\ 10^6$	$386\ 10^{13}$
0″,007	465,9	142,9	$29\ 10^6$	$441\ 10^{13}$
0″,006	543,6	166,7	$34\ 10^6$	$514\ 10^{13}$
0″,005	652,3	200,0	$41\ 10^6$	$617\ 10^{13}$
0″,004	815,4	250,0	$52\ 10^6$	$771\ 10^{13}$
0″,003	1087,2	333,3	$69\ 10^6$	$1029\ 10^{13}$
0″,002	1630,8	500,0	$103\ 10^6$	$1543\ 10^{13}$
0″,001	3261,6	1000,0	$206\ 10^6$	$3086\ 10^{13}$

Equivalencias:

1 parsec (pc) = 3,2615 6378 años luz = 206 265 ua
= 3,085 678 10^{13} km = 3,085 678 10^{16} m
1 año luz = 0,3066 0139 parsecs = 63 241 ua
= 9,4607 3047 10^{12} km = 9,4607 3047 10^{15} m
1 ua = 4,8481 3681 10^{-6} pc = 1,5812 5074 10^{-5} años luz
= 1,4959 7871 10^8 km = 1,4959 7871 10^{11} m
1 km = 3,2407 7929 10^{-14} pc = 1,0570 0083 10^{-13} años luz
= 6,6845 8712 10^{-9} ua

OTROS OBJETOS DE LA VÍA LÁCTEA

La Vía Láctea
Cúmulos estelares
Nebulosas
Objetos difusos de Messier

Unidades:

1 $\mathcal{M}_\odot$	1,989 10^{30} kg
1 $\mathcal{L}_\odot$	3,826 10^{26} W
1 pc	3,0857 10^{16} m
1 kpc	3,0857 10^{19} m

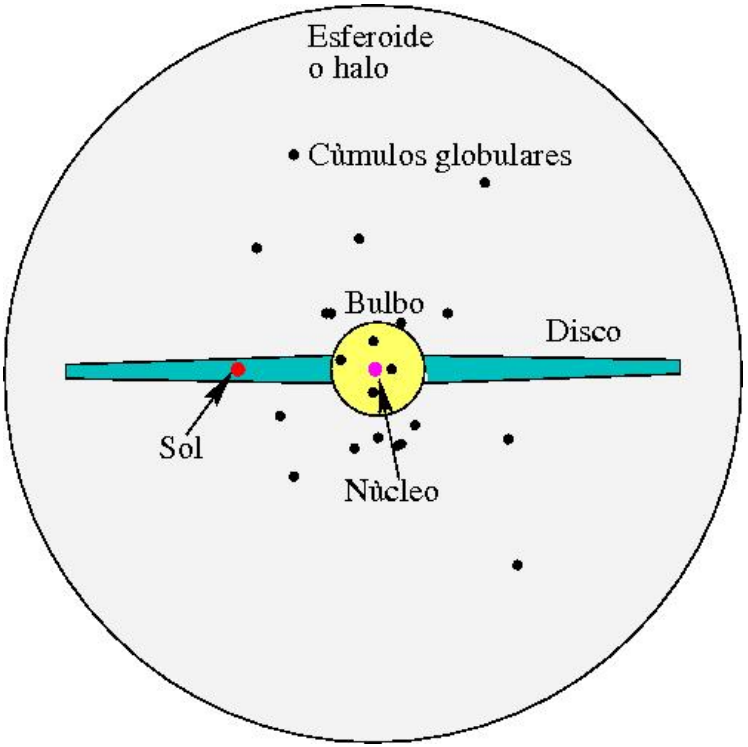
La Vía Láctea

Características globales de la galaxia:

tipo morfológico	SBbc
masa incluyendo el halo invisible	$\sim 10^{12}\ \mathcal{M}_\odot$
masa excluyendo el halo invisible	$\sim 10^{11}\ \mathcal{M}_\odot$
diámetro del halo gaseoso	100 kpc
dirección del polo norte galáctico	$\alpha = 12^{\mathrm{h}}51^{\mathrm{m}}26^{\mathrm{s}}$, $\delta = +27^\circ 07' 42''$
velocidad respecto del fondo de microondas	~ 600 km s^{-1}
luminosidad en banda V	$1{,}4\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
luminosidad en banda B	$2{,}3\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
luminosidad infrarroja ($4 - 100\ \mu$m)	$1{,}2\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
luminosidad bolométrica	$3{,}6\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
magnitud absoluta	$-20{,}9$
módulo de distancia	14,51
número de estrellas	$> 2\ 10^{11}$
Núcleo:	
masa interior a 1 pc (3,26 años luz)	$3\ 10^6\ \mathcal{M}_\odot$
Bulbo:	
masa	$10^{10}\ \mathcal{M}_\odot$
diámetro	2 kpc
luminosidad en banda B	$0{,}2\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
Disco:	
masa	$6\ 10^{10}\ \mathcal{M}_\odot$
diámetro	23–30 kpc
longitud de escala	3,5 kpc
luminosidad en banda V	$1{,}2\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
ritmo de formación de estrellas	$\sim 3\ \mathcal{M}_\odot$ por año
masa de gas molecular	$2{,}5\ 10^9\ \mathcal{M}_\odot$
masa de gas atómico	$3{,}0\ 10^9\ \mathcal{M}_\odot$
periodo de rotación de la espiral	$\sim 50\ 10^6$ años
periodo de rotación de la barra	$\sim 17\ 10^6$ años
Esferoide o halo:	
masa	$2\text{–}10\ 10^9\ \mathcal{M}_\odot$
diámetro	80 kpc
longitud de escala	2,9 kpc
luminosidad en banda V	$0{,}2\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
luminosidad en banda B	$0{,}2\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
edad de la estrella más vieja	$13{,}2\ 10^9$ años

Características de la galaxia en las proximidades del Sol:

velocidad de traslación	220 km s^{-1}
tiempo necesario para dar una vuelta	240 millones de años
dirección del centro galáctico (J2000)	$\alpha = 17^h45^m37^s$, $\delta = -28°56'10''$
distancia del Sol al centro galáctico	8,5 kpc
distancia del Sol al plano galáctico	8–14 pc
periodo vertical	62 millones de años
densidad de materia estelar	0,044 $\mathcal{M}_\odot$ pc^{-3}
densidad total de materia	0,15–0,18 $\mathcal{M}_\odot$ pc^{-3}
brillo superficial	15 $\mathcal{L}_\odot pc^{-1}$
metalicidad, Z	0,02
velocidad de escape	$\sim$ 550 km s^{-1}



Esquema de perfil de la galaxia, donde se identifican sus principales componentes. Los tamaños no están a escala.

Cúmulos estelares

Nuestra galaxia contiene numerosos grupos de estrellas que se denominan *cúmulos estelares* y se suelen dividir en dos grupos:

- *cúmulos abiertos o galácticos:* se encuentran en el disco galáctico, contienen algunos centenares de estrellas en una distribución a menudo irregular, suelen ser jóvenes ($< 10^8$ años) y se estima que hay decenas de miles de ellos en la Vía Láctea.
- *cúmulos globulares:* se encuentran en el halo galáctico, contienen entre 10^5 y 10^7 estrellas en una distribución esférica, suelen ser muy viejos ($\sim 10^{10}$ años) y se estima que hay más de 160 en la Vía Láctea.

Propiedades medias de los cúmulos estelares

	abiertos	globulares
diámetro (en parsecs)	4	20
masa (en $\mathcal{M}_\odot$)	250	$6\ 10^5$
densidad central (en $\mathcal{M}_\odot$ pc^{-3})	$\sim 10^2$	$\sim 10^4$
velocidad de dispersión (en km s^{-1})	1	7
tiempo de vida/edad (en años)	$2\ 10^8$	10^{10}

Cúmulos globulares

M	NGC	const.	α_{2000} (h m)	δ_{2000} (° ′)	magn. V_{total}	tamaño (′)	dist. (kpc)
	104	Tuc	00 24,0	−72 04	4,0	30	4,3
	5139	Cen	13 26,8	−47 28	3,7	36	5,1
3	5272	CVn	13 42,2	+28 23	6,2	16	10,0
5	5904	Ser	15 18,5	+02 05	5,7	17	7,3
4	6121	Sco	16 23,6	−26 31	5,6	26	2,2
13	6205	Her	16 41,7	+36 28	5,8	17	7,0
12	6218	Oph	16 47,1	−01 57	6,7	15	4,7
10	6254	Oph	16 57,1	−04 06	6,6	15	4,3
62	6266	Oph	17 01,2	−30 07	6,5	14	6,7
19	6273	Oph	17 02,6	−26 16	6,8	13	8,5
92	6341	Her	17 17,1	+43 08	6,4	11	8,1
	6388	Sco	17 36,3	−44 44	6,7	9	11,5
	6397	Ara	17 40,8	−53 41	5,7	26	2,2
	6541	CrA	18 08,0	−43 42	6,3	13	7,4
22	6656	Sgr	18 36,3	−23 54	5,1	24	3,2
	6752	Pav	19 10,9	−59 59	5,4	20	3,9
55	6809	Sgr	19 40,0	−30 58	6,3	19	5,3
15	7078	Peg	21 30,0	+12 10	6,2	12	10,2
2	7089	Aqr	21 33,4	−00 50	6,5	13	11,4

M: catálogo de Messier; NGC: New General Catalogue

Cúmulos abiertos

M	NGC	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn. V_{total}	tama. ($'$)	comentarios
	869	$02^h19.^m0$	+57 10	5,3	30	h Per, junto a NGC884
34	1039	$02^h42.^m0$	+42 47	5,2	35	en Perseus
	Perseo	$03^h22.^m0$	+48 36	1,2	190	α Per, Melotte 20
45	Pléyades	$03^h47.^m1$	+24 08	1,2	110	el mejor conocido
	Híades	$04^h20.^m0$	+15 38	0,5	330	en Taurus
38	1912	$05^h28.^m6$	+35 50	6,4	21	en Auriga
	1976/80	$05^h35.^m4$	−05 23	2,5	50	*El Trapecio*, joven
36	1960	$05^h36.^m1$	+34 08	6,0	12	en Auriga
	Berk 21	$05^h51.^m7$	+21 47	1,1	6	en Taurus
37	2099	$05^h52.^m4$	+32 32	5,6	23	en Auriga
35	2168	$06^h08.^m8$	+24 21	5,1	28	en Gemini
	2232	$06^h26.^m5$	−04 45	3,9	30	en Monoceros
	2244	$06^h32.^m4$	+04 52	4,8	23	en neb. *Roseta*, joven
	2264	$06^h41.^m0$	+09 53	3,9	20	S Mon
41	2287	$06^h47.^m1$	−20 44	4,5	38	en Canis Major
50	2323	$07^h03.^m0$	−08 21	5,9	16	en Monoceros
	2362	$07^h18.^m8$	−24 56	4,1	8	τ CMa
47	2422	$07^h36.^m6$	−14 30	4,4	30	en Puppis
46	2437	$07^h41.^m8$	−14 49	6,1	27	en Puppis
	2451	$07^h45.^m4$	−37 58	2,8	45	en Puppis
44	2632	$08^h40.^m1$	+20 00	3,1	95	Praesepe, en Cancer
	IC2395	$08^h41.^m0$	−48 11	4,6	7	en Vela
67	2682	$08^h50.^m5$	+11 42	6,9	30	en Cancer
	Tr 16	$10^h45.^m2$	−59 42	5,0	10	η Car y nebulosa
	Coma	$12^h25.^m1$	+26 06	1,8	300	disperso, Melotte 111
	4755	$12^h53.^m6$	−60 20	4,2	10	κ Cru, *El Joyero*
	6231	$16^h54.^m0$	−41 48	2,6	14	supergig. O, WR; en Sco
6	6405	$17^h40.^m1$	−32 13	4,2	14	en Scorpius
	IC4665	$17^h46.^m7$	+05 44	4,2	40	en Ophiuchus
7	6475	$17^h53.^m9$	−34 48	3,3	80	en Scorpius
23	6494	$17^h56.^m9$	−19 01	5,5	27	en Scorpius
16	6611	$18^h18.^m9$	−13 47	6,0	6	en Serpens, +nebulosa
	6633	$18^h27.^m6$	+06 34	4,6	27	en Ophiucus
25	IC4725	$18^h31.^m7$	−19 15	4,6	32	cefeida U Sgr
	IC4756	$18^h39.^m3$	+05 27	4,6	50	en Serpens
11	6705	$18^h51.^m1$	−06 17	5,8	13	muy rico, en Scutum
	Steph 1	$18^h53.^m5$	+36 55	3,8	20	en Lyra
	Col 399	$19^h25.^m4$	+20 11	3,6	60	en Vulpecula
	6819	$19^h41.^m3$	+40 11	7,3	5	en Cygnus
	IC1396	$21^h38.^m9$	+57 30	3,5	50	en Cepheus

IC: Index Catalogue, Col: Collinder, Tr: Trumpler, Berk: Berkeley,
Steph: Stephenson. WR: estrella de tipo Wolf-Rayet.

Nebulosas

El espacio que se encuentra entre las estrellas no está vacio sino que está ocupado por *gas* en diversas fases (ionizado, neutro en forma atómica o molecular) y condiciones físicas (frío, caliente, muy caliente; difuso, denso) que constituye el denominado *medio interestelar*. La *materia interestelar* también contiene pequeños *granos de polvo,* de diversa composición (grafito, silicatos, carbonatos, ...), que constituye el 1% en masa y se hallan bien mezclados con el gas. El medio interestelar está también consituido por *rayos cósmicos* (partículas subatómicas de elevada energía) y *campos magnéticos.*

En el medio interestelar destacan una serie de objetos, que se distinguen por representar diversas fases del intercambio de materia y energía que tiene lugar entre las estrellas y el medio circundante. Las estrellas nacen en nubes moleculares, objetos densos y fríos. Las estrellas de mayor masa producen nebulosas difusas, brillantes en óptico y en el continuo radio. Dependiendo del tipo de estrella de que se trate y de la etapa de su vida (inicial, final) puede dar lugar a varios tipos de nebulosas: nebulosas de emisión (o regiones HII), nebulosas de reflexión, nebulosas planetarias y remanentes (o restos) de supernova.

Nebulosas de emisión

Son nebulosas de hidrógeno que es ionizado (y se designa por H^+ o HII) por el intenso flujo de radiación ultravioleta procedente de estrellas de tipo O (muy calientes). Estas estrellas, muy masivas, evolucionan muy rápidamente actuando sobre la nube molecular en la que nacen, en el inicio de sus "cortas" vidas. El gas en estas nebulosas tiene una temperatura de 10^4 K y una densidad típica de 1000 partículas por cm^3. Se caracterizan por su color rojo cuando se observan en el óptico, debido a la intensa radiación de la línea Hα que domina la emisión en este rango. Además de otras líneas de recombinación del hidrógeno, se detectan líneas de emisión prohibidas de especies ionizadas, emisión de radio continuo del plasma de electrones y emisión de continuo en el infrarrojo debida a los granos de polvo calentados por la radiación ultravioleta de la estrella.

Nebulosas por reflexión

Son nebulosas en que los granos de polvo dispersan la radiación procedente de estrellas de tipo A o B, cuya temperatura no permite tener un flujo de fotones ultravioleta suficiente como para ionizar el gas de la nube circundante. Estas nebulosas se caracterizan por su color azul, debido a que la dispersión de la radiación de la estrella por los granos de polvo

es mayor a cortas longitudes de onda. La luz dispersada está parcialmente polarizada.

Nebulosas planetarias

Se denominan así por su apariencia (redondas, con un cierto parecido a un disco planetario). Sus características son muy similares a las regiones HII: se trata de nubes de gas de hidrógeno ionizado. Son el resultado de la expulsión por parte de una estrella vieja (más concretamente una estrella gigante roja de masa intermedia) de sus capas externas, que se verán sometidas a la ionización por el núcleo interno restante. La estrella evolucionará hacia la fase de enana blanca. Estas nebulosas se estudian con las mismas técnicas utilizadas en el análisis de las regiones HII.

Remanentes de supernova

Son el resultado de la explosión violenta de una estrella vieja (una gigante roja de gran masa) y su acción sobre el medio interestelar circundante, a través de la eyección de las capas externas. No obstante su denominación es equívoca, porque lo que se considera como remanente de supernova engloba a todo el medio circundante, incluso material originalmente no expulsado por la estrella pero que es arrastrado por la expansión violenta y la onda de choque generada en la explosión. Las elevadas temperaturas (del orden de un millón de grados) del gas sometido a las ondas de choque hacen que los remanentes sean visibles en un amplio rango del espectro electromagnético (desde radioondas a rayos gamma).

En el catálogo de objetos de apariencia difusa compilado por Messier a finales del siglo XVIII se encuentran nebulosas de cada uno de estos tipos, junto con cúmulos estelares y galaxias.

- *Nebulosas de emisión:* neb. del Lago (M8), neb. Omega (M17), neb. Trífida (M20), complejo de neb. de Orión (M42, M43).
- *Nebulosas por reflexión:* neb. asociada a las Pléyades (M45), neb. azulada situada al norte de la Trífida (M20).
- *Nebulosas planetarias:* neb. plan. de Vulpécula (M27), neb. anular de Lira (M57), neb. plan. de Perseo (M76), neb. plan. de la Osa Mayor (M97).
- *Remanentes (restos) de supernova:* nebulosa del Cangrejo (M1).

Además de estos objetos, también presentan nebulosidades objetos tales como las nebulosas preplanetarias y las estrellas Wolf-Rayet (NGC 2359 es un bello ejemplo).

Nubes moleculares

Tanto las nebulosas que emiten luz como las que la reflejan son manifestaciones visibles de otros objetos que no emiten luz a longitudes de onda ópticas: las nubes moleculares. Éstas son agregados más o menos amorfos (como lo son las nubes en la atmósfera terrestre) de gas compuesto predominantemente por moléculas, siendo la más abundante la de hidrógeno. Contienen además pequeñas partículas sólidas, llamadas *granos de polvo*, que absorben la luz visible. Aunque sus características irregulares no permiten una clasificación sencilla, pueden distinguirse los siguientes tipos:

- *Nubes moleculares gigantes*: alcanzan un tamaño de decenas de parsecs y una masa de hasta $10^6\ \mathcal{M}_\odot$, por lo que constituyen los objetos de mayor masa de nuestra galaxia. En su interior se forman tanto estrellas muy masivas como poco masivas, normalmente en cúmulos abiertos, los cuales pueden llegar a tener varios miles de estrellas. Cuando éstas ionizan el gas molecular dan lugar a nebulosas de emisión. Un ejemplo cercano es la nube molecular asociada a la nebulosa de Orión.

- *Nubes oscuras*: Son menos masivas que las gigantes ($\sim 10^4\ \mathcal{M}_\odot$) y sólo forman estrellas de baja masa. Normalmente son filamentosas y su nombre se debe a que las más cercanas, al bloquear la luz de las estrellas lejanas, aparecen en las imágenes ópticas como "huecos" o regiones oscuras del cielo. La nebulosa de la cabeza de Caballo, situada en Orión, es un ejemplo de un fragmento de nube oscura.

- *Glóbulos:* Son menores que las nubes oscuras (su masa típica es de decenas de $\mathcal{M}_\odot$) y suelen tener formas más regulares, siendo en algunos casos casi esféricos. Dan lugar a estrellas individuales o pequeños grupos de estrellas de baja masa.

Nebulosas de emisión brillantes

M	NGC	nombre propio	α_{2000} (h m)	δ_{2000} (° ′)	comentario
42/43	1976/82	gran complejo de nebulosas en Orión	5 35	−5 20	brillantes, una nebulosa rodea θ Ori, incluye el joven cúmulo del *Trapecio*
	IC 434		5 41	−2 24	débil neb., se extiende 1° al sur de θ Ori, incluye peq. neb. oscura de Cabeza de Caballo
	2237-9/46	*Roseta*	6 32	4 52	en Monoceros, débil pero extensa (úse pocos aumentos)
20	6514	*Trífida*	18 03	−23 02	a 1.°5 de la nebulosa *Laguna*, pueden usarse bastantes aumentos
8	6523	*Laguna*	18 04	−24 23	visible con pequeños telescopios, cúm. ab. NGC 6530 al este
17	6618	*Omega*	18 21	−16 11	parcialmente visible con buenos prismáticos, úsese pocos aumentos
16	6611	*Aguila*	18 19	−13 47	a unos 2° de la neb. Omega, débil, incluye un cúmulo abierto

También son conocidas como *regiones HII*.

Nebulosas por reflexión brillantes

M	NGC	situación	α_{2000} (h m)	δ_{2000} (° ′)	comentario
45	1432/35	nebulosas que rodean las Pléyades	3 47	24 08	las más visibles son las que rodean las estrellas Mérope, Maya y Electra
	1788	en Orión, 2° al norte de β Eri	5 07	−3 21	alargada (8′), tiene unas diez estrellas embebidas
78	2068	en Orión	5 47	0 03	a 2.°5 de ζ Ori, hacia Betelgeuse
	7023	en Cepheus	21 01	68 10	6° al NNO de α Cep
	7129	en Cepheus	21 41	66 06	4° al NNE de α Cep, incluye un pequeño cúmulo estelar

Restos de supernova brillantes

NGC	situación	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	comentario
1952 (M1)	neb. del *Cangrejo*, en Taurus	5 34	22 01	1°.3 al NO de ζ Tau, de $7' \times 5'$, visible incluso con pequeños telescopios
IC 443	en Gemini	6 17	22 47	1°.5 al oeste de μ Gem
6992/60/79	neb. del *Velo*, en Cygnus	20 50	31 30	gran arco de unos 3° de diámetro, entre ε y ζ Cyg

Nebulosas planetarias brillantes

M	NGC	nombre popular	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	situación, tamaño y magnitud visual total
76	650-1		1 42	51 34	en Perseus, 1'.1, muy débil
	2392	*Cara de Payaso*	7 29	20 54	2° al E de δ Gem, 0'.3, V=8,3
97	3587	*Buho, Esquimal*	11 15	55 01	2° al E de β UMa, 3'.3, débil
	6543	*Ojos de Gato*	17 59	66 37	5° al E de δ Dra, 0'.3, V=8,8
57	6720	*Anillo*	18 54	33 02	entre β y γ Lyra, 1'.2, V=9,0
27	6853	*Pesas (Dumb-bell)*	19 59	22 43	en Vulpecula, $\sim$7', V=7,6, la mejor
	7009	*Saturno*	21 04	$-$11 23	en Aquarius, oval $\sim$0'.5, V=8,3
	7027		21 07	42 14	en Cygnus, 9° al SE de neb. Norteamérica, 0'.2, débil
	7293	*Hélice*	22 30	$-$20 48	en Aquarius, entre α PsA y δ Cap, 16', V=6,5, la mayor

Epocas de observación

La selección de los objetos a observar en una noche dada se puede realizar a partir de la ascensión recta (α) de estrellas, cúmulos, nebulosas o galaxias. A continuación se indican los rangos aproximados de ascensión recta adecuados en distintas épocas del año.

Primavera	α entre 9^h y 15^h
Verano	α entre 15^h y 21^h
Otoño	α entre 21^h y 3^h
Invierno	α entre 3^h y 9^h

Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn.	tama. ($'$)	tipo	constelación
1	1952	5 34,5	+22 01	8,4	5	n.d.	Tau
2	7089	21 33,5	−00 49	6,5	13	c.g.	Aqr
3	5272	13 42,2	+28 23	6,4	16	c.g.	CVn
4	6121	16 23,6	−26 32	5,9	26	c.g.	Sco
5	5904	15 18,6	+02 05	5,8	17	c.g.	Ser
6	6405	17 40,1	−32 13	4,2	15	c.a.	Sco
7	6475	17 53,9	−34 49	3,3	80	c.a.	Sco
8	6523	18 03,8	−24 23	5,8	60	n.d.	Sgr
9	6333	17 19,2	−18 31	7,9	9	c.g.	Oph
10	6254	16 57,1	−04 06	6,6	15	c.g.	Oph
11	6705	18 51,1	−06 16	5,8	14	c.a.	Sct
12	6218	16 47,2	−01 57	6,6	14	c.g.	Oph
13	6205	16 41,7	+36 28	5,9	17	c.g.	Her
14	6402	17 37,6	−03 15	7,6	12	c.g.	Oph
15	7078	21 30,0	+12 10	6,4	12	c.g.	Peg
16	6611	18 18,8	−13 47	6,0	7	c.a.	Ser
17	6618	18 20,8	−16 11	7	41	n.d.	Sgr
18	6613	18 19,9	−17 08	6,9	9	c.a.	Sgr
19	6273	17 02,6	−26 16	7,2	14	c.g.	Oph
20	6514	18 02,6	−23 02	8,5	28	n.d.	Sgr
21	6531	18 04,6	−22 30	5,9	13	c.a.	Sgr
22	6656	18 36,4	−23 54	5,1	24	c.g.	Sgr
23	6494	17 56,8	−19 01	5,5	27	c.a.	Sgr
24	IC4715	18 16,9	−18 29	4,5	90		Sgr
25	IC4725	18 31,6	−19 15	4,6	32	c.a.	Sgr
26	6694	18 45,2	−09 24	8,0	15	c.a.	Sct
27	6853	19 59,6	+22 43	8,1	6	n.p.	Vul
28	6626	18 24,5	−24 52	6,9	11	c.g.	Sgr
29	6913	20 23,9	+38 32	6,6	7	c.a.	Cyg
30	7099	21 40,4	−23 11	7,5	11	c.g.	Cap
31	224	0 42,7	+41 16	3,4	106	g.s.	And
32	221	0 42,7	+40 52	8,2	7	g.e.	And
33	598	1 33,9	+30 39	5,7	49	g.s.	Tri
34	1039	2 42,0	+42 47	5,2	35	c.a.	Per
35	2168	6 08,9	+24 20	5,1	28	c.a.	Gem
36	1960	5 36,1	+34 08	6,0	12	c.a.	Aur
37	2099	5 52,4	+32 33	5,6	24	c.a.	Aur
38	1912	5 28,7	+35 50	6,4	21	c.a.	Aur

Tipo: c.a.: cúmulo abierto, c.g.: cúmulo globular, g.e.: galaxia elíptica, g.s.: galaxia espiral, n.d.: nebulosa difusa, n.p.: nebulosa planetaria.

Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn.	tama. ($'$)	tipo	constelación
39	7092	21 32,2	+48 26	4,6	32	c.a.	Cyg
40		12 22,4	+58 05	8			UMa
41	2287	6 46,9	−20 44	4,5	38	c.a.	CMa
42	1976	5 35,4	−05 27	4	63	n.d.	Ori
43	1982	5 35,6	−05 16	9	17	n.d.	Ori
44	2632	8 40,1	+19 59	3,1	95	c.a.	Cnc
45		3 47,0	+24 07	1,2	110	c.a.	Tau
46	2437	7 41,8	−14 49	6,1	27	c.a.	Pup
47	2422	7 36,6	−14 30	4,4	30	c.a.	Pup
48	2548	8 13,8	−05 48	5,8	54	c.a.	Hya
49	4472	12 29,8	+08 00	8,4	8	g.e.	Vir
50	2323	7 03,2	−08 20	5,9	16	c.a.	Mon
51	5194-5	13 29,9	+47 12	8,1	9	g.s.	CVn
52	7654	23 24,2	+61 35	6,9	13	c.a.	Cas
53	5024	13 12,9	+18 10	7,7	13	c.g.	Com
54	6715	18 55,1	−30 29	7,7	9	c.g.	Sgr
55	6809	19 40,0	−30 58	7,0	19	c.g.	Sgr
56	6779	19 16,6	+30 11	8,2	7	c.g.	Lyr
57	6720	18 53,6	+33 02	9,0	1	n.p.	Lyr
58	4579	12 37,7	+11 49	9,8	5	g.s.	Vir
59	4621	12 42,0	+11 39	9,8	4	g.e.	Vir
60	4649	12 43,7	+11 33	8,8	6	g.e.	Vir
61	4303	12 21,9	+04 28	9,7	5	g.s.	Vir
62	6266	17 01,2	−30 07	6,6	14	c.g.	Oph
63	5055	13 15,8	+42 02	8,6	10	g.s.	CVn
64	4826	12 56,7	+21 41	8,5	7	g.s.	Com
65	3623	11 18,9	+13 05	9,3	5	g.s.	Leo
66	3627	11 20,2	+12 59	9,0	6	g.s.	Leo
67	2682	8 50,4	+11 49	6,9	30	c.a.	Cnc
68	4590	12 39,5	−26 45	8,2	12	c.g.	Hya
69	6637	18 31,4	−32 21	7,7	7	c.g.	Sgr
70	6681	18 43,2	−32 18	8,1	8	c.g.	Sgr
71	6838	19 53,8	+18 47	8,3	7	c.g.	Sge
72	6981	20 53,5	−12 32	9,4	6	c.g.	Aqr
73	6994	20 58,9	−12 38	9,0	3	c.a.	Aqr
74	628	1 36,7	+15 47	9,2	9	g.s.	Psc
75	6864	20 06,1	−21 55	8,6	6	c.g.	Sgr
76	650-1	1 42,4	+51 34	11,5	1	n.p.	Per

Tipo: c.a.: cúmulo abierto, c.g.: cúmulo globular, g.e.: galaxia elíptica, g.s.: galaxia espiral, n.d.: nebulosa difusa, n.p.: nebulosa planetaria.

Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	magn.	tama. ($'$)	tipo	constelación
77	1068	2 42,7	−00 01	8,8	6	g.s.	Cet
78	2068	5 46,7	+00 03	8	7	n.d.	Ori
79	1904	5 24,5	−24 33	8,0	9	c.g.	Lep
80	6093	16 17,0	−22 59	7,2	9	c.g.	Sco
81	3031	9 55,6	+69 04	6,8	19	g.s.	UMa
82	3034	9 55,8	+69 41	8,4	7	g.i.	UMa
83	5236	13 37,0	−29 52	7,6	10	g.s.	Hya
84	4374	12 25,1	+12 53	9,3	4	g.e.	Vir
85	4382	12 25,4	+18 11	9,2	6	g.e.	Com
86	4406	12 26,2	+12 57	9,2	6	g.e.	Vir
87	4486	12 30,8	+12 24	8,6	7	g.e.	Vir
88	4501	12 32,0	+14 25	9,5	5	g.s.	Com
89	4552	12 35,7	+12 33	9,8	4	g.e.	Vir
90	4569	12 36,8	+13 10	9,5	7	g.s.	Vir
91	4548	12 35,4	+14 30	10,2	4	g.s.	Com
92	6341	17 17,1	+43 08	6,5	11	c.g.	Her
93	2447	7 44,6	−23 52	6,2	22	c.a.	Pup
94	4736	12 50,9	+41 07	8,1	10	g.s.	CVn
95	3351	10 44,0	+11 42	9,7	6	g.s.	Leo
96	3368	10 46,8	+11 49	9,2	6	g.s.	Leo
97	3587	11 14,8	+55 01	11,2	3	n.p.	UMa
98	4192	12 13,8	+14 54	10,1	5	g.s.	Com
99	4254	12 18,8	+14 25	9,8	5	g.s.	Com
100	4321	12 22,9	+15 49	9,4	6	g.s.	Com
101	5457	14 03,2	+54 21	7,7	26	g.s.	UMa
102							
103	581	1 33,2	+60 42	7,4	6	c.a.	Cas
104	4594	12 40,0	−11 37	8,3	6	g.s.	Vir
105	3379	10 47,8	+12 35	9,3	4	g.e.	Leo
106	4258	12 19,0	+47 18	8,3	12	g.s.	CVn
107	6171	16 32,5	−13 03	8,1	10	c.g.	Oph
108	3556	11 11,5	+55 40	10,0	4	g.s.	UMa
109	3992	11 57,6	+53 23	9,8	6	g.s.	UMa
110	205	0 40,4	+41 41	8,0	13	g.e.	And

Tipo: c.a.: cúmulo abierto, c.g.: cúmulo globular, g.e.: galaxia elíptica, g.s.: galaxia espiral, n.d.: nebulosa difusa, n.p.: nebulosa planetaria.

M40 corresponde a la estrella doble HD 238107/8 de la Osa Mayor.

M102 puede corresponder a una observación duplicada de M101 aunque también se ha sugerido que podría tratarse de la galaxia espiral NGC 5866.

OBJETOS EXTRAGALÁCTICOS

Galaxias del Grupo Local
Galaxias con nombre propio
Galaxias más brillantes
Cuásares y otros objetos lejanos
Cúmulos de galaxias
Tabla comparativa de distancias extragalácticas
Los objetos más lejanos

Unidades:

1 $\mathcal{M}_\odot$	1,9885 10^{30} kg
1 $\mathcal{L}_\odot$	3,826 10^{26} W
1 kpc	10^3 parsecs = 3 262 años luz = 3,0857 10^{19} m
1 Mpc	10^6 parsecs = 3,26 10^6 años luz = 3,0857 10^{22} m
1 Gpc	10^9 parsecs = 3,26 10^9 años luz = 3,0857 10^{25} m

Introducción

El *universo observable* tal como lo conocemos hoy está compuesto por *galaxias*, que se agrupan en *cúmulos* y éstos, a su vez, en *supercúmulos*. Se observa mediante la detección de la radiación electromagnética (luz visible, ondas de radio, etc) que los astros y la materia interestelar e intergaláctica emiten, absorben o dispersan. Las discrepancias encontradas a lo largo del siglo pasado entre la cantidad de materia medida de este modo (materia "luminosa") y la deducida por los efectos gravitatorios a gran escala ha llevado a postular la existencia de una *materia oscura* adicional de naturaleza aún desconocida. El descubrimiento a finales del siglo XX de aceleración en la *expansión del universo* se trata de explicar mediante la presencia de una hipotética forma de energía, llamada *energía oscura*, que actuaría como una fuerza repulsiva. Su naturaleza es tema de especulación.

En la década de 1920 se demostró que objetos denominados comúnmente nebulosas, entre ellas la de Andrómeda, eran realmente galaxias independientes de la Vía Láctea. Denominamos *galaxia* a un gran conjunto de estrellas (más de diez millones) y materia interestelar (nubes de gas y polvo), además de otros cuerpos menores (restos de estrellas, planetas), unido gravitatoriamente y percibido como una entidad separada, aunque no siempre independiente, en el espacio. Su centro de masas o *núcleo* galáctico es una región pequeña y compacta que contiene una gran densidad de estrellas y otros objetos. En ocasiones en él se encuentra un agujero negro supermasivo (con una masa entre 10^6 y 10^{10} $\mathcal{M}_\odot$), pudiendo emitir una parte considerable de la energía total de la galaxia. En tal caso se habla de un *núcleo activo*, que puede manifestarse en ondas de radio (radiogalaxia) o en todo el espectro electromagnético (cuásar, blazar, galaxia de Seyfert). Se llama *galaxia activa* a aquella que contiene un núcleo activo.

Se denominan galaxias con *brote estelar* aquellas en que el ritmo de nacimiento de estrellas es muy superior al de una galaxia normal de tamaño similar. Entre ellas se encuentran las *galaxias infrarrojas* luminosas y ultraluminosas descubiertas en la década de 1980.

Las galaxias se caracterizan por su número de estrellas (las enanas tienen unos miles de millones, mientras que las supergigantes pueden superar un billón), su tamaño (entre cientos y millones de años luz de diámetro), su luminosidad (entre 10^5 y 10^{14} $\mathcal{L}_\odot$) y su forma. Los tipos morfológicos principales se expresan, de manera simplificada, mediante:

E	elíptica (de E0 hasta E7)
Im, Irr	irregular
S	espiral (de ‘a’ a ‘c’) (SA, SAB, SB)
S0	lenticular (S0 y E8)
dSph	esferoidal enana
d	prefijo indicativo de galaxia enana
B	sufijo indicativo de presencia de una barra

Las galaxias se identifican por las coordenadas que dan su posición en el cielo. Catalogadas en los siglos XVIII y XIX junto con las nebulosas y cúmulos estelares, algunas aparecen en el pequeño catálogo de Ch. Messier (en él la galaxia de Andrómeda es Messier 31 o M31) y en el catálogo mucho más extenso de William, Caroline y John Herschel, que a finales del siglo XIX J.L.E. Dreyer plasmó en el Nuevo Catálogo General de Nebulosas y Cúmulos de Estrellas (la galaxia de Andrómeda es NGC 224). Otros catálogos muy utilizados en la denominación de galaxias son el Atlas de Galaxias Peculiares de H. Arp, en el que abundan galaxias en interacción (Arp 220, Arp 244) y alguna radiogalaxia (como Arp 153, también conocida como Centauro A o NGC 5128), el Catálogo General de Galaxias de Upspala (UGC) o el catálogo de galaxias enanas DDO. En los catálogos de radiofuentes publicados a partir del año 1950 también se encuentran galaxias (como 3C236) y cuásares (como 3C48 y 3C273). Los cúmulos de galaxias fueron catalogados inicialmente por G.O. Abell.

Se denomina *Grupo Local* a un grupo de varias decenas de galaxias que incluye, como miembros dominantes, la Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda (M31). Están ligadas gravitatoriamente entre sí y ocupan un volumen de unos 3 Mpc (unos 10 millones de años luz) de diámetro. Puesto de manifiesto por E. Hubble en 1936, se siguen descubriendo nuevos miembros del grupo, se determinan mejor sus distancias y su tipo morfológico, y se estudia su evolución. Incluimos una lista parcial.

Los *cúmulos de galaxias* son agrupaciones de centenares o miles de galaxias que, con un tamaño típico entre 2 y 10 megaparsecs (1 Mpc = 3,26 millones de años luz), constituyen las mayores estructuras del universo ligadas gravitatoriamente. Además de las galaxias, observaciones con telescopios de rayos X han mostrado la presencia en ellos de grandes cantidades de gas intergaláctico, a temperaturas de decenas de millones de grados. Sin embargo la masa combinada de galaxias y gas caliente no es suficiente para mantener los cúmulos ligados, con galaxias moviéndose en ellos con velocidades de hasta 1000 km/s, por lo que se supone que la mayor parte de su masa total (típicamente entre 10^{13} y 10^{15} $\mathcal{M}_\odot$) está constituida por una materia oscura de naturaleza desconocida. Se conocen miles de cúmulos, entre los cuales destacan el cúmulo de Virgo (el más cercano, descubierto como "cúmulo de nebulosas" por Messier en 1784), Norma (Abell 3627, que forma parte de la intensa anomalía gravitatoria denominada Gran Atractor) y Coma (Abell 1656, que forma parte del supercúmulo del mismo nombre).

Los cúmulos y grupos de galaxias (como el Grupo Local) se agrupan a su vez en *supercúmulos de galaxias* que, con tamaños de hasta 300 Mpc, constituyen las mayores estructuras conocidas en el universo. El Grupo Local se encuentra en el borde del supercúmulo de Virgo. Como comparación, la región del universo observable es una esfera con un radio de unos 14 000 Mpc (para el modelo cosmológico descrito más abajo).

Galaxias del Grupo Local

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	mag. V	tamaño ($'\times'$)	tipo	dist. (kpc)
Andrómeda, M31	00 42,7	+41 16	3,4	185×75	SA(s)b	780
Vía Láctea	17 45,6	-28 56			SAB(s)bc	
Gran N. de Magallanes	05 23,6	-69 45	0,1	650×550	SB(s)m	48
Triángulo, M33	01 33,9	+30 39	5,7	67×42	SA(s)cd	810
M32, NGC 221	00 42,7	+40 52	8,1	11×7	E2	780
Peq. N. de Magallanes	00 52,7	-72 50	2,7	280×160	SB(s)m	61
Andrómeda VIII	00 42,3	+40 37	9,1	45×10	dSph	720
IC 1613	01 05,1	+02 08	9,2	20×19	IAB(s)m	780
M110, NGC 205	00 41,3	+41 41	8,5	20×13	E5	780
NGC 3109	10 03,1	-26 09	10,4	16×3	Ir+	1200
IC10	00 20,4	+59 18	10,3	7×6	KBm?	1100
NGC 147	00 33,2	+48 31	9,5	15×9	dE5	640
NGC 185	00 39,0	+84 20	9,2	15×13	dE3	620
NGC 6822, de Barnard	19 44,9	-14 49	9,3	16×14	IB(s)m	480
Andrómeda VI	23 51,7	+24 36	11,2	4×4	dSph	750
DDO 221, WLM	00 02,0	-15 28	10,9	12×4	IB(s)	910
Sextante A, UGCA 205	10 11,1	-04 43	11,9	6×5	Ir+	1400
Sextante B, UGC 5373	10 00,0	+05 20	11,8	5×4	Ir+	1300
Enana de Fornax	02 39,9	-34 32	8,1	12×10	dSph/E2	130
Leo I, DDO 74	10 08,5	+12 18	9,8	10×7	dE3	240
Andrómeda I	00 45,7	+38 00	13,2	3×3	dSph/E3	780
E. de Pegaso, DDO 216	23 28,6	+14 45	13,2	5×3	Im	810
Leo A, DDO 69	09 59,4	+30 45	12,9	5×3	IBm	670
Andrómeda II	01 16,4	+33 27	13,5	4×3	dSph/E0	780
Andrómeda III	00 35,4	+36 31	13,5	5×3	dSph/E2	780
Enana de Acuario	20 46,8	-12 51	13,9	2×1	Im	910
Enana de Fénix	01 51,1	-44 27	13,1	5×4	Irr	430
Enana de Máquina N.	10 04,1	-27 20	14,8	2×2	dSph/E3	1200
E. irregular de Sagitario	19 30,1	-17 42	15,5	3×2	IB(s)m	1100
Enana de la Ballena	00 26,1	-11 02	14,4		dSph/E4	750
Enana del Dragón	17 20,1	+57 55	9,9	51×31	dSph/E0	75
Enana del Escultor	01 00,0	-33 42	10,5		dSph/E3	81
Enana de Piscis, LGS 3	01 03,8	+21 53	15,4	2	Irr	810
Andrómeda IX	00 52,9	+43 12	16,2	5	dSph	780
Andrómeda V	01 10,3	+47 38	15,9		dSph	780
Andrómeda X	01 06,6	+44 48	16,1	7	dSph	780
Enana de la Osa Menor	15 08,8	+67 12	10,9	41×26	dSph/E4	64
Enana del Tucán	22 41,7	-64 25	15,7	3×1	dSph/E5	860
Leo II	11 13,5	+22 10	12,6	12×11	dSph/E0	200
Enana del Sextante	10 13,2	-01 37	12,0		dSph/E3	86
En. de Carina (Quilla)	06 14,6	-50 58	20,9	24×16	dSph/E3	97

Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^{\circ}$ $'$)
Acuario, Enana de		20 46,9	−12 51
Ambartsumian, Nudo de	NGC3561, Arp 105	11 11,2	28 42
Andrómeda	M31, NGC224	00 42,7	41 16
Andrómeda I		00 45,7	38 00
Andrómeda II		01 16,3	33 25
Andrómeda III		00 35,3	36 31
Andrómeda IV		00 42,5	40 34
Antenas	NGC4038/39, Arp 244	12 01,9	−18 52
Araña		10 42,6	34 27
Arp, Galaxia de		11 19,6	51 30
Atomos para la Paz	NGC7252, Arp 226	22 20,8	−24 41
Baade, Galaxias de		00 49,9	42 35
Barbon, Galaxia de	Mkr 328, ZWG497.042	23 37,7	30 08
Barnard, Galaxia de	NGC 6822, IC 4895	19 44,9	−14 48
BL Lacertae		22 02,7	42 17
Bode, Galaxia de	M81/82, NGC 3031/4	09 55,7	69 23
Burbidge, Cadena de		00 47,5	−20 26
BW Tauri		04 33,2	05 21
Capricornio, Enana de		21 46,5	−21 14
Caracola	Comp. de NGC 5291	13 47,4	−30 23
Carina, Enana de		06 41,6	−50 58
Centauro A	NGC 5128, Arp 153	13 25,5	−43 01
Coddington, Nebulosa de	IC 2574	10 28,4	68 25
Compás, Galaxia del		14 13,2	−65 20
Copeland, Septeto de	NGC 3745-54, Arp 320	11 37,8	21 59
Cygnus A		19 59,4	40 43
Draco, Enana de		17 20,2	57 55
Escultor, Enana del		01 00,2	−33 42
Escultor, Enana Irr. del		00 08,1	−34 34
Fénix, Galaxia del		01 51,1	−44 26
Fath 703	NGC 5892	15 13,7	−15 29
Fornax A	NGC 1316, Arp 154	03 22,7	−37 12
Fornax, Enana de		02 39,9	−34 32
Fourcade-Figueroa		13 34,8	−45 33
Garra de Oso	NGC 2537, Arp 6	08 13,2	46 00
Garrafa		04 28,0	−47 54
Gemelos, Los		12 36,5	11 15
Gibson Reaves 8 (GR 8)		12 58,7	14 13
Girasol	M63, NGC5055	13 15,8	42 02
Gran Nube Magallanes		05 23,6	−69 45

Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^{\circ}$ $'$)
Grulla, Cuarteto de la	NGC7552/82/90/99	23 17,8	−42 26
Guirnalda, La		10 04,2	68 40
Hardcastle, Galaxia de		13 13,0	−32 41
Hélice	NGC 2685, Arp 336	08 55,6	58 44
Hércules A		16 51,2	04 59
Hidra A		09 18,1	−12 06
Hoag, Objeto de		15 17,2	21 35
Holmberg I		09 40,5	71 11
Holmberg II	Arp 268	08 19,3	70 43
Holmberg III		09 14,6	74 14
Holmberg IV		13 54,7	53 54
Holmberg V		13 40,6	54 20
Holmberg VI	NGC 1325a	03 24,9	−21 20
Holmberg VII		12 34,7	06 17
Holmberg VIII		13 13,3	36 12
Holmberg IX		09 57,6	69 03
Huso	NGC 3115	10 05,2	−07 42
Keenan, Sistema de	NGC5216/18, Arp 104	13 32,2	62 43
Kowal, Galaxia de		19 29,9	−17 41
Leo I	Enana de Régulo	10 08,5	12 18
Leo II	Leo B	11 13,4	22 10
Leo III	Leo A	09 59,3	30 45
Lindsay-Shapley, Anillo de	Graham A	06 42,8	−74 15
Maffei I		02 36,3	59 39
Maffei II		02 42,0	59 37
Malin 1		12 37,0	14 20
Mariposa	IC708	11 33,9	49 03
Mayall, Objeto de	Arp 148	11 03,9	40 50
McLeish, Objeto de		20 09,7	−66 13
Minkowski, Objeto de	Arp 133	01 25,8	−01 21
Molinete	M99, NGC4254	12 18,8	14 25
Molinete	M101,NGC5457,Arp 26	14 03,3	54 22
Moneda de Plata	NGC253, Escultor	00 47,6	−25 18
Ojo Negro	M64, NGC 4826	12 56,7	21 41
Ojos, Los	NGC4435/8, Arp 120	12 27,7	13 03
Osa Menor, Enana de La		15 08,8	67 12
Pancake	NGC 2685, Arp 336	08 55,6	58 44
Pegaso, Enana de		23 28,5	14 44
Pequ. Nube Magallanes		00 52,7	−72 50
Perdida, Galaxia	NGC4535	12 34,3	08 11

Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)
Perros de Caza (Remolino)	M51, NGC 5194, Arp 85	13 29,9	47 12
Perseo A	NGC1275/6	03 19,8	41 31
Piscis, Enana de	LGS 3	00 03,8	21 54
Piscis, Nube de	NGC379/80/82-85, Arp 331	01 07,5	32 25
Polarissima Australis	NGC 2573	01 42,0	−89 20
Polarissima Borealis	NGC 3172, ZWG 370.002	11 50,3	89 07
Ratones	NGC4676,IC819/20,Arp242	12 46,1	30 44
Reloj, Enana del	Espiral de Schuster	03 59,2	−45 52
Reinmuth 80	NGC 4517a	12 32,5	00 23
Retículo, Enana del	Sersic 040.03	04 36,2	−58 50
Rueda de Carro	Rueda de Zwicky	00 37,4	−33 44
Sagitario, Enana de		19 30,0	−17 41
Serpens, Enana de	Palomar 5	15 16,1	−00 08
Sextante A		10 11,0	−04 41
Sextante B		10 00,0	05 19
Sextante C		10 05,6	00 04
Seyfert, Sexteto de	NGC6027, Sext. Serpens	15 59,2	20 46
Shapley-Ames 1		01 05,1	−06 13
Shapley-Ames 2	NGC 4507	12 35,1	−39 55
Shapley-Ames 3		12 49,4	−10 07
Shapley-Ames 4		12 55,2	00 07
Shapley-Ames 5		20 24,0	−44 00
Shapley-Ames 6		21 23,2	45 46
Signo de Exclamación		00 39,3	−43 06
Signo de Integral		07 11,4	71 50
Sombrero	M104, NGC 4594	12 39,9	−11 37
Stephan, Quinteto de	NGC 7317-20, Arp 319	22 36,0	33 58
Triángulo	Molinete, M33, NGC 598	01 33,9	30 39
Virgo A	M87, NGC 4486, Arp 152	12 30,8	12 23
Wild, Triplete de	Arp 248	11 46,8	−03 49
Wolf-Lundmark-Melotte		00 02,0	−15 28
Zwicky 2		11 58,4	38 03
Zwicky, Triplete de	Arp 103	11 58,4	38 03

Galaxias más brillantes

nombre NGC, otros	α_{2000} ($^h\ ^m\ ^s$)	δ_{2000} ($^\circ\ '$)	mag. B_T	tamaño ($' \times '$)	tipo	dist. (Mpc)
55	00 15 08	−39 13,2	8,2	25×3	Sc	3,1
205, M110	00 40 23	41 41,3	8,5	20×13	E5	0,9
221, M32	00 42 41	40 51,9	8,1	11×7	E2	0,9
224, M31	00 42 45	41 16,5	3,4	185×75	SA(s)b	0,9
247	00 47 10	−20 45,6	9,5	18×5	ScIII-IV	3,1
253	00 47 36	−25 17,4	8,1	22×6	Sc	4,2
P.N.Magall.	00 52 45	−72 49,7	2,7	280×160	SB(s)m	0,06
300	00 54 53	−37 41,2	8,7	20×10	ScIII	2,4
598, M33	01 33 53	30 39,2	5,7	67×42	SA(s)cd	0,9
628, M74	01 36 42	15 47,2	9,8	8×8	ScI	17
1068, M77	02 42 41	−00 00,9	9,6	3×2	SbII	25
1291	03 17 19	−41 06,5	9,4	5×2	SBa	15
1313	03 18 16	−66 29,9	9,4	5×3	SBcIII-IV	5,2
1316	03 22 42	−37 12,5	9,6	4×3	Sa(p)	30
G.N.Magall.	05 23 35	−69 45,4	0,1	650×550	SB(s)m	0,05
2403	07 36 54	65 35,9	8,9	16×10	ScIII	3,6
2903	09 32 10	21 29,9	9,5	11×5	ScI-III	9,4
3031, M81	09 55 34	69 04,1	7,9	16×10	SbI-II	3,6
3034, M82	09 55 54	69 40,7	9,3	7×2	Amorfa	3,6
3521	11 05 49	−00 02,0	9,6	7×2	SbII-III	13
3627, M66	11 20 15	12 59,1	9,7	8×3	SbII	12
4258, M106	12 18 57	47 18,4	8,9	20×6	SbII	10
4449	12 28 12	44 05,8	9,8	5×3	SmIV	5
4472, M49	12 29 47	07 59,8	9,3	5×4	E1/S0	22
4486, M87	12 30 50	12 23,6	9,6	3×3	E0	22
4594, M104	12 40 00	−11 37,4	9,3	7×2	Sa/b	17
4631	12 42 05	32 32,4	9,8	12×1	Sc	12
4649, M60	12 43 40	11 33,1	9,8	4×3	S0	22
4736, M94	12 50 54	41 07,1	8,9	5×4	Sab	6,9
4826, M64	12 56 45	21 41,0	9,4	8×4	SabII	7
4945	13 05 26	−49 28,0	9,6	12×2	Sc	7
5055, M63	13 15 50	42 01,7	9,3	8×3	SbcII-III	11
5128, CenA	13 25 29	−43 01,0	7,9	10×3	S0(p)	6,9
5194, M51	13 29 53	47 11,9	8,6	12×6	SbcI-II	11
5236, M83	13 37 00	−29 52,0	8,5	10×8	SBcII	6,9
5457, M101	14 03 13	54 21,0	8,2	22×22	ScI	7,6
6744	19 09 46	−63 51,3	9,2	9×9	SbcII	13
6822	19 44 57	−14 47,7	9,3	16×14	IB(s)m	0,6
6946	20 34 51	60 09,4	9,7	13×9	ScII	6,7
7793	23 57 49	−32 35,4	9,6	6×4	SdIV	4,2

1 Mpc = 10^6 pc = 3,26 10^6 años luz = 3,0857 10^{19} km = 3,0857 10^{22} m

Cuásares y otros objetos lejanos relevantes

Radiogalaxias

Galaxias con emisión radio muy intensa. Suelen ser galaxias elípticas gigantes o supergigantes en que el núcleo y una estructura en forma de dos extensos lóbulos contrapuestos son detectables en radio. Se trata de un tipo de *galaxias con núcleo activo*, llamadas así porque en ellas se libera una gran cantidad de energía (en radio, óptico y rayos X) en o cerca de su núcleo.

Virgo A	$12^h30^m.8$	$12°23'$	asociada a la galaxia M 87, la más brillante del cúmulo de Virgo, fue la primera radiofuente extragaláctica identificada.
Cygnus A	$19^h59^m.5$	$40°44'$	es la más intensa, considerada como prototipo.
3C236	$10^h06^m.0$	$34°54'$	la más extensa, con casi 5 Mpc de longitud.
Cent A	$13^h25^m.4$	$-43°02'$	la más cercana, NGC 5128, Arp 135.

Cuásares

Son objetos extragalácticos de gran luminosidad ($M_B < -23$) y de apariencia estelar cuyo corrimiento al rojo es muy elevado, encontrándose entre los objetos más alejados observados. Los primeros fueron descubiertos como radiofuentes intensas. Se encuentran en el centro de galaxias masivas activas. Exploraciones en curso han permitido detectar más de 300 000 cuásares.

3C48	$1^h37^m.7$	$33°10'$	históricamente ligado al descubrimiento de los cuásares.
3C273	$12^h29^m.1$	$2°03'$	el más intenso en radio, históricamente ligado al descubrimiento de los cuásares.
0957+561	$10^h01^m.3$	$55°54'$	primer cuásar en que se vió el fenómeno de lente gravitatoria.

Galaxias infrarrojas luminosas

Descubiertas como tales con el satélite *IRAS*, algunas de ellas (llamadas *ultraluminosas*) emiten casi tanta energía como los cuásares pero concentrada en el infrarrojo. Ello es debido a la presencia de mucho polvo interestelar y un elevado ritmo de formación estelar, a menudo causado por una fuerte interacción o un proceso de unión de un par de galaxias.

Mrk 231	$12^h56^m.2$	$56°52'$	una de las más luminosas en IR.
Arp 220	$15^h34^m.9$	$23°30'$	prototipo de galaxia IR ultraluminosa.
NGC 6240	$16^h53^m.0$	$2°24'$	prototipo de galaxia IR luminosa.

Cúmulos de galaxias

núm. Abell	nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	diámetro ($^\circ$)	z
262		01 52,8	+36 08	4	0,0163
347		02 25,8	+41 52	14	0,0184
426	Perseo	03 18,6	+41 30	14	0,0179
	Erídano	03 28,0	−20 45	7	0,0052
S 373	Fornax (Horno Q.)	03 38,5	−35 27	0,1	0,0046
548		05 47,0	−25 36		0,0416
569		07 09,2	+48 37	1,3	0,0201
779		09 19,8	+33 46	1,5	0,0225
S 636	Antlia (Máq. Neumát.)	10 30,1	−35 19		0,0093
1060	Hidra	10 36,9	−27 31		0,0126
1228		11 21,5	+34 19	1,3	0,0352
1367	León	11 44,5	+19 50	5	0,0220
	Virgo	12 26,5	+12 43	10	0,0036
3526	Centauro	12 48,9	−41 18	3	0,0114
S 714		12 51,5	−26 27		0,0109
1656	Coma (Cabellera de B.)	12 59,8	+27 58	5	0,0231
3574		13 49,2	−30 17	1	0,0160
2147		16 02,3	+15 53	2	0,0350
2151	Hércules	16 05,2	+17 44	6	0,0366
2152		16 05,4	+16 26	1	0,0410
2162		16 12,5	+29 32	6	0,0322
3627	Norma (la Regla)	16 15,5	−60 54	0,3	0,0157
3656		20 00,5	−38 31		0,0190
S 851		20 09,9	−48 23		0,0100
2634		23 38,3	+27 01	6	0,0314
2666		23 50,9	+27 08	0,8	0,0268

La última columna indica el corrimiento hacia el rojo, z, definido como: $z = (\lambda_{observada} - \lambda_{emitida})/\lambda_{emitida}$ siendo λ la longitud de onda. Según este convenio, la velocidad de recesión viene dada por:

$$V_{opt} = 3\ 10^5\ z \quad (\text{en km s}^{-1})$$

para valores de z pequeños ($z \ll 1$).

En radioastronomía el convenio para definir la velocidad de recesión es distinto, pues se da en términos de la frecuencia ν. Por ello la velocidad de recesión se relaciona con el corrimiento al rojo, z, mediante:

$$V_{rad} = \frac{V_{opt}}{1+z}$$

Supercúmulos de galaxias próximos

nombre	α_{2000} (^{h})	δ_{2000} ($^\circ$)	tamaño (Mpc)	z	comentarios
Laniakea	10,5	–46	135		Contiene los tres siguientes.
Virgo			33		Contiene el Grupo Local y el cúmulo de Virgo.
Hidra-Centauro	13,0	–32	45	0,014	El más cercano, contiene los cúmulos de Hidra (Abell 1060), Regla (3627) y Centauro (3526).
Pavo-Indio	20,6	–37	30	0,017	Pobre, contiene Abell 3656.
Perseo-Peces	02,5	+40	30	0,016	Contiene el cúmulo de Perseo (Abell 426).
Coma (Cab. de B.)	12,4	+24	30	0,021	Pequeño, contiene el cúmulo de Coma (Abell 1656) cuyo análisis reveló la existencia de la materia oscura y el del León (Abell 1367).
Fénix	00,9	–48	45	0,027	Pobre, en ocasiones se le llama también Escultor.
Ofiuco	17,2	–22	20	0,029	Situado al otro lado de la Vía Láctea.
Hércules (Norte)	16,4	+37	30	0,030	Dominado por el cúmulo Abell 2199, en ocasiones se le considera junto con Hércules (Sur).
León	11,1	+23	45	0,032	Pobre, contiene Abell 1228.
Hércules (Sur)	15,8	+16	45	0,037	Dominado por el rico cúmulo de Hércules (Abell 2151).
Shapley	13,4	–30	60	0,048	Es uno de los más densos, contiene más de 20 cúmulos, entre ellos el muy rico Abell 3558.

Tabla comparativa de distancias
a algunas galaxias, cuásares y cúmulos seleccionados

nombre (comentario)	distancia (Mpc) angular	comóvil	luminosa	z
Nube Grande de Magallanes (g. irregular, satélite de la Vía Láctea)	0,048	=	=	
Galaxia de Andrómeda (g. espiral más próxima a la Vía Láctea)	0,78	=	=	
Borde del Grupo Local	∼1,5	=	=	
Centauro A (NGC 5128, radiogalaxia muy cercana)	∼ 4	=	=	
Galaxia de los Perros de Caza, M51 (g. espiral, interacciona con NGC 5195)	∼ 7	=	=	
Cúmulo de Virgo (la Virgen) (cúmulo de galaxias más cercano)	16,5	=	=	0,004
Cúmulo de Norma (la Regla)	68	69	70	0,016
Cúmulo de Coma (la Cabellera de B.)	99	102	104	0,023
3C48 (cuásar muy intenso en radio)	1 080	1 480	2 020	0,367
ULAS J1120+0641 (el cuásar más lejano conocido)	1 095	8 850	71 600	7,085
EGSY8p7 (la galaxia más lejana conocida)	964	9 340	90 400	8,683

1 Mpc = 10^6 parsec = $3,0857\ \ 10^{22}$ m

Para valores del corrimiento al rojo z pequeños ($z < 0,1$) la distancia a galaxias o cúmulos de galaxias se obtiene aplicando la *ley de Hubble*, que relaciona la velocidad de alejamiento (recesión) con la distancia según:

$$\text{distancia (en Mpc)} = V/H_0$$

donde H_0 es la *constante de Hubble*, que tiene un valor cercano a 68 km s^{-1} Mpc^{-1} cuando la distancia se expresa en megaparsecs y la velocidad V en km s^{-1}.

Para valores de z mayores la estimación de la distancia se hace más dependiente de la densidad media del Universo, parámetro mal determinado. Para asignar distancias a los objetos en la tabla anterior se ha supuesto un universo plano ($\Omega_k = 0$) con un cociente entre la densidad de materia y la densidad crítica de $\Omega_m = 0,31$ (resultados de 2015 de la misión espacial Planck). La *distancia de diámetro angular* D_A se utiliza para convertir en tamaños lineales los tamaños angulares medidos en imágenes telescópicas. La *distancia luminosa* D_L a utilizar para convertir el brillo observado en luminosidad intrínseca viene dada por:

$$D_L = D_A\ (1+z)^2$$

La distancia medida con una unidad que se expande con el universo se denomina *comóvil* y se representa mediante D_C o χ. En un universo plano

se relaciona con las distancias anteriores según:

$$D_C = D_A\,(1+z) = D_L/(1+z)$$

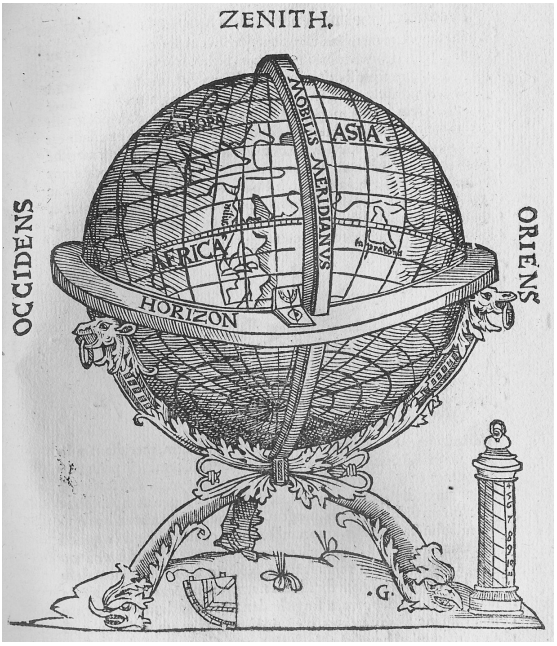
Récord de distancia

El objeto más lejano descubierto hasta el momento es la galaxia brillante GN-z11, cuyo corrimiento al rojo determinado espectroscópicamente ha dado como resultado $z = 11{,}09$, que correspondería a una distancia comóvil de 9 870 Mpc y una edad cósmica de unos 400 millones de años. La galaxia fue identificada en el año 2016 por un equipo que estudiaba datos del Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey (CANDELS) del telescopio espacial Hubble y del Great Observatories Origins Deep Survey-North (GOODS-North) del telescopio espacial Spitzer.

El siguiente objeto más lejano es la galaxia MACS1149-JD1, cuyo corrimiento al rojo ha sido determinado espectroscópicamente mediante una detección de una línea de emisión de oxígeno a $z = 9{,}11$, que correspondería a cuando el universo que conocemos tenía 550 millones de años. La observación, que fue realizada gracias a ALMA (Atacama Large Milimiter/submilimiter Array), se efectuó entre marzo de 2016 y abril de 2017. En paralelo, el VLT (Very Large Telescope), también ubicado en Chile, detectó una señal de hidrógeno neutro proveniente de la misma galaxia.

A una distancia algo menor estaría la galaxia EGSY8p7, fue descubierta en julio del 2015 y su corrimiento al rojo ha sido determinado espectroscópicamente mediante la inesperada detección de una línea espectral del hidrógeno, Lyα, a $z = 8{,}863$, correspondiente a cuando el universo que conocemos tenía sólo 575 millones de años. Sólo dos meses antes se había publicado la detección espectroscópica de un corrimiento al rojo de 7,730 para la galaxia EGS-zs8-1, que se convirtió de manera efímera en la galaxia más lejana conocida.

LA TIERRA


ZENITH.
MOBILIS AEQUIDIANVS
ASIA
AFRICA
OCCIDENS
ORIENS
HORIZON
.G.

LA TIERRA

Datos físicos, geodésicos y cartográficos
Elipsoide de referencia
Posición geográfica de capitales de provincia
Posición geográfica de observatorios

Unidades:

$\mathcal{R}_\oplus = 6378{,}1366$ km
$\mathcal{M}_\oplus = 5{,}9726\ 10^{24}$ kg
G $\mathcal{M}_\oplus = 398\,600$ km^3 s^{-2}

Datos físicos, geodésicos y cartográficos

Tamaño (IERS 2000)

Radio ecuatorial	$\mathcal{R}_\oplus$	= 6378,1366 km
Radio polar	$(1-f)\mathcal{R}_\oplus$	= 6356,7519 km
Radio medio		6371,0004 km
Achatamiento	f	= 1/298,25642 = 0,0033 5282
Excentricidad del elipsoide	e	= 0,0818 1930
	e^2	= 0,0066 9440
Superficie		510 10^6 km^2
cubierta por agua		361 10^6 km^2 (71%)
cubierta por tierra		134 10^6 km^2 (26%)
cubierta por hielo		15 10^6 km^2 (3%)
Volumen		1,0832 10^{12} km^3

Distancia al centro de la Tierra a una latitud ϕ y una altura $h = 0$:

$$r = (0{,}998\,3271 + 0{,}001\,6764\cos(2\phi) - 0{,}000\,0035\cos(4\phi))\ \mathcal{R}_\oplus$$

Masa

Masa	$\mathcal{M}_\oplus$ =	5,9726 10^{24} kg = $\mathcal{M}_\odot/332\,946$
	masa de los océanos: $\sim 2\ 10^{-4}\mathcal{M}_\oplus$	
	masa del hielo: $\sim 5\ 10^{-6}\mathcal{M}_\oplus$	
	masa de la atmósfera: $\sim 10^{-6}\mathcal{M}_\oplus$	
Densidad media		5,514 g cm^{-3}
Momento de inercia		0,329 976 5 $\mathcal{M}_\oplus\ {\mathcal{R}_\oplus}^2$
Constante gravitatoria	G$\mathcal{M}_\oplus$ =	398 600,4418 km^3 s^{-2}
Velocidad de escape		11,18 km s^{-1}
Gravedad superficial ($\phi = 45°$)		9,8062 m s^{-2}
Gravedad en Madrid		9,8000 m s^{-2}

Variación de la gravedad g con la latitud ϕ al nivel del mar ($h = 0$):

$$g_{(h=0)} = 9{,}806\,228 - 0{,}025\,930\cos(2\phi) + 0{,}000\,028\cos(4\phi)$$

Variación de la gravedad con la altura h (en metros):

$$g = g_{(h=0)} - 3{,}1\ 10^{-6}\ h$$

Momentos del campo gravitatorio:

$$J_1 = 0$$
$$J_2 = 0{,}001\,082\,6359$$
$$J_3 = -2{,}54\ 10^{-6}$$
$$J_4 = -1{,}61\ 10^{-6}$$
$$J_5 = -0{,}21\ 10^{-6}$$
$$J_6 = 0{,}65\ 10^{-6}$$

Atmósfera

Presión en la superficie	1 013 bar
Temperatura efectiva	255 K
Temperatura en la superficie	288 K
Altura de escala	8,5 km
Gases más abundantes (%):	N_2 (78,08), O_2 (20,95), Ar (0,9), H_2O ($variable < 3\%$)
Gases menos abundantes (ppm):	CO_2 (403), Ne (18), O_3 (10), He (5), CH_4 (3), Kr (1), H_2 (0,5), N_2O (0,35), CO (0,2), Xe (0,09), NO ($< 0{,}01$), C_3H_8 (0,0187), C_2H_6 (0,0136), C_2H_4 (0,0112), C_2H_2 (0,0087), SO_2 (0,0002)

Rotación

Periodo sidéreo	86 164,098 904 s = $23^{\mathrm{h}}\ 56^{\mathrm{m}}\ 4^{\mathrm{s}}{,}098\,904$
Velocidad angular	$7{,}292\,115\,10\ \ 10^{-5}$ rad s^{-1} = 15,041 0672 $''$/s
Velocidad de rotación en el ecuador	465,12 m s^{-1} = 1674 km h^{-1}
Aceleración centrífuga en el ecuador	$-0{,}034$ m s^{-2}
Parámetro de rotación	$q_r = 0{,}00345$

Otros parámetros

Información sobre la traslación de la Tierra en su órbita, parámetros fotométricos, etc, puede encontrarse en la lista de *datos solares* en el apartado *SOL* y en las tablas de datos planetarios en el capítulo *PLANETAS*.

Elipsoide de referencia

Para muchos efectos prácticos, muy especialmente en la Geodesia, la forma de la Tierra se ha aproximado por un elipsoide. Esta figura geométrica viene definida por dos valores (aparte de su orientación): el radio ecuatorial, R_e, y el achatamiento, f, calculándose el radio polar mediante: $R_p = (1 - f)\,R_e$. En la tabla siguiente se indican los parámetros de una serie de elipsoides que han sido propuestos y que, en algunos casos, su uso ha sido recomendado por distintas autoridades: Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU), Sistema Geodésico de Referencia (GRS), Sistema Geodésico Mundial (WGS), Servicio Internacional de la Rotación Terrestre (IERS) y otros.

año	nombre	radio ecuat. R_e (m)	radio polar R_p (m)	inverso del achat., $1/f$
1738	Maupertuis	6397300	6363806,283	191
1830	Airy	6377563,396	6356256,909	299,3249646
1841	Bessel	6377397,155	6356078,963	299,1528128
1860	Struve	6378298,3	6357018,2	299,73
1866	Clarke (Norteamérica)	6378206,4	6356583,8	294,9787
1880	Clarke (Africa)	6378249,145	6356514,966	293,4663
1906	Helmert	6378200	6356818	298,3
1909	Internacional (Hayford)	6378388	6356912	297
1942	Krassovsky	6378245	6356863	298,3
1964	IAU	6378160	6356775	298,25
1967	Internacional nuevo	6378157,5	6356772,2	298,2496
1967	GRS	6378160	6356774,516	298,247167427
1969	Sudamericano	6378160	6356775,719	298,25
1972	WGS	6378135	6356750,52	298,26
1976	IAU	6378140	6356755,29	298,257
1980	GRS	6378137	6356752,3141	298,257222101
1983	MERIT	6378137	6356752	298,257
1984	WGS	6378137	6356752,3	298,257223563
1989	IERS	6378136	6356751	298,257
2000	IERS	6378136,6	6356751,9	298,25642

La excentricidad del elipsoide viene dada por:

$$e = \sqrt{f(2-f)}$$

El radio R de una esfera de igual volumen que un elipsoide definido por su radio ecuatorial R_e y un achatamiento f viene dado por:

$$R = R_e \sqrt[3]{1-f}$$

La relación entre la latitud geodésica ϕ_{gd} y la geocéntrica ϕ_{gc} en un elipsoide de achatamiento f viene dada por:

$$\tan\phi_{gc} = (1-f)^2 \tan\phi_{gd}$$

La discrepancia máxima entre ellas, para el caso de la Tierra, no supera los $12'$. Las coordenadas geodésicas (referidas a un elipsoide) y las astronómicas (referidas a la vertical en cada lugar) pueden diferir en algunos segundos de arco.

Tomando como referencia el elipsoide IERS 2000 se deduce:

circunferencia ecuatorial	40 075 014 m
circunferencia polar	40 007 832 m
valor medio del grado de meridiano	111 133 m
radio de la esfera equivolumen	6 371 000 m

Longitud en metros de 1° de paralelo
para las latitudes de España considerando el elipsoide IERS 2000

latitud, ϕ	0′	10′	20′	30′	40′	50′
35°	91288	91102	90916	90729	90541	90353
36°	90163	89973	89782	89591	89398	89205
37°	89011	88817	88621	88425	88228	88030
38°	87832	87633	87433	87232	87031	86829
39°	86626	86422	86218	86013	85807	85601
40°	85393	85185	84977	84767	84557	84346
41°	84135	83922	83709	83496	83281	83066
42°	82850	82634	82416	82199	81980	81761
43°	81540	81320	81098	80876	80653	80430
44°	80206	79981	79755	79529	79302	79075
45°	78846	78617	78388	78158	77927	77695

Longitud en metros de arcos de meridiano y de paralelo
para las latitudes de España considerando el elipsoide IERS 2000

latitud	sobre el paralelo			sobre el meridiano		
ϕ (°)	1′	1″	1^s	1°	1′	1″
35°	1521	25,4	380,4	110941	1849	30,8
36°	1503	25,0	375,7	110959	1849	30,8
37°	1484	24,7	370,9	110978	1850	30,8
38°	1464	24,4	366,0	110996	1850	30,8
39°	1444	24,1	360,9	111015	1850	30,8
40°	1423	23,7	355,8	111035	1851	30,8
41°	1402	23,4	350,6	111054	1851	30,8
42°	1381	23,0	345,2	111073	1851	30,9
43°	1359	22,7	339,8	111093	1852	30,9
44°	1337	22,3	334,2	111112	1852	30,9
45°	1314	21,9	328,5	111132	1852	30,9

Se obtienen los siguientes valores a la latitud de Madrid:

1° sobre el meridiano	111042 m
1′ sobre el meridiano	1850,7 m
1″ sobre el meridiano	30,845 m
1° sobre el paralelo	84883 m
1′ sobre el paralelo	1414,7 m
1^s sobre el paralelo	353,68 m
1″ sobre el paralelo	23,579 m

Posición geográfica de las capitales de provincia, ciudades de más de 170 000 habitantes, Ceuta y Melilla

ciudad	latitud ϕ (° ′ ″)	longitud (+E,–O) (° ′ ″)		(^{h} ^{m} ^{s})	altitud (m)
Albacete	38 59 49	01 51 17	O	-07^m25^s	686
Alcalá de Henares	40 28 53	03 22 05	O	-13^m28^s	588
Alcorcón	40 21 10	03 49 38	O	-15^m18^s	718
Alicante / Alacant	38 20 48	00 28 53	O	-01^m56^s	7
Almería	36 50 23	02 27 59	O	-09^m52^s	17
Avila	40 39 26	04 41 47	O	-18^m47^s	1131
Badajoz	38 53 00	06 57 59	O	-27^m52^s	209
Badalona	41 27 13	02 14 51	E	$+08^m59^s$	24
Barcelona	41 23 07	02 10 40	E	$+08^m43^s$	12
Bilbao	43 15 30	02 55 21	O	-11^m41^s	6
Burgos	42 20 29	03 42 12	O	-14^m49^s	861
Cáceres	39 28 28	06 22 11	O	-25^m29^s	459
Cádiz	36 32 00	06 17 50	O	-25^m11^s	14
Cartagena	37 36 05	00 58 51	O	-03^m55^s	69
Castellón de la Plana	39 59 14	00 02 11	O	-9^s	29
Ceuta	35 53 22	05 18 20	O	-21^m15^s	40
Ciudad Real	38 59 17	03 55 48	O	-15^m43^s	626
Córdoba	37 52 51	04 46 45	O	-19^m07^s	106
Coruña, A (La Coruña)	43 22 16	08 23 22	O	-33^m33^s	26
Cuenca	40 04 40	02 07 49	O	-08^m31^s	1001
Donostia-San Sebastián	43 19 05	01 58 49	O	-07^m55^s	8
Elche / Elx	38 16 06	00 41 48	O	-02^m47^s	86
Fuenlabrada	40 17 00	03 47 22	O	-15^m09^s	664
Getafe	40 18 19	03 43 41	O	-14^m54^s	559
Gijón	43 32 25	05 39 29	O	-22^m38^s	4
Girona (Gerona)	41 59 18	02 49 37	E	$+11^m18^s$	98
Granada	37 10 40	03 35 55	O	-14^m24^s	685
Guadalajara	40 38 08	03 09 41	O	-12^m39^s	685
Hospitalet de Llobregat, L'	41 21 39	02 06 00	E	$+08^m24^s$	4
Huelva	37 15 41	06 56 56	O	-27^m48^s	26
Huesca	42 08 30	00 24 26	O	-01^m38^s	488
Jaén	37 45 59	03 47 21	O	-15^m09^s	574
Jerez de la Frontera	36 40 52	06 08 10	O	-24^m33^s	87
León	42 36 01	05 33 56	O	-22^m16^s	838
Leganés	40 19 59	03 45 55	O	-15^m04^s	668
Logroño	42 28 04	02 26 39	O	-09^m47^s	384
Lugo	43 00 38	07 33 23	O	-30^m14^s	454
Lleida (Lérida)	41 37 07	00 37 40	E	$+02^m31^s$	222

Posición geográfica de las capitales de provincia, ciudades de más de 170 000 habitantes, Ceuta y Melilla

ciudad	latitud ϕ (° ′ ″)	longitud (+E,–O) (° ′ ″)		(^{h} ^{m} ^{s})	altitud (m)
Madrid	40 24 35	03 41 11	O	$-14^{m}45^{s}$	655
Málaga	36 43 18	04 25 07	O	$-17^{m}40^{s}$	8
Melilla	35 17 46	02 56 28	O	$-11^{m}45^{s}$	15
Móstoles	40 19 29	03 51 49	O	$-15^{m}27^{s}$	661
Murcia	37 59 09	01 07 38	O	$-04^{m}31^{s}$	42
Ourense (Orense)	42 20 15	07 51 43	O	$-31^{m}27^{s}$	139
Oviedo	43 21 48	05 50 32	O	$-23^{m}22^{s}$	232
Palencia	42 00 32	04 31 59	O	$-18^{m}08^{s}$	734
Palma de Mallorca	39 34 36	02 39 11	E	$+10^{m}37^{s}$	33
Palmas de G. C., Las	28 06 04	15 24 45	O	$-1^{h}1^{m}39^{s}$	13
Pamplona / Iruña	42 49 15	01 38 25	O	$-06^{m}34^{s}$	449
Pontevedra	42 26 05	08 38 46	O	$-34^{m}35^{s}$	20
Sabadell	41 32 53	02 06 33	E	$+08^{m}26^{s}$	190
Salamanca	40 57 43	05 39 56	O	$-22^{m}40^{s}$	803
Sta. Cruz de Tenerife	28 27 53	16 16 48	O	$-1^{h}5^{m}07^{s}$	5
Santander	43 27 51	03 48 14	O	$-15^{m}13^{s}$	15
Segovia	40 57 05	04 07 29	O	$-16^{m}30^{s}$	1002
Sevilla	37 23 15	05 59 29	O	$-23^{m}58^{s}$	10
Soria	41 46 10	02 27 56	O	$-09^{m}52^{s}$	1064
Terrassa (Tarrasa)	41 33 48	02 00 48	E	$+08^{m}03^{s}$	286
Tarragona	41 07 13	01 15 34	E	$+05^{m}02^{s}$	69
Teruel	40 20 43	01 06 29	O	$-04^{m}26^{s}$	913
Toledo	39 51 31	04 01 23	O	$-16^{m}06^{s}$	512
Valencia	39 28 35	00 22 29	O	$-01^{m}30^{s}$	16
Valladolid	41 39 12	04 43 19	O	$-18^{m}53^{s}$	692
Vigo	42 14 26	08 43 29	O	$-34^{m}54^{s}$	28
Vitoria-Gasteiz	42 51 05	02 40 17	O	$-10^{m}41^{s}$	550
Zamora	41 30 00	05 45 13	O	$-23^{m}01^{s}$	649
Zaragoza	41 39 28	00 52 43	O	$-03^{m}31^{s}$	200

Las coordenadas geográficas que figuran en esta tabla están referidas al Elipsoide Internacional de Hayford, con *datum* en Potsdam (Alemania). La longitud se da con respecto al meridiano de Greenwich; a efectos de cálculo es positiva al Este de dicho meridiano y negativa al Oeste de él. En el caso de las capitales de provincia, el lugar exacto a que se refiere la posición indicada suele ser una torre de la catedral o de una iglesia muy representativa de la ciudad. En el caso de Madrid se refieren a las coordenadas del edificio Villanueva en el Observatorio Astronómico de Madrid.

Posiciones geográficas de observatorios astronómicos

Observatorios situados en España

observatorio	latitud	longitud	altura
R.M. Aller de Santiago de Compostela	$+42^\circ 52'.5$	$-00^h 34^m 14^s$	240
Ametlla de Mar (Tarragona)	$+40^\circ 55'.8$	$+00^h 47^m 35^s$	
Calar Alto (Almería)	$+37^\circ 13'.8$	$-00^h 10^m 09^s$	2168
La Cañada (Avila)	$+40^\circ 36'.3$	$-00^h 17^m 58^s$	1400
Consell (Mallorca)	$+39^\circ 39'.2$	$+00^h 11^m 70^s$	130
Ebro (Tarragona)	$+40^\circ 49'.2$	$+00^h 01^m 58^s$	50
Fabra (Barcelona)	$+41^\circ 25'.0$	$+00^h 08^m 30^s$	420
Izaña (I. Tenerife)	$+28^\circ 17'.5$	$-01^h 05^m 59^s$	2038
Madrid	$+40^\circ 24'.5$	$-00^h 14^m 45^s$	655
Mallorca	$+39^\circ 38'.6$	$+00^h 11^m 48^s$	160
Pico de Veleta (Granada)	$+37^\circ 04'.1$	$-00^h 13^m 36^s$	2870
Piera (Barcelona)	$+41^\circ 32'.4$	$+00^h 07^m 04^s$	390
Robledo de Chavela (Madrid)	$+40^\circ 25'.6$	$-00^h 16^m 60^s$	815
Roque de los Muchachos (I. La Palma)	$+28^\circ 45'.5$	$-01^h 11^m 30^s$	2327
La Sagra (Granada)	$+37^\circ 58'.9$	$-00^h 10^m 16^s$	1530
San Fernando (Cádiz)	$+36^\circ 28'.0$	$-00^h 24^m 49^s$	30
Sierra Nevada (Granada)	$+37^\circ 03'.8$	$-00^h 13^m 32^s$	2896
Universidad de Barcelona	$+41^\circ 23'.2$	$+00^h 08^m 28^s$	97
Universidad Complutense (Madrid)	$+40^\circ 27'.1$	$-00^h 14^m 54^s$	640
Yebes (Guadalajara)	$+40^\circ 31'.4$	$-00^h 12^m 21^s$	931

La anterior lista de observatorios incluye aquellos que están dotados de telescopios profesionales nacionales o extranjeros situados en el país, los observatorios incluídos en la lista de códigos de la Unión Astronómica Internacional (UAI) y observatorios universitarios con fines educativos.

La larga lista de observatorios antiguos y modernos que se ha incluido en los Anuarios anteriores, hasta la edición de 2007, ha sido sustituida por una lista parcial que incluye los principales observatorios del mundo (actuales e históricos) situados en la superficie terrestre. El número de observatorios en el mundo crece constantemente, por lo que una lista con pretensiones de completitud necesita una actualización continua, que es más fácil de mantener por medios electrónicos. Al generalizarse el acceso a internet, la consulta de listas actualizadas y ordenadas por distintos criterios es cada vez más fácil. A continuación indicamos enlaces a listas especialmente útiles y completas, que incluyen más de 2 000 observatorios situados en más de 50 países. Búsqueda de las coordenadas de observatorios:
`http://www.eso.org/~ndelmott/obs_sites.html`
Listas de códigos de observatorios atribuidos por la UAI/IAU:
`http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_observatory_codes`
`http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/ObsCodes.html`

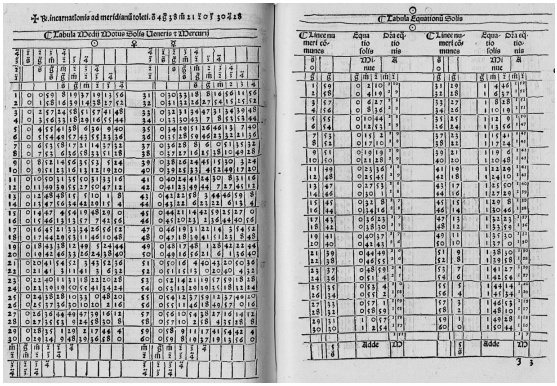
En esta última página web, la latitud geodésica ϕ_{gd} de los observatorios se obtiene a partir de los valores tabulados del seno y coseno de la latitud geocéntrica ϕ_{gc} y del achatamiento f del elipsoide:

$$\tan\phi_{gd} = \frac{\tan\phi_{gc}}{(1-f)^2} = 1{,}0067395\,\frac{\operatorname{sen}\phi_{gc}}{\cos\phi_{gc}}$$

Observatorios en el resto del mundo

observatorio	latitud	longitud	altura
ALMA, Atacama (Chile)	$-23°00'3$	$-04^h31^m02^s$	5080
Arecibo (Puerto Rico)	$+18°20'8$	$-04^h27^m01^s$	496
ATCA, Narrabri (Australia)	$-30°18'9$	$+09^h58^m12^s$	208
Cerro Pachón (Chile)	$-30°14'3$	$-04^h42^m56^s$	2738
Cerro Paranal (Chile)	$-24°37'6$	$-04^h41^m37^s$	2635
Effelsberg (Alemania)	$+50°31'6$	$+00^h27^m32^s$	369
Green Bank (EE.UU.)	$+38°25'8$	$-05^h19^m22^s$	836
Greenwich (R.U.)	$+51°28'6$	$00^h00^m00^s$	47
HET, McDonald O. (EE.UU.)	$+30°40'9$	$-06^h56^m04^s$	2026
Jodrell Bank (R.U.)	$+53°14'2$	$-00^h09^m14^s$	78
Kitt Peak (EE.UU.)	$+31°42'5$	$-07^h26^m23^s$	2120
La Silla (Chile)	$-29°15'4$	$-04^h42^m55^s$	2347
Las Campanas (Chile)	$-29°00'5$	$-04^h42^m48^s$	2282
Lick (EE.UU.)	$+37°20'6$	$-08^h06^m33^s$	1283
LOFAR (Holanda)	$+52°54'5$	$+00^h27^m29^s$	
Mauna Kea (EE.UU.)	$+19°49'7$	$-10^h21^m53^s$	4200
MERLIN (R.U.)	$+53°14'2$	$-00^h09^m14^s$	78
Meudon (Francia)	$+48°48'3$	$+00^h08^m56^s$	162
Monte Graham (EE.UU.)	$+32°42'1$	$-07^h19^m34^s$	3182
Monte Hopkins, F.L. Whipple O. (EEUU)	$+31°41'3$	$-07^h23^m32^s$	2606
Monte Palomar (EE.UU.)	$+33°21'4$	$-07^h47^m27^s$	1706
Monte Pastukhov (Rusia)	$+43°39'2$	$+02^h45^m46^s$	2070
Monte Wilson (EE.UU.)	$+34°13'3$	$-07^h52^m15^s$	1742
Nançay (Francia)	$+47°22'8$	$+00^h08^m56^s$	162
Narayangaon, Pune (India)	$+19°05'5$	$+04^h56^m12^s$	650
París (Francia)	$+48°50'0$	$+00^h09^m21^s$	67
Parkes (Australia)	$-33°00'0$	$+09^h53^m03^s$	392
Pico Sacramento y Punto Apache (EEUU)	$+32°46'8$	$-07^h03^m17^s$	2788
Plateau de Bure (Francia)	$+44°38'0$	$+00^h23^m38^s$	2552
Potsdam (Alemania)	$+52°25'4$	$+00^h52^m03^s$	46
Sierra Negra (Méjico)	$+18°59'1$	$-06^h29^m16^s$	4580
Sutherland (Sudáfrica)	$-32°22'8$	$+01^h23^m47^s$	1771
VLA, Socorro (EEUU)	$+34°04'7$	$-07^h10^m28^s$	2124
Yerkes (EEUU)	$+42°34'2$	$-05^h54^m14^s$	334

TABLAS COMPLEMENTARIAS



TABLAS COMPLEMENTARIAS

Corrección (aproximada y rigurosa) de la precesión
Corrección de la nutación y la aberración
Corrección de la refracción atmosférica
Constantes físicas y astronómicas
Prefijos del Sistema Internacional de Unidades
Método de interpolación
Moléculas detectadas en el medio interestelar

Corrección de las coordenadas por precesión

La lenta precesión del eje de rotación de la Tierra hace que las coordenadas celestes que se dan para un astro (tal como las coordenadas ecuatoriales α y δ) se refieran siempre a una posición dada de tal eje, por ejemplo la que tenía en la época J2000.0. Para conocer las coordenadas en otro instante es necesario aplicar una corrección. En el caso de las coordenadas ecuatoriales, la corrección anual viene dada, en primera aproximación, por:

$$\begin{aligned} P_\alpha &= 3^s,0750 + 1^s,3362 \operatorname{sen}\alpha \tan\delta \\ P_\delta &= 20'',043 \cos\alpha \end{aligned}$$

expresiones en las que la ascensión recta, α, debe ser expresada en grados. Dadas unas coordenadas α_0, δ_0 referidas a una época t_0, las coordenadas α_1, δ_1 referidas a una época t_1 se obtienen mediante:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 + (t_1 - t_0)\, P_\alpha \\ \delta_1 &= \delta_0 + (t_1 - t_0)\, P_\delta \end{aligned}$$

donde típicamente $t_0 = 2000$.

Precesión anual en declinación

ascensión recta, α		P_δ	ascensión recta, α		P_δ
00 00	24 00	20″,04	12 00	12 00	−20″,04
00 20	23 40	19″,96	12 20	11 40	−19″,96
00 40	23 20	19″,73	12 40	11 20	−19″,73
01 00	23 00	19″,36	13 00	11 00	−19″,36
01 20	22 40	18″,83	13 20	10 40	−18″,83
01 40	22 20	18″,16	13 40	10 20	−18″,16
02 00	22 00	17″,35	14 00	10 00	−17″,35
02 20	21 40	16″,41	14 20	09 40	−16″,41
02 40	21 20	15″,35	14 40	09 20	−15″,35
03 00	21 00	14″,17	15 00	09 00	−14″,17
03 20	20 40	12″,88	15 20	08 40	−12″,88
03 40	20 20	11″,49	15 40	08 20	−11″,49
04 00	20 00	10″,02	16 00	08 00	−10″,02
04 20	19 40	08″,47	16 20	07 40	−08″,47
04 40	19 20	06″,85	16 40	07 20	−06″,85
05 00	19 00	05″,18	17 00	07 00	−05″,18
05 20	18 40	03″,48	17 20	06 40	−03″,48
05 40	18 20	01″,74	17 40	06 20	−01″,74
06 00	18 00	00″,00	18 00	06 00	00″,00

Precesión anual en ascensión recta

si $\delta \geq 0$		P_α								si $\delta \leq 0$	
α		*declinación*, δ								α	
h m	h m	0°	10°	20°	30°	40°	50°	55°	60°	h m	h m
18 00	18 00	3ˢ,07	2ˢ,83	2ˢ,58	2ˢ,30	1ˢ,95	1ˢ,48	1ˢ,16	0ˢ,76	06 00	06 00
18 20	17 40	3ˢ,07	2ˢ,84	2ˢ,59	2ˢ,30	1ˢ,95	1ˢ,48	1ˢ,17	0ˢ,76	06 20	05 40
18 40	17 20	3ˢ,07	2ˢ,84	2ˢ,59	2ˢ,31	1ˢ,97	1ˢ,50	1ˢ,19	0ˢ,79	06 40	05 20
19 00	17 00	3ˢ,07	2ˢ,84	2ˢ,60	2ˢ,32	1ˢ,99	1ˢ,53	1ˢ,23	0ˢ,83	07 00	05 00
19 20	16 40	3ˢ,07	2ˢ,85	2ˢ,61	2ˢ,35	2ˢ,02	1ˢ,57	1ˢ,28	0ˢ,90	07 20	04 40
19 40	16 20	3ˢ,07	2ˢ,86	2ˢ,63	2ˢ,37	2ˢ,05	1ˢ,63	1ˢ,34	0ˢ,97	07 40	04 20
20 00	16 00	3ˢ,07	2ˢ,87	2ˢ,65	2ˢ,40	2ˢ,10	1ˢ,69	1ˢ,42	1ˢ,07	08 00	04 00
20 20	15 40	3ˢ,07	2ˢ,88	2ˢ,67	2ˢ,44	2ˢ,15	1ˢ,77	1ˢ,51	1ˢ,17	08 20	03 40
20 40	15 20	3ˢ,07	2ˢ,89	2ˢ,70	2ˢ,48	2ˢ,21	1ˢ,85	1ˢ,61	1ˢ,30	08 40	03 20
21 00	15 00	3ˢ,07	2ˢ,90	2ˢ,73	2ˢ,52	2ˢ,28	1ˢ,94	1ˢ,72	1ˢ,43	09 00	03 00
21 20	14 40	3ˢ,07	2ˢ,92	2ˢ,76	2ˢ,57	2ˢ,35	2ˢ,05	1ˢ,84	1ˢ,58	09 20	02 40
21 40	14 20	3ˢ,07	2ˢ,93	2ˢ,79	2ˢ,63	2ˢ,43	2ˢ,16	1ˢ,98	1ˢ,74	09 40	02 20
22 00	14 00	3ˢ,07	2ˢ,95	2ˢ,83	2ˢ,68	2ˢ,51	2ˢ,27	2ˢ,12	1ˢ,91	10 00	02 00
22 20	13 40	3ˢ,07	2ˢ,97	2ˢ,86	2ˢ,74	2ˢ,60	2ˢ,40	2ˢ,26	2ˢ,09	10 20	01 40
22 40	13 20	3ˢ,07	2ˢ,99	2ˢ,90	2ˢ,81	2ˢ,69	2ˢ,53	2ˢ,42	2ˢ,28	10 40	01 20
23 00	13 00	3ˢ,07	3ˢ,01	2ˢ,94	2ˢ,87	2ˢ,78	2ˢ,66	2ˢ,58	2ˢ,47	11 00	01 00
23 20	12 40	3ˢ,07	3ˢ,03	2ˢ,99	2ˢ,94	2ˢ,88	2ˢ,79	2ˢ,74	2ˢ,67	11 20	00 40
23 40	12 20	3ˢ,07	3ˢ,05	3ˢ,03	3ˢ,00	2ˢ,97	2ˢ,93	2ˢ,90	2ˢ,87	11 40	00 20
00 00	12 00	3ˢ,07	3ˢ,07	3ˢ,07	3ˢ,07	3ˢ,07	3ˢ,07	3ˢ,07	3ˢ,07	12 00	24 00
00 20	11 40	3ˢ,07	3ˢ,09	3ˢ,11	3ˢ,14	3ˢ,17	3ˢ,21	3ˢ,24	3ˢ,27	12 20	23 40
00 40	11 20	3ˢ,07	3ˢ,11	3ˢ,15	3ˢ,20	3ˢ,26	3ˢ,35	3ˢ,40	3ˢ,47	12 40	23 20
01 00	11 00	3ˢ,07	3ˢ,13	3ˢ,20	3ˢ,27	3ˢ,36	3ˢ,48	3ˢ,56	3ˢ,67	13 00	23 00
01 20	10 40	3ˢ,07	3ˢ,15	3ˢ,24	3ˢ,33	3ˢ,45	3ˢ,61	3ˢ,72	3ˢ,86	13 20	22 40
01 40	10 20	3ˢ,07	3ˢ,17	3ˢ,28	3ˢ,40	3ˢ,54	3ˢ,74	3ˢ,88	4ˢ,05	13 40	22 20
02 00	10 00	3ˢ,07	3ˢ,19	3ˢ,31	3ˢ,46	3ˢ,63	3ˢ,87	4ˢ,02	4ˢ,23	14 00	22 00
02 20	09 40	3ˢ,07	3ˢ,21	3ˢ,35	3ˢ,51	3ˢ,71	3ˢ,98	4ˢ,16	4ˢ,40	14 20	21 40
02 40	09 20	3ˢ,07	3ˢ,22	3ˢ,38	3ˢ,57	3ˢ,79	4ˢ,09	4ˢ,30	4ˢ,56	14 40	21 20
03 00	09 00	3ˢ,07	3ˢ,24	3ˢ,41	3ˢ,62	3ˢ,86	4ˢ,20	4ˢ,42	4ˢ,71	15 00	21 00
03 20	08 40	3ˢ,07	3ˢ,25	3ˢ,44	3ˢ,66	3ˢ,93	4ˢ,29	4ˢ,53	4ˢ,84	15 20	20 40
03 40	08 20	3ˢ,07	3ˢ,26	3ˢ,47	3ˢ,70	3ˢ,99	4ˢ,37	4ˢ,63	4ˢ,97	15 40	20 20
04 00	08 00	3ˢ,07	3ˢ,27	3ˢ,49	3ˢ,74	4ˢ,04	4ˢ,45	4ˢ,72	5ˢ,07	16 00	20 00
04 20	07 40	3ˢ,07	3ˢ,28	3ˢ,51	3ˢ,77	4ˢ,09	4ˢ,51	4ˢ,80	5ˢ,17	16 20	19 40
04 40	07 20	3ˢ,07	3ˢ,29	3ˢ,53	3ˢ,79	4ˢ,12	4ˢ,57	4ˢ,86	5ˢ,24	16 40	19 20
05 00	07 00	3ˢ,07	3ˢ,30	3ˢ,54	3ˢ,82	4ˢ,15	4ˢ,61	4ˢ,91	5ˢ,31	17 00	19 00
05 20	06 40	3ˢ,07	3ˢ,30	3ˢ,55	3ˢ,83	4ˢ,17	4ˢ,64	4ˢ,95	5ˢ,35	17 20	18 40
05 40	06 20	3ˢ,07	3ˢ,30	3ˢ,55	3ˢ,84	4ˢ,19	4ˢ,66	4ˢ,97	5ˢ,38	17 40	18 20
06 00	06 00	3ˢ,07	3ˢ,31	3ˢ,56	3ˢ,84	4ˢ,19	4ˢ,66	4ˢ,98	5ˢ,38	18 00	18 00

Cálculo riguroso de la precesión

En este apartado se describe el método general de cálculo riguroso de los efectos de la precesión a las coordenadas de un astro entre una cierta época origen (dada por DJ_{origen}) y una cierta fecha o época final (dada por DJ_{fecha}). Es decir, este método es aplicable incluso en aquellos casos en que la época a que se refieren las coordenadas originales no es la época J2000, sino otra cualquiera (J1900, B1950, etc). Algunas épocas típicas vienen dadas en el apartado **Día Juliano** en *CALENDARIOS*).

1) Cálculo de los argumentos temporales **T** y **t**, dados en siglos julianos:

T = (época origen$-2000.0)/100 = (DJ_{origen} - 2\,451\,545{,}0)/36525$
t = $(DJ_{fecha} - DJ_{origen})/36525$

2) Cálculo de los coeficientes para la época origen:

$$\zeta_1 = 2\,306{,}''218\,1 + 1{,}''396\,56\,T - 0{,}''000\,139\,T^2$$
$$\zeta_2 = 0{,}''301\,88 - 0{,}''000\,344\,T$$
$$\zeta_3 = 0{,}''017\,998$$
$$z_1 = \zeta_1$$
$$z_2 = 1{,}''094\,68 + 0{,}''000\,066\,T$$
$$z_3 = 0{,}''018\,203$$
$$\theta_1 = 2\,004{,}''310\,9 - 0{,}''853\,30\,T - 0{,}''000\,217\,T^2$$
$$\theta_2 = -0{,}''426\,65 - 0{,}''000\,217\,T$$
$$\theta_3 = -0{,}''041\,833$$

3) Cálculo de los ángulos auxiliares para la fecha:

$$\zeta = \zeta_1\,t + \zeta_2\,t^2 + \zeta_3\,t^3$$
$$z = z_1\,t + z_2\,t^2 + z_3\,t^3$$
$$\theta = \theta_1\,t + \theta_2\,t^2 + \theta_3\,t^3$$

4) Transformación de las coordenadas ecuatoriales de la época origen (α_0, δ_0) a la fecha (α, δ) por efecto de la precesión. Es necesario expresar todos los ángulos en grados (o en radianes). La declinación δ se determina a partir de la ecuación:

$$\operatorname{sen}\delta = \cos(\alpha_0 + \zeta)\operatorname{sen}\theta\cos\delta_0 + \cos\theta\operatorname{sen}\delta_0$$

y la ascensión recta α se determina, en el cuadrante adecuado, a partir de

$$\operatorname{sen}(\alpha - z) = \operatorname{sen}(\alpha_0 + \zeta)\cos\delta_0/\cos\delta$$
$$\cos(\alpha - z) = \frac{\cos(\alpha_0 + \zeta)\cos\theta\cos\delta_0 - \operatorname{sen}\theta\operatorname{sen}\delta_0}{\cos\delta}$$

Corrección de las coordenadas por nutación

La corrección por precesión da como resultado las coordenadas referidas al ecuador y equinoccio medios de la fecha considerada. Si se desea obtener las coordenadas referidas al ecuador y equinoccio *verdaderos* de la fecha es necesaria una corrección adicional, de pequeña magnitud, que recibe el nombre de *corrección por nutación*. Tal corrección involucra una gran cantidad de términos de corto periodo. Si se considera solamente el más significativo (ligado a la longitud media del nodo lunar, $\Omega_{(}$), podemos expresar la corrección por nutación a aplicar a las coordenadas ecuatoriales (α, δ) con las siguientes fórmulas:

$$\Delta\alpha = Ec.Eq. - (0^{s},46 \operatorname{sen}\Omega_{(} \operatorname{sen}\alpha + 0^{s},61 \cos\Omega_{(} \cos\alpha) \tan\delta$$
$$\Delta\delta = 9'',2 \cos\Omega_{(} \operatorname{sen}\alpha - 6'',8 \operatorname{sen}\Omega_{(} \cos\alpha$$

donde *Ec.Eq.* es el valor de la ecuación de los equinoccios para la fecha (ver las tablas en *TIEMPOS*), y $\Omega_{(}$ viene dada para este año en la primera página de **Datos lunares** o bien se puede calcular a partir del día juliano *DJ* mediante:

$$\Omega_{(} = 125^{\circ},045 - 0^{\circ},0529\,5376\ (DJ - 2451545)$$

Corrección de las coordenadas por aberración ánua

Una corrección adicional debe ser tenida en cuenta si se requiere una precisión en las coordenadas del orden del segundo de arco. El fenómeno que hace que la posición geométrica y la observada de un astro no coincidan se denomina *aberración* y es debido al movimiento de la Tierra y a la finitud de la velocidad de la luz. Cuando se tiene en cuenta exclusivamente el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, el fenómeno se denomina *aberración ánua*. En primera aproximación, prescindiendo de la pequeña excentricidad de la órbita terrestre, la corrección a las coordenadas ecuatoriales (α, δ) viene dada por:

$$\Delta\alpha = -(1^{s},366 \operatorname{sen}L_{\odot} \operatorname{sen}\alpha + 1^{s},253 \cos L_{\odot} \cos\alpha)/\cos\delta$$
$$\Delta\delta = 18'',80 \operatorname{sen}\delta \operatorname{sen}\alpha \cos L_{\odot} - 20'',49 \operatorname{sen}\delta \cos\alpha \operatorname{sen}L_{\odot} - 8'',15 \cos\delta \cos L_{\odot}$$

donde la longitud media del Sol $L_{\odot}$ viene dada para este año en la primera página de **Datos solares** (ver *SOL*) o bien de modo general, en función del día juliano *DJ*, mediante:

$$L_{\odot} = 280^{\circ},466 + 0^{\circ},9856\,4736\ (DJ - 2451545)$$

Corrección de refracción atmosférica

El índice de refracción no unidad de la atmósfera combinado con su geometría no planoparalela hace que la altura sobre el horizonte a la que se observa un astro no coincida con su altura "verdadera" (que se deduce de las efemérides o que se observaría si no existiese atmósfera). El efecto de la refracción depende fuertemente de la altura observada y, en mucho menor grado, de la temperatura y presión ambientes y de la longitud de onda de la observación.

En la página siguiente se encuentra el valor de la corrección por refracción, *R*, a aplicar en función de la altura observada, siguiendo el criterio:

altura verdadera = altura observada − Refracción
distancia cenital verdadera = distancia cenital observada + Refracción

En la primera tabla la altura observada figura grado a grado. En la segunda tabla la altura observada se da cada diez minutos de arco. Estas tablas han sido calculadas con los siguientes parámetros:

longitud de onda, $\lambda_0 = 0{,}575\ \mu m$
presión atmosférica, $P_0 = 1000$ mbar
temperatura ambiente, $T_0 = 10°C$

Los factores de corrección a emplear en caso de que tales condiciones de contorno sean distintas son, respectivamente y en primera aproximación:

$$\text{corrección en } \lambda: \text{ multiplicar por } \left[0{,}983 + \left(\frac{0{,}075}{\lambda}\right)^2\right]$$

$$\text{corrección en la presión}: \text{ multiplicar por } \frac{P}{1000}$$

$$\text{corrección en la temperatura}: \text{ multiplicar por } \frac{283}{273+T}$$

Fórmula aproximada para determinar la corrección por refracción

La sencilla fórmula siguiente (de Bennett) da valores adecuados de la corrección *R* salvo en trabajos que requieran una elevada precisión:

$$R = \frac{60''}{\tan\left(h + \frac{7{,}31}{h+4{,}4}\right)} \quad \frac{0{,}28P}{273+T}$$

siendo *h* la altura observada. Esta fórmula lleva incluidos los parámetros atmosféricos (*P* en milibares y *T* en grados centígrados). Si éstos son próximos a los normales antes indicados o no se conocen, la última fracción se puede sustituir por la unidad.

Corrección de la refracción atmosférica media, R_0
con entradas cada grado para alturas entre 20°y 90°
($\lambda = 0,575\,\mu$m, P=1000 mbar, T=10°C)

alt. obs.	0° (″)	1° (″)	2° (″)	3° (″)	4° (″)	5° (″)	6° (″)	7° (″)	8° (″)	9° (″)
80°	10,1	9,1	8,1	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
70°	20,9	19,8	18,6	17,5	16,5	15,4	14,3	13,3	12,2	11,2
60°	33,1	31,8	30,5	29,2	28,0	26,8	25,5	24,4	23,2	22,0
50°	48,1	46,4	44,8	43,2	41,7	40,2	38,7	37,3	35,8	34,5
40°	68,3	65,9	63,7	61,5	59,4	57,3	55,4	53,5	51,6	49,9
30°	99,1	95,2	91,6	88,1	84,9	81,8	78,8	76,0	73,3	70,8
20°	156,3	148,4	141,1	134,4	128,2	122,4	117,1	112,2	107,5	103,2

Corrección de la refracción atmosférica media, R_0
con entradas cada 10′ para alturas entre 0°y 20°
($\lambda = 0,575\,\mu$m, P=1000 mbar, T=10°C)

altura observada	0′ (′ ″)	10′ (′ ″)	20′ (′ ″)	30′ (′ ″)	40′ (′ ″)	50′ (′ ″)
19°	2 45	2 44	2 42	2 41	2 39	2 38
18°	2 55	2 53	2 51	2 50	2 48	2 47
17°	3 05	3 04	3 02	3 00	2 58	2 56
16°	3 17	3 15	3 13	3 11	3 09	3 07
15°	3 31	3 29	3 26	3 24	3 22	3 20
14°	3 46	3 43	3 41	3 38	3 36	3 33
13°	4 03	4 00	3 57	3 54	3 51	3 48
12°	4 23	4 19	4 16	4 12	4 09	4 06
11°	4 46	4 42	4 38	4 34	4 30	4 26
10°	5 13	5 08	5 04	4 59	4 54	4 50
9°	5 46	5 40	5 35	5 29	5 24	5 18
8°	6 26	6 19	6 12	6 05	5 59	5 52
7°	7 16	7 07	6 58	6 50	6 42	6 34
6°	8 19	8 08	7 57	7 46	7 36	7 26
5°	9 42	9 26	9 12	8 58	8 44	8 32
4°	11 33	11 12	10 52	10 33	10 15	9 58
3°	14 08	13 38	13 10	12 44	12 19	11 55
2°	17 56	17 11	16 30	15 51	15 14	14 40
1°	23 53	22 41	21 35	20 34	19 37	18 45
0°	33 48	31 45	29 52	28 10	26 37	25 11

Las lentes de los telescopios refractores suelen ser acromáticas a la longitud de onda de 0,575 µm. La banda *visual* de magnitudes está centrada a una longitud de onda muy próxima, 0,55 µm.

Constantes fundamentales usuales

cantidad	símbolo	valor
velocidad de la luz	c	$2{,}99792458\ 10^{8}$ m s^{-1}
permeabilidad del vacío	μ_0	$4\pi\ 10^{-7}$ N A^{-2}
permitividad del vacío	ε_0	$1/\mu_0 c^2$ F m^{-1}
constante gravitacional de Newton	G	$6{,}67408\ 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}
constante de Planck	h	$6{,}6260696\ 10^{-34}$ J s
constante de Boltzmann	k	$1{,}380649\ 10^{-23}$ J K^{-1}
número de Avogadro	N_A	$6{,}0221413\ 10^{23}$ mol^{-1}
constante de los gases perfectos	R	8,314462 J mol^{-1}K^{-1}

Constantes electromagnéticas y radiativas

cantidad	símbolo	valor
carga elemental	e	$1{,}60217656\ 10^{-19}$ C
constante de Faraday	F	$9{,}6485336\ 10^{4}$ C mol^{-1}
constante de Stefan-Boltzmann	σ	$5{,}67037\ 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}
primera constante de radiación	$2\pi hc^2$	$3{,}7417715\ 10^{-16}$ W m^2
segunda constante de radiación	hc/k	$1{,}438777\ 10^{-2}$ m K

Constantes atómicas y espectroscópicas

cantidad	símbolo	valor
masa del electrón en reposo	m_e	$5{,}485799095\ 10^{-4}$ u
masa del protón en reposo	m_p	1,007276467 u
masa del neutrón en reposo	m_n	1,008664916 u
masa del muón en reposo	m_μ	0,113428927 u
momento magnético del electrón	μ_e	$-9{,}2847643\ 10^{-24}$ J T^{-1}
momento magnético del protón	μ_p	$1{,}41060674\ 10^{-26}$ J T^{-1}
momento magnético del muón	μ_μ	$-4{,}4904481\ 10^{-26}$ J T^{-1}
magnetón de Bohr	μ_B	$9{,}2740097\ 10^{-24}$ J T^{-1}
magnetón nuclear	μ_N	$5{,}0507835\ 10^{-27}$ J T^{-1}
constante de estructura fina	α	$7{,}297352570\ 10^{-3}$
constante de Rydberg	R_∞	$1{,}097373156854\ 10^{7}$ m^{-1}
radio de Bohr	a_0	$0{,}5291772109\ 10^{-10}$ m
longitud de onda Compton del electrón	λ_c	$2{,}426310239\ 10^{-12}$ m
(unidad de masa átomica unificada	u	$1{,}66053892\ 10^{-27}$ kg)

La última cifra significativa dada en las tablas anteriores suele corresponder al orden de la incertidumbre de tal magnitud. Por ejemplo, si el valor recomendado según las últimas medidas de laboratorio para la constante de Planck es de $6{,}62606957\ \ 10^{-34}$, con una incertidumbre de $0{,}00000029\ \ 10^{-34}$, el valor que figurará en la tabla será $6{,}6260696\ \ 10^{-34}$, siendo incierta la última cifra dada.

Constantes cosmológicas

cantidad	símbolo	valor
constante de Hubble	H_o	69 km s^{-1}Mpc^{-1}
distancia de Hubble	c/H_o	4400 Mpc
edad del Universo	t_0	1,38 10^{10} años
edad del desacoplamiento	t_{dec}	380 000 años
densidad crítica	ρ_c	8,6 10^{-27} kg m^{-3}
densidad de bariones	Ω_b	0,049
densidad total de materia	Ω_m	0,309
constante cosmológica	Ω_Λ	0,691
temperatura del fondo cósmico de microondas (CBR)	T_0	2,725 K
velocidad del Sol respecto del CBR		370 km s^{-1}

(1 pc = 3,085678 10^{16} m, 1 Mpc = 10^6 pc = 3,085678 10^{22} m)

Constantes astronómicas

cantidad	símbolo	valor
unidad astronómica	ua	149 597 870 700 m
masa de la Tierra	$\mathcal{M}_\oplus$	5,9724 10^{24} kg
radio ecuatorial de la Tierra	$\mathcal{R}_\oplus$	6,3781366 10^6 m
masa solar	$\mathcal{M}_\odot$	1,988547 10^{30} kg
radio solar	$\mathcal{R}_\odot$	6,9566 10^8 m
luminosidad solar absoluta	$L_\odot$	3,828 10^{26} W
temperatura solar efectiva	$T_\odot$	5772 K
constantes gravitacionales:		
Sol	$G\mathcal{M}_\odot$	1,3271244 10^{20} m^3 s^{-2}
Tierra	$G\mathcal{M}_\oplus$	3,9860044 10^{14} m^3 s^{-2}
Luna	$G\mathcal{M}_(\|$	4,9028001 10^{12} m^3 s^{-2}
de Gauss	k	0,01720209895
razón de masa lunar a terrestre	$\mu_(\|$	0,0123000371

Algunos factores de conversión de interés práctico

1 año luz	= 0,9461 10^{16} m $\simeq$ 10^{16} m $\simeq$ 0,3 pc (parsec)
1 día luz	= 173,145 ua
1 hora luz	$\simeq$ 7,21 ua
c	= 300 MHz m = 300 GHz mm = 300 THz μm
1 km s^{-1}	$\simeq$ 1 pc / millón de años
1 ua / año	= 4,740470 km s^{-1}
1 ua / día	= 1731,457 km s^{-1}
$\mathcal{M}_\odot/\mathcal{L}_\odot$	$\simeq$ 0,52 s^3 cm^{-2} (unidades cgs)
	$\simeq$ 5200 kg W^{-1} (unidades SI)
1 $\mathcal{M}_\odot$ pc^{-3}	$\simeq$ 40 átomos de H por cm^3
1 Jy (Jansky)	= 10^{-26} W m^{-2} Hz^{-1} = 10^{-23} erg cm^{-2}

Prefijos del Sistema Internacional de Unidades

Prefijos para la expresión de factores decimales

factor	prefijo	símbolo	factor	prefijo	símbolo
10^{1}	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^{6}	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Estos prefijos han sido establecidos por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en cuatro resoluciones adoptadas entre 1960 y 1991.

Interpolación

Muchas de las tablas del ANUARIO contienen listas de valores correspondientes a distintas magnitudes físicas (posición, brillo, ...) dados para instantes de tiempo sucesivos, siendo *constante el intervalo entre instantes sucesivos* en una misma tabla (1 o 10 días). Por medio de la **interpolación** es posible determinar los valores de tales magnitudes para instantes intermedios a los que aparecen en la tabla. La complejidad con que hay que llevar a cabo la interpolación depende de la precisión que se desee alcanzar, la cual también viene limitada por la precisión de los valores que figuran en la tabla. Posiblemente el caso más difícil de tratar sea el del movimiento de la Luna, dado que la magnitud y la complejidad de dicho movimiento impiden su representación de una manera sencilla.

Consideremos el problema de determinar el valor de una magnitud física V para un instante T a partir de los que figuran en una tabla. Llamemos T_0 al instante de tiempo más próximo a T; el valor de la magnitud en T_0 viene dado en la tabla y lo llamaremos V_0. A los instantes anteriores que figuran en la tabla los llamaremos $T_{-1}, T_{-2}, \ldots$ y a los posteriores $T_1, T_2, \ldots$. Es decir, en la tabla tenemos una distribución como:

$$\begin{array}{c} T_{-2}\ V_{-2} \\ T_{-1}\ V_{-1} \\ T_0\ V_0 \\ T_1\ V_1 \\ T_2\ V_2 \end{array}$$

Denominemos p a la cantidad:

$$p = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

Si hemos escogido T_0 como el valor, en la tabla, más próximo al que nos interesa, T, entonces el valor de p estará entre: $-0{,}5 < p < 0{,}5$.

Una primera aproximación al valor de la magnitud V para el instante T viene dada por (1$^{\text{er}}$ grado):

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1})$$

Si el valor de: $V_1 - 2V_0 + V_{-1}$ es aproximadamente nulo, para la precisión requerida por nosotros o para la precisión suministrada por la tabla, podemos dar la interpolación por terminada. En caso contrario, hay que añadir otro término a la expresión anterior (2$^{\text{do}}$ grado):

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1})$$

Si el valor de: $(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2})/30$ es aproximadamente nulo, para la precisión requerida o suministrada, la interpolación ha acabado. En la mayor parte de casos, la interpolación se podrá dar por terminada en este punto.

En caso contrario, hay que añadir otro término más (3$^{\text{er}}$ grado):

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) + \frac{p(p^2-1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2})$$

Si el valor de: $(V_2 - 4V_1 + 6V_0 - 4V_{-1} + V_{-2})/100$ es aproximadamente nulo, para la precisión requerida o suministrada, la interpolación ha acabado. En caso contrario, hay que añadir al menos otro término más (4$^{\text{to}}$ grado):

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) + \frac{p(p^2-1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}) + \frac{p^2(p^2-1)}{24}(V_2 - 4V_1 + 6V_0 - 4V_{-1} + V_{-2})$$

Ejemplo: Deseamos determinar la ascensión recta de la Luna a las 6$^{\text{h}}$ TU del día 25 de febrero de 2020. De la tabla correspondiente al mes obtenemos los valores:

T_{-2}:	23 de febrero	$V_{-2} = 22^{\mathrm{h}}{,}01756$
T_{-1}:	24 de febrero	$V_{-1} = 23^{\mathrm{h}}{,}80311$
T_0:	25 de febrero	$V_0 = 23^{\mathrm{h}}{,}55797$
T_1:	26 de febrero	$V_1 = 24^{\mathrm{h}}{,}29150$
T_2:	27 de febrero	$V_2 = 25^{\mathrm{h}}{,}01497$

Obsérvese que en la tabla anterior hemos transformado los valores de la ascensión recta de la notación sexagesimal a la decimal, limitando el número de decimales al dado por la precisión en que viene dada la tabla ($0^{\mathrm{s}}{,}1 = 0^{\mathrm{h}}{,}00003$). Esta es la precisión con que podemos obtener la ascensión recta deseada, en el mejor de los casos. Obsérvese, además, que para evitar una discontinuidad al pasar de 24^{h} a 0^{h} hemos mantenido el sentido creciente de los valores de la ascención recta añadiendo 24^{h} cuando ha sido necesario. En este ejemplo: $p = 6^{\mathrm{h}}0^{\mathrm{m}}/24^{\mathrm{h}} = 0{,}25000$. Siguiendo los pasos anteriores, obtenemos los siguientes valores:

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) = 23{,}74402$$

Dado que $|V_1 - 2V_0 + V_{-1}| = 0{,}02133 \geq 0{,}00003$, añadimos otro término:

$$V = 23{,}74402 + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) = 23{,}74335$$

Dado que $|V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}|/30 = 0{,}00069 \geq 0{,}00003$, añadimos otro término:

$$V = 23{,}74335 + \frac{p(p^2-1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}) = 23{,}74295$$

Dado que $|V_2 - 4V_1 + 6V_0 - 4V_{-1} + V_{-2}|/100 = 0{,}00002 \leq 0{,}00003$, no hace falta añadir ningún término más, resultando:

$$V = 23^{\mathrm{h}}44^{\mathrm{m}}34^{\mathrm{s}}{,}6$$

El valor que se obtiene a partir de las efemérides del JPL es: $23^{\mathrm{h}}44^{\mathrm{m}}34^{\mathrm{s}}{,}55$, valor que concuerda con el antes calculado.

Interpolación inversa

Es posible determinar de manera parecida el instante T para el que se da un cierto valor V a partir de los valores que figuran en una tabla de valores equiespaciados. Sea V_0 el valor más cercano a V, correspondiente a un tiempo T_0. Una primera aproximación a la cantidad p que corresponderá al valor V viene dada por:

$$p = 2\,\frac{V - V_0}{V_1 - V_{-1}}$$

Utilizando este valor en la fórmula de interpolación calculamos un valor V_{calc} próximo a V:

$$V_{calc} = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) + \frac{p(p^2-1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2})$$

Si este valor no coincide con el valor buscado V deberemos aplicar una corrección Δp al valor usado de p, que se calcula mediante:

$$\Delta p = 2\,\frac{V - V_{calc}}{V_1 - V_{-1}}$$

Con el nuevo valor de $p = p_{anterior} + \Delta p$ calculamos un nuevo valor V_{calc}, que debe ser más aproximado al V deseado. Si aún no coinciden, hay que repetir el proceso tantas veces como sea necesario para la precisión que se desee.

Cuando se dispone del valor de p, el instante de tiempo T se obtiene mediante:

$$T = T_0 + p\,(T_1 - T_0)$$

Ejemplo: Deseamos determinar a qué hora del día 25 de febrero de 2020 la ascensión recta de la Luna es exactamente $0^{\mathrm{h}}00^{\mathrm{m}}00^{\mathrm{s}}$. Ello corresponde a determinar el instante T para el que, en la notación anterior, $V = 24{,}0000$. Primera iteración:

$$p = 2\,\frac{V - V_0}{V_1 - V_{-1}} = 0{,}5940$$

instante al que le corresponde un valor calculado: $V_{calc} = 23{,}99560$. La corrección a aplicar a p es:

$$\Delta p = 2\,\frac{V - V_{calc}}{V_1 - V_{-1}} = 0{,}0059$$

Al nuevo valor $p = 0{,}5999$ le corresponde $V_{calc} = 23{,}99991$, para una nueva iteración la corrección a aplicar a p es $\Delta p = -0{,}0001$, obtenemos $p = 0{,}6000$ y $V_{calc} = 23{,}99999$, valor que consideramos suficientemente aproximado, pues su discrepancia con el valor buscado es menor o similar a $0^{\mathrm{s}}{,}1 = 0^{\mathrm{h}}{,}00002$. El instante de tiempo buscado es:

$$T = T_0 + p\,(T_1 - T_0) = 0^{\mathrm{h}} + 0{,}3798 \times 24^{\mathrm{h}} = 14^{\mathrm{h}}{,}400$$

o sea, las $14^{\mathrm{h}}24^{\mathrm{m}}{,}0$ del día 25 de febrero de 2020. El instante calculado a partir de las efemérides es: $14^{\mathrm{h}}24^{\mathrm{m}}01^{\mathrm{s}}$.

Moléculas detectadas en el medio interestelar y el circumestelar

Moléculas con hidrógeno

H_2	H_3^+	HD	H_2D^+
HD_2^+			

Moléculas con solo hidrógeno y carbono

C_2	C_3	C_5	CH^+
CH	C_2H	C_3H	C_4H
C_5H	C_6H	C_7H	C_8H
CH_3C_2H	CH_3C_4H	CH_2	CH_4
C_2H_2	C_2H_4	$[C_3H_2]$	H_2C_3
H_2C_4	$[C_3H]$	H_2C_6	C_3H_6
$[C_6H_6]$	CH_3	HC_4H	HC_6H
CH_3C_6H	C_6H^-	C_4H^-	C_8H^-
C_3H^+	$C_{14}H_{10}^+$?		

Moléculas con oxígeno, hidrógeno y/o carbono

CO	CO^+	C_3O	C_2O
O_2	OH	H_2O	H_3O^+
HCO	HCO^+	HOC^+	$HOCO^+$
H_2CO	CH_3OH	CH_3CHO	CH_3COOH
CH_3OCH_3	$HCOOCH_3$	HC_2CHO	CH_3CH_2OH
HCOOH	$(CH_3)_2CO$	H_2C_2O	CO_2
H_2COH^+	$[C_2H_4O]$	CH_2OHCHO	H_2CCHOH
CH_3CH_2CHO	CH_2CHCHO ?	$(CH_2OH)_2$	$[H_2C_3O]$
$C_2H_5OCH_3$?	C_2H_5OCHO	CH_3OCOCH_3	CH_3O
OH^+	H_2O^+	HO_2	H_2O_2
HCCO	CH_3CHCH_2O	HC_5O	HC_7O
CH_3OCH_2OH			

Moléculas con nitrógeno, hidrógeno y/o carbono

CN	C_3N	HC_3NH^+	HCCN
HCN	HC_3N	HC_2NC	HNC_3
HC_5N	HC_7N	HC_9N	HNC
H_2CN	NH	NH_3	N_2H^+
CH_3CN	CH_3NC	CH_3C_5N	$HCNH^+$
NH_2CN	CH_2CN	CH_2NH	CH_3NH_2
CH_3CH_2CN	CH_2CHCN	CH_3C_3N	NH_2
C_5N	HC_4N	CH_2CCHCN	H_2CCNH ?
H_2CCN	H_2NCH_2CN	C_3N^-	C_5N^-
HNCNH	HNCHCN	CH_3CHNH	CN^-
NH_4^+	C_3H_7CN	C_2N	CCN ?
$NCCNH^+$	$[C_6H_5]CN$	CNCN	

Moléculas con nitrógeno y oxígeno

NO	N_2O	HNO	HNCO
NH_2CHO	CH_3CONH_2	HCNO	HOCN
HCOCN	H_2NCO^+	NO^+ ?	CH_3NCO
CH_3NHCHO ?	NCO	$HOCH_2CN$	HONO

Moléculas con azufre, silicio o fósforo

SO	SO_2	NS	H_2S
OCS	HCS^+	CS	C_2S
C_3S	SO^+	H_2CS	HNCS
CH_3SH	PN	CP	SiC
SiO	$[SiC_2]$	SiS	SiN
SiH_4	SiC_4	SH	SiCN
$[SiC_3]$	SiH ?	PO	HCP
SiNC	CCP	HSCN	PH_3
SH^+	CH_3CH_2SH ?	C_5S ?	NCCP ?
SiH_3CN	Si_2C	CH_3SiH_3	HS_2
NS^+	HCS	HSC	

Fulerenos

C_{60}	C_{70}	C_{60}^+

Moléculas "metálicas"

HCl	NaCl	KCl	AlCl
AlF	NaCN	MgNC	MgCN
HF	FeO ?	CF^+	AlNC
AlO	AlOH	HCl^+	H_2Cl^+
TiO	KCN	FeCN	TiO_2
HMgNC	ArH^+	MgCCH ?	CaNH
CH_3Cl	VO		

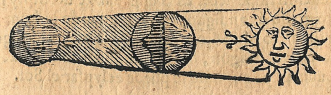
Otras moléculas

HeH^+

Tabla actualizada a julio 2019. En ella hay 220 especies moleculares, incluidas 10 detectadas tentativamente, lo que se indica con un interrogante. De las numerosas variedades isotópicas detectadas (HDO, DCO+, DCN, etc.), solo se indican los isotopólogos de las moléculas de hidrógeno. Las moléculas entre corchetes son cíclicas.

ARTICULOS DE DIVULGACION

DEMOSTRACION DEL ECLYPSE de la Luna.



El eclypſe del Sol ſe haze quando el Sol, y la Luna ſe juntan en la cabeça, o cola del dragon, y entóces como la Luna es cuerpo opaco, ſe pone entre el Sol, y la tierra, y con ſu cuerpo le cubre de manera, que priua al mundo de ſu luz, y lo dexa en ſombra: y tanto es mayor el eclypſe, y de mas cantidad, quanto mas llegados ſe hallan los luminares a la cabeça, o cola del dragon: y aſsi, que no puede ſer eclypſe de Luna, ſin ſer opoſicion, o Luna llena, ni eclypſe de Sol, ſin ſer conjuncion de Luna: empero como dicho es, ha de ſer eſtando en la cabeça, o cola del dragon, porque muchas vezes ſucederà conjuncion, y opoſicion, y no auer eclypſe, porque ni la Luna, ni el Sol eſtarã en la cabeça, o cola del dragon; porque ſe ha de notar, que ay opoſicion que ſe dize perfecta, y imperfecta, y lo miſmo en la conjuncion perfecta, y imperfecta. Perfecta opoſicion es, quando ſe hallan el Sol, y la Luna opueſtos, eſtando el vno en la cabeça, y el otro en la cola del dragon, porque entonces eſtan opueſtos el Sol, y la Luna linealmente en tanto grado, que ſacada vna linea del vno al otro, paſſaria por el centro del mundo, y en eſta opoſicion de neceſſidad ha de auer eclypſe de Luna.

Eclypſe del Sol.

Luna cubre la luz del Sol.



Demoſtracion del eclypſe del Sol.

Opoſicion perfecta.

Opoſicion imperfecta ſe dize, quando la Luna diſta del Sol la mitad de la eſfera, que ſon ciento y ochenta grados, mas no que eſtè la Luna en la eclyptica, cabeça, o cola del dragon, ſino en latitud Septentrional, o Meridional del Zodiaco en el cuerpo del dragon, la qual ſe haze cada mes lunar, ſin que aya eclypſe en ella.

Opoſicion imperfecta.

ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN

El Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid

por *Pere Planesas*

Nuestros orígenes cósmicos

por *Belén Tercero*

Fotografiando agujeros negros

por *Pablo de Vicente*

EL ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID

Pere Planesas

Precursores de los anuarios

La caída del imperio asirio hacia mediados del primer milenio antes de nuestra era dio lugar unas décadas después al inicio de una época de dominio babilónico bajo los persas que favoreció el florecimiento de la astronomía al potenciar la predicción de los fenómenos celestes con propósitos astrológicos. Pasar de la mera observación y el registro de los fenómenos celestes habitual en épocas anteriores a su predicción supuso un gran cambio conceptual: el de aceptar la idea de que es posible predecir los complejos movimientos del Sol, la Luna y los planetas, e impulsó el desarrollo de modelos aritméticos que permitían calcular sus efemérides: salidas, puestas, épocas de visibilidad, conjunciones, eclipses lunares, etc. En esa época también se compilaron los primeros almanaques con listas de visibilidades, posiciones en signos del zodíaco y efemérides relacionadas con salidas y puestas de los astros.

Tras la conquista de Mesopotamia por Alejandro el Magno los conocimientos astronómicos mesopotámicos fueron aprovechados por astrónomos griegos, quienes desarrollaron modelos físicos del universo y aplicaron una cada vez más sofisticada geometría a los cálculos de efemérides y a la realización de medidas, siendo sorprendentemente buenas sus determinaciones del tamaño de la Tierra y el de la Luna, y la distancia a esta. Entre los sabios de la época destaca Hiparco de Nicea, el más brillante de todos y posiblemente el primero con un conocimiento detallado de la astronomía babilónica. De la misma época es la primera astrónoma griega de la que se tiene noticia histórica, Aglaonice de Tesalia, de la que se sospecha que era capaz de predecir, mediante cálculos, los eclipses de Luna.

Tres siglos después apareció la inmensa figura de Claudio Tolomeo, cuya obra supone la culminación de la astronomía griega, helenística y babilónica. Publicó diversas obras, entre ellas la conocida modernamente como *Almagesto*, un tratado sistemático de toda la astronomía matemática de la época, basada en los modelos de Hiparco, destinada al cálculo de las posiciones de los astros en cualquier momento. Sin embargo, su uso era muy complicado, solo al alcance de personas con un gran dominio de las matemáticas. Aparte del interés en los movimientos celestes de los astrónomos, en la naturaleza de los astros de los filósofos y en aplicaciones prácticas y decorativas de los arquitectos, en la sociedad grecorromana la principal aplicación de la astronomía fue el cálculo de horóscopos personales. Los astrólogos no usaban libros complejos como el *Almagesto* de Ptolomeo, sino libros de tablas de más fácil uso, como las *Tablas prácticas* (o *Tablas fáciles*) que publicó el propio Ptolomeo, o incluso algunos calculados con los antiguos métodos babilónicos, según se ha descubierto recientemente en papiros egipcios. Dichas tablas facilitaban el cálculo de las posiciones planetarias, del Sol y de la Luna.

La obra *Tablas prácticas* de Ptolomeo tuvo, en efecto, una gran influencia en su época por el amplio uso que se le dio. En el curso del tiempo fue revisada, adaptada, comentada (Teón de Alejandría) y traducida a otros idiomas (siríaco, árabe). En ella se inspiraron, a través de *Tablas reales* de la época sasánida y con influencia india, las tablas astronómicas árabes denominadas con la palabra de origen persa *zīj* (en plural *ʻazyāj*), que tuvieron un gran predicamento durante siglos. Este tipo de tablas evolucionaron considerablemente, a fin de simplificar su uso, desde la primera que se conserva (la *Tabla india* de al-Khwārizmi, con una mezcla incoherente de contribuciones de tablas indias y griegas), hasta su práctica desaparición en el siglo XVII. En efecto, las tablas que permitían calcular las posiciones de los astros a partir de sus listas de elementos orbitales y tablas complementarias serían progresivamente sustituidas por otras que daban directamente las posiciones a intervalos de tiempo regulares, de unos días, a lo largo de los diferentes intervalos de tiempo hasta que las posiciones de un determinado astro se repetían. Eran obras cuya confección requería mucho mayor esfuerzo y que algunos autores denominan almanaques.

El primer almanaque compilado en la Europa medieval fue el de Azarquiel (al-Zarqālī) y sus colaboradores, que data de finales del siglo XI y se suele conocer como las *Tablas toledanas*. Escrito en árabe, contiene las posiciones verdaderas del Sol y los planetas y la posición media de la Luna. Posteriormente se compilaron otros en la península y sus áreas de influencia, pero ninguna obra llegaría a ser tan influyente en Europa como las *Tablas alfonsíes*, elaboradas entre 1263 y 1272 en Toledo por Isaac ben Sid y Judah ben Moses ha-Cohen bajo el patrocinio del rey Alfonso X. Escritas en castellano, se popularizaron en toda Europa en el siglo siguiente

a raíz de revisiones de dichas tablas adaptadas al meridiano de París y traducidas al latín que circularon a partir de 1320, o la versión de Oxford de 1348. Llegarían a ser usadas incluso por Nicolás Copérnico en el s. XVI. Siendo las más influyentes, las *Tablas alfonsíes* no fueron las únicas elaboradas en esa época, ni siquiera en España. El almanaque de 1307 (también llamado *Almanaque de Tortosa*), escrito en árabe y traducido al latín, castellano, catalán y portugués, y el *Taules de Barcelona*, de 1381, con versiones en catalán, latín y hebreo, no aportaron innovación alguna.

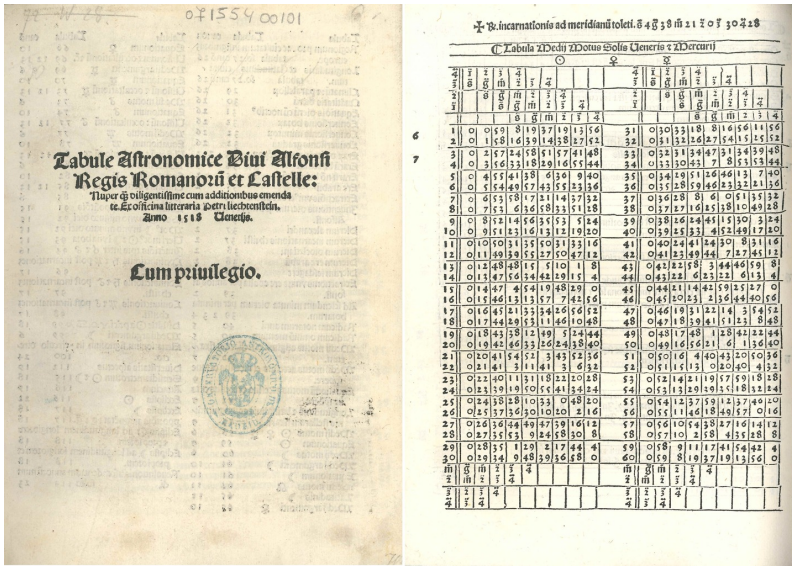


Figura 1: Portada y una página del ejemplar de las *Tablas astronómicas del Rey Alfonso de Castilla* impresas en Venecia en 1521, según el colofón de la obra. (Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid)

Las *Tablas alfonsíes* fueron usadas a finales del s. XV tanto por Regiomontano (Johann Müller) en Konigsberg como por Abraham Zacuto en Salamanca para elaborar sus libros de efemérides. El libro *Efemérides* de Regiomontano (1474) fue el primero de su tipo en ser impreso; contenía las posiciones diarias de los astros desde 1475 a 1506. El de Zacuto, impreso en latín y castellano, se conoce como *Almanaque perpetuo*; contenía tablas especialmente pensadas para los navegantes y pudo ser usado por Cristóbal Colón y por Vasco de Gama.

La precisión de las *Tablas alfonsíes* no sería superada ni siquiera con la publicación de las *Tablas pruténicas* (prusianas) por Erasmus

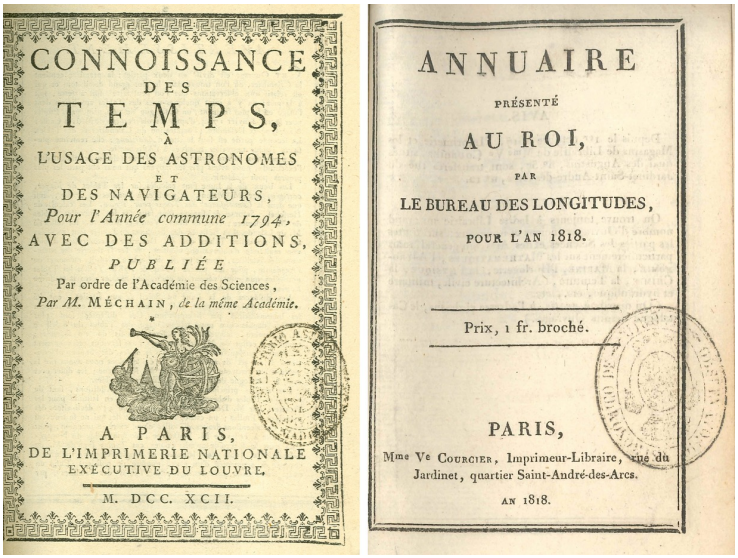
Reinhold en 1551, cuyo cálculo se basó, por primera vez, en el modelo heliocéntrico de Copérnico. Tanto éstas como las alfonsíes serían superadas apreciablemente por las *Tablas rudolfinas* (1627) de Johannes Kepler, basadas en su propio modelo de órbitas elípticas, que fueron utilizadas y muy apreciadas durante todo el s. XVII. Dado que los astrónomos y los astrólogos necesitaban calcular efemérides (posiciones de los astros) solo para algunas fechas concretas, tablas como las anteriores satisfacían sus necesidades. Sin embargo, con el desarrollo de la navegación astronómica en la exploración de los océanos del mundo a partir del siglo XVI (y la proliferación de astrólogos con escasa habilidad matemática), la necesidad de disponer de posiciones diarias del Sol, la Luna y los planetas se hizo imprescindible, de ahí que fueran apareciendo nuevas tablas, inspiradas en las de Regiomontano o como continuación de estas, como la de los alemanes Johannes Stöffler y Jacob Pflaum. A lo largo del s. XVI publicaron tablas de efemérides, entre otros, el flamenco Johannes Stadius, el checo Cyprián Karásek Lvovický (Leovitius), el italiano Giovanni Antonio Magini y el alemán David Origanus, y ya en el s. XVII el español Francisco Suárez de Arguello (en Madrid), el alemán Johannes Kepler, los italianos Andrea Argoli y Cornelio Malvasia, el francés Noël Duret y el portugués Luys Freyre de Sylva (en Barcelona), cuyas tablas cubren el mismo periodo que las de Duret, de 1637 a 1700.

La llegada de la imprenta de tipos móviles en 1453 favoreció la publicación de muchos libritos sencillos, que cubrían las necesidades más utilitarias de los calendarios (fiestas móviles, santoral) y de la astrología, como las fases de la Luna, las conjunciones y oposiciones de la Luna y los planetas, etc, además de las horas de salida y puesta de Sol medias en cada mes. Tuvieron mucho predicamento los llamados “lunarios” que, además de una reducida información astronómica, incluían contenido astrológico y de pronósticos, incluso para supuestas aplicaciones médicas (fechas propicias para realizar sangrías o purgas).

Los primeros anuarios europeos

En la actualidad la palabra almanaque (astronómico, náutico, aéreo) designa un conjunto de tablas que dan la posición diaria o cada pocos días de los astros (Sol, Luna, planetas, algunos satélites relevantes y estrellas de referencia, como la Polar) a lo largo de un año. Suelen incluir información sobre el uso de las tablas y sobre otros fenómenos, como eclipses, ocultaciones de estrellas por la Luna y fenómenos planetarios (conjunciones, oposiciones, etc.). Sirven como guía a astrónomos, navegantes, geodestas, topógrafos y otros profesionales que necesitan tales datos. Por ejemplo, el Real Observatorio de la Armada de España publica un Almanaque Náutico, con las efemérides necesarias para realizar la

navegación astronómica, y unas Efemérides Astronómicas, dirigidas a los astrónomos y a los geodestas; entre los años 1945 y 1976 también publicó un Almanaque Aeronáutico. Dado que este tipo de obras se publican cada año también se conocen como "anuarios", aunque esta denominación suele aplicarse a obras con un contenido más reducido y posiblemente limitado a los fenómenos visibles desde un país concreto, así como las salidas y puestas del Sol, la Luna y los planetas para una ciudad determinada, y que son de interés, por ejemplo, pero no exclusivamente, para los aficionados a la observación del cielo.


CONNOISSANCE
DES
TEMPS,
À
L'USAGE DES ASTRONOMES
ET
DES NAVIGATEURS,
Pour l'Année commune 1794,
AVEC DES ADDITIONS,
PUBLIÉE
Par ordre de l'Académie des Sciences,
Par M. MÉCHAIN, *de la même Académie.*
A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE NATIONALE
EXÉCUTIVE DU LOUVRE.
M. DCC. XCII.

ANNUAIRE
PRÉSENTÉ
AU ROI,
PAR
LE BUREAU DES LONGITUDES,
POUR L'AN 1818.
Prix, 1 fr. broché.
PARIS,
Mme Ve COURCIER, Imprimeur-Libraire, rue du Jardinet, quartier Saint-André-des-Arcs.
AN 1818.

Figura 2: Portadas de los ejemplares más antiguos de la *Connoissance des Temps* y el *Annuaire* disponibles en la biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid. Las imágenes no están a la misma escala: mientras el tomo de *Connoissance des Temps* de 1794 mide 183x114 mm y tiene 320 páginas, el del *Annuaire* de 1818 mide solo 138x80 mm y tiene 179 páginas.

La primera colección anual de efemérides que se considera moderna y profesional, y que aún se publica, es la *Connaissance des Temps*, cuyo primer título completo fue *La connoissance des temps. Ou calendrier et ephemerides du lever & coucher du Soleil, de la Lune, & des autres Planetes. Avec les eclipses por l'Année M.DC.LXXIX*. El primer ejemplar, de 1679, fue publicado en París por Joachim Dalencé (1640-1707) por iniciativa del astrónomo Jean Picard (1620-1682) y estaba dirigida a los astrónomos y al público letrado. Amplió su contenido

también como almanaque náutico ochenta años después, en 1759, con el título de *Connoissance des temps et des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs*, que más adelante se simplificó a *Connoissance des temps à l'usage des astronomes et des navigateurs*. Tras ser publicada por la Real Academia de Ciencias francesa, pasó a serlo en 1797 por la recién creada Agencia de Longitudes (1795), que tomó la iniciativa de publicar, además, a partir de ese mismo año una obra más sencilla, con menor contenido astronómico y menor precisión, destinada a un público más amplio y como referencia para los calendarios de la República, denominada *Annuaire du Bureau des Longitudes*. Después de más de dos siglos se sigue publicando, aunque desde 1984 con el subtítulo de *Éphémérides astronomiques* y desde 2005 con el de *Guide de données astronomiques*.

La obra *Connoissance des Temps* sirvió de modelo para obras similares cuya publicación se inició, décadas después, en otros países europeos. En Berlín se publicaron unas efemérides durante solo seis años, entre 1749 y 1754, que tuvieron continuación, a partir de 1776, en dos colecciones separadas: *Astronomisches Jahrbuch* y *Nautisches Jahrbuch*. En 1767 se inició la publicación anual por parte del Real Observatorio de Greenwich de *The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris*, que pronto sería el más influyente de su tipo y serviría de modelo para que en 1792 el Observatorio Real de Cádiz iniciara la publicación anual del *Almanaque náutico y efemérides astronómicas*, que desde 1961 se publica en dos obras separadas.

Versiones sencillas, como el *Annuaire*, o aún más elementales de los libros de efemérides fueron proliferando en distintos países y colonias. Su contenido astronómico era reducido (salidas y puestas del Sol y la Luna, fases lunares, eclipses) y se complementaba con otras informaciones geográficas, estadísticas, agrícolas, las mareas u otra información que pudiera ser de interés para la comunidad a la que iban dirigidos (monedas, pesos y medidas, datos físicos...). Por ejemplo, el *Poor Richard's Almanack*, publicado en Filadelfia por el polímata Benjamín Franklin desde 1733 hasta 1758, incluía poemas, refranes, entretenimientos y humor. Sirvió de inspiración para calendarios populares posteriores.

El propio *Annuaire du Bureau des Longitudes* pudo servir de inspiración para colecciones con un objetivo divulgativo, al incluir noticias y explicaciones científicas, especialmente a partir de 1811 cuando se responsabilizó de su publicación el astrónomo François Arago. En alguna de las noticias y fenómenos descritos en el *Annuaire* se inspiró Julio Verne (Jules Gabriel Verne) para documentar algunas novelas, como *El país de las pieles* y *Héctor Servadac*, entre la docena en que la astronomía tiene un papel importante o secundario.

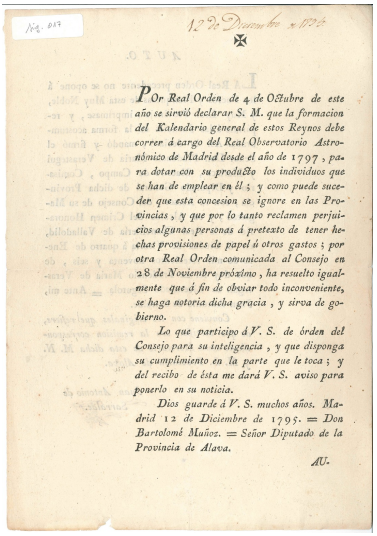
En 1830 se publicó el que creo que es el primer libro dedicado a explicar en detalle cómo se confecciona un libro de efemérides. Se trata de

Astronomie pratique: usage et composition de la Connaissance des Temps de Louis-Benjamin Francoeur. Es un tipo de suplemento a los libros de efemérides poco habitual pero de gran relevancia como referencia, que se ha publicado también en el siglo XX, como es el *Explanatory supplement to The Astronomical Almanac* (ediciones de 1961, 1992 y 2012) y la *Introduction aux éphémérides astronomiques* (1998).

El Anuario del Observatorio de Madrid

El Real Observatorio Astronómico de Madrid fue fundado en 1790 con el propósito de medir, indagar y estudiar los movimientos celestes y también el de la enseñanza teórica y práctica de la astronomía, de la fabricación de instrumentos científicos que necesitara y de los usos y aplicaciones que la astronomía pudiera tener en la vida civil.

En 1795 el Observatorio obtuvo por Real Orden el privilegio de la redacción y publicación del "Kalendario general de estos Reynos" a partir de 1797, cuya impresión y venta en toda "España y sus Indias" se arrendó a la imprenta de los señores Torres y Brugada. Tras la ocupación de Madrid por parte de las tropas francesas y la dispersión del personal del Observatorio, en 1811 el privilegio de la publicación del Calendario fue transferido por las Cortes de Cádiz al Observatorio de San Fernando, en Cádiz, que lo conservó hasta 1855, aunque con numerosas discusiones, que se describen en detalle en el libro de Manuel López Arroyo (cf. Bibliografía).



1795 Diciembre 12 1795

POr Real Orden de 4 de Octubre de este año se sirvió declarar S. M. que la formacion del Kalendario general de estos Reynos debe correr á cargo del Real Observatorio Astronómico de Madrid desde el año de 1797, para dotar con su producto los individuos que se han de emplear en él; y como puede suceder que esta concesion se ignore en las Provincias, y que por lo tanto reclamen perjuicios algunas personas á pretexto de tener hechas provisiones de papel ú otros gastos; por otra Real Orden comunicada al Consejo en 28 de Noviembre próximo, ha resuelto igualmente que á fin de obviar todo inconveniente, se haga notoria dicha gracia, y sirva de gobierno.

Lo que participo á V. S. de órden del Consejo para su inteligencia, y que disponga su cumplimiento en la parte que le toca; y del recibo de ésta me dará V. S. aviso para ponerlo en su noticia.

Dios guarde á V. S. muchos años. Madrid 12 de Diciembre de 1795. = Don Bartolomé Muñoz. = Señor Diputado de la Provincia de Alava.

AU-

Uno de los que más lucharon para que el Calendario volviera a Madrid fue el profesor de astronomía teórica del Observatorio, José Miguel de Sarasa, tras regresar en 1814 de su cautiverio en Dijon (Francia). Nombrado Director provisional en 1816 e interesado tanto en reactivar las actividades en el Observatorio como en la creación (para él) de una cátedra de astronomía, escribió un manuscrito de 223 hojas con unas *Tablas astronómicas calculadas para el uso del Ovservatorio del Buen Retiro de Madrid y cualquier otro sin herror sensible*. Sin embargo ni sus esfuerzos tuvieron éxito, ni sus tablas fueron publicadas.

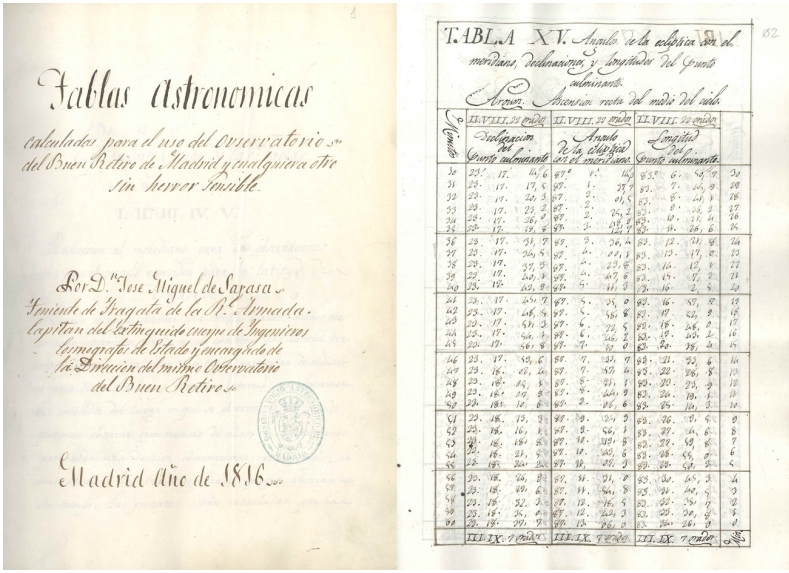
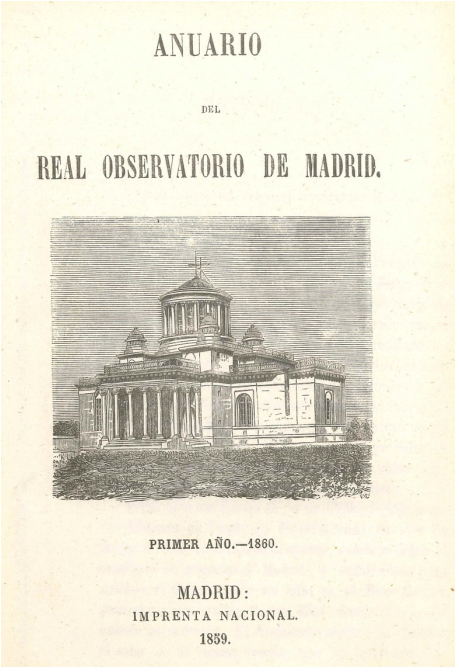


Figura 4: Portada y una tabla del manuscrito de José Miguel de Sarasa, 1816. (Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid)

Hubo que esperar a la reanudación de las actividades en el Observatorio Astronómico de Madrid a partir de 1851 para que se planteara la idea de publicar un anuario astronómico. La iniciativa partió del polifacético Antonio Gil de Zárate (1793-1861), a la sazón Comisario Regio del Observatorio que, en la reunión de la Junta de Astrónomos celebrada el 1 de febrero de 1859, propuso la publicación de un "Calendario o Anuario". Con el objetivo de difundir los principios y resultados elementales y más importantes de la Astronomía y ciencias relacionadas (física del globo, meteorología), "importantes por su utilidad inmediata, o por el placer que el ánimo siente al adquirirlos" (Gil de Zárate), se estableció un índice de materias, que se aprobó el 4 de junio y se distribuyó entre los cuatro astrónomos su cálculo y redacción. No consta si se inspiraron en el contenido de algún anuario existente en particular. Si lo comparamos con el del *Annuaire* del mismo año vemos que tienen secciones comunes pero que en el *Annuaire* son más completas y contiene algunas adicionales, como son las tablas dedicadas a la estadística de la población y tablas diversas sobre parámetros físicos y atmosféricos, que no aparecen en el ANUARIO.

A finales de mes se recibió la autorización (Real Orden de 25 de junio) para la publicación del ANUARIO para 1860. En octubre se constató que los materiales reunidos daban para ocho pliegos y se planeó imprimir en diciembre una tirada de 1.500 ejemplares. Se imprimió en la Imprenta

Nacional, se encuadernó en piel y se puso a la venta el 15 de diciembre por 4 reales de vellón en la propia Imprenta y en la librería Bailly-Baillière de la calle Príncipe. El anuncio de su puesta en venta resaltaba su "esmerada impresión", su lujosa encuadernación y su "ínfimo precio". Debió tener una buena acogida, pues para la edición de 1861 la tirada se amplió considerablemente. Ello fue así a pesar de que el encuadernador (Ginesta) de la edición anterior solo se comprometía a realizar 1.000 ejemplares, por lo que la edición de los 2.500 ejemplares se hizo por cuenta del Observatorio. Esta edición se vendió a distintos precios, de 4, 5 y 6 reales según la encuadernación, también en las librerías Cuesta, Duran y Poupart. Los tomos de 1862 a 1866 se vendieron a 4 reales en rústica, a 6 reales en cartonaje y a 8 reales en tela (precio equivalente hoy a unos 10 €).



ANUARIO

DEL

REAL OBSERVATORIO DE MADRID.

PRIMER AÑO.—1860.

MADRID:
IMPRENTA NACIONAL.
1859.

El contenido del primer ANUARIO se dividió en tres partes, precedidas por una breve (14 páginas) *Noticia histórica del Observatorio de Madrid* redactada por el propio Gil de Zárate. La primera parte, de 66 páginas, se denominaba Calendario e incluía información sobre calendarios, salidas y puestas de Sol y Luna, fenómenos celestes, eclipses, ocultaciones, información sobre el sistema solar y una lista de los 57 asteroides conocidos. La segunda parte, de 46 páginas, contenía diversas tablas, con posiciones geográficas, unidades de medida (el sistema métrico decimal se

había adoptado pocos años antes, en 1847), valores del cambio de moneda extranjera y tablas meteorológicas. La tercera parte, de 110 páginas, constaba de cuatro artículos de divulgación. Los dos del director Antonio Aguilar y Vela trataban sobre *De la medida del tiempo o del Calendario* y *Sobre el eclipse total de Sol que tendrá lugar el 18 de julio próximo* (de 1860); el del "primer astrónomo" Eduardo Novella y Contreras, sobre *Sistema solar* y el del "astrónomo segundo" Miguel Merino y Melchor, sobre *Pronósticos y preocupaciones*. Un índice remataba un librito de 239 páginas y con un tamaño de 120x175 mm, que se ha mantenido durante más de un siglo, hasta 1977.

Primera época

La publicación del ANUARIO ha conocido dos épocas. La primera, que fue desde 1860 a 1880, conoció algunas interrupciones, pues no se publicó en los años 1867, 1874 y 1875, por razones que no se explicaron en años posteriores. Durante todo ese tiempo el director fue Antonio Aguilar, salvo por un periodo de casi un año en que fue depuesto, que no coincide con la falta de elaboración (o de publicación) de los anuarios citados. Cierto es que en 1865 hubo una importante crisis de gobierno y el año siguiente la primera crisis financiera y una insurrección en Madrid para acabar con la monarquía, y que en 1873 se proclamó la I República, caracterizándose el año 1874 por continuas sucesiones en el gobierno, hasta que en enero de 1875 Alfonso XII fue proclamado rey. Fueron tiempos convulsos que bien pudieron dificultar la elaboración del ANUARIO o la obtención de los permisos o de los fondos necesarios para su impresión en los tres años antes mencionados.

En su primera época (hasta 1880) el ANUARIO mantuvo su estructura, aumentando ocasionalmente el contenido con textos explicativos, la inclusión de nuevas tablas o la ampliación de alguna información. Por ejemplo, la primera parte (Calendario) del ANUARIO de 1861 creció hasta las 107 páginas, y hasta 124 en la de 1880. La extensión de la segunda parte (Tablas) pasó de 46 páginas en 1860 a 252 en 1880. Sin embargo la mayor variación en el número total de páginas de un año al siguiente solía venir dada por el número (entre 1 y 4) y extensión de los artículos, fueran de divulgación o de información de observaciones meteorológicas realizadas en el Observatorio. Los artículos nunca faltaron, siendo especialmente prolíficos como autores los astrónomos Miguel Merino (a menudo sobre meteorología) y Antonio Aguilar. En 1876 se incluyó el primer artículo con autor ajeno al Observatorio, que fue la traducción de un artículo peculiar de los astrónomos Norman Lockyer y Balfour Stewart de 1868 titulado *De la vida como caso particular de la energía universal* en que los autores, con un florido lenguaje y con alusiones a la física y a la astronomía, reflexionan sobre el lugar de la vida en un universo de

energía. Por otra parte, un artículo de Merino del año 1863 fue traducido al inglés y publicado en el anuario para 1864 de la Smithsonian Institution de Washington. Precisamente a Merino se le deben todos los artículos divulgativos dedicados a temas de meteorología. En cuanto a los resultados de las observaciones meteorológicas, se publicaron en el ANUARIO hasta 1865, para después pasar a publicarse en volúmenes anuales específicos.

En 1869 en el título de la publicación se suprimió el calificativo *Real* y pasó de ser *Anuario del Real Observatorio de Madrid* a *Anuario del Observatorio de Madrid*. Ello ocurrió tras el levantamiento del general Juan Prim y el consecuente exilio de la reina Isabel II a Francia ocurridos en 1868. De hecho, el 29 de octubre de ese año el Observatorio pasó de ser tutelado por un Comisario Regio a depender directamente del Rector de la Universidad Central, a lo que se atribuye su decadencia posterior. Se mantuvo el nuevo título hasta el fin de esta primera época. Entre 1868 y 1880 los anuarios fueron impresos en la imprenta de Miguel Ginesta.

Número de páginas y de artículos de divulgación o meteorología

Año	Páginas	Artículos	Año	Páginas	Artículos
1860	239	4	1870	365	2
1861	273	2	1871	344	1
1862	279	2	1872	435	2
1863	320	3	1873	431	1
1864	355	3	1876	494	2
1865	417	2	1877	442	1
1866	332	1	1878	564	1
1868	458	2	1879	564	1
1869	368	1	1880	440	1

En los archivos del Observatorio se encuentra diversa correspondencia en que se solicita el envío de uno o varios ejemplares del ANUARIO o en que se agradece haberlo recibido. Salvo unas pocas cartas de particulares, la mayoría de cartas conservadas proceden de bibliotecas (entre ellas la Biblioteca Nacional), embajadas (Italia, Inglaterra, EEUU), instituciones españolas (Congreso de los Diputados, Instituto Geográfico y Estadístico), reales academias (Medicina, Bellas Artes), escuelas de ingenieros y arquitectos, el Ateneo de Madrid, etc.

En 1893 se celebró en Chicago una Exposición Universal, en la que participó el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Madrid, siendo la única institución española que, dentro del Grupo 155 de expositores (Instituciones y organismos para el desarrollo del saber), participó en la Clase 907 (Asociaciones para el adelanto del saber). El observatorio expuso y puso a la venta los 18 volúmenes del ANUARIO publicados hasta la fecha, a un precio de 3 pesetas cada ejemplar, los 22 volúmenes de las Observaciones meteorológicas de Madrid, desde 1864 a 1889 (los

ocho últimos años encuadernados dos a dos), y los 20 volúmenes de las Observaciones meteorológicas de las provincias, desde 1866 a 1889 (los años 1876 a 1880 encuadernados en un solo volumen), a un precio de 5 pesetas cada volumen.

Segunda época

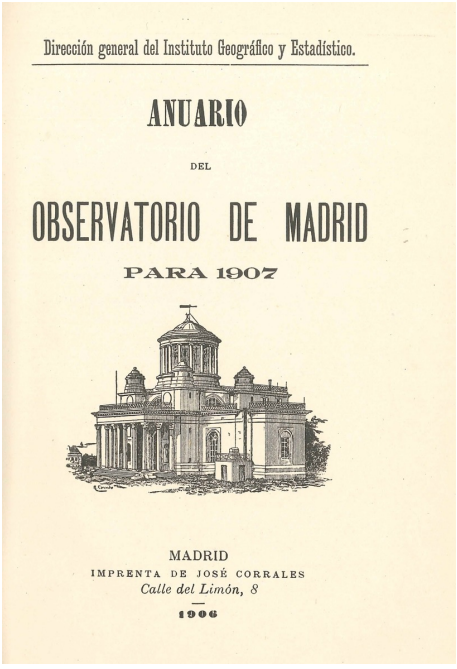
López Arroyo argumenta que la interrupción en la publicación del ANUARIO no solo se debió a dificultades económicas, sino sobretodo a las malas relaciones que el Observatorio tenía con la Universidad, de la que dependía. Sólo cuando el Observatorio pasó a depender del Instituto Geográfico y Estadístico en 1904 se pudo plantear la posibilidad de recuperar su publicación.

La reanudación de la publicación del ANUARIO tuvo lugar a principios del siglo XX en una situación mucho más favorable para España y para el Observatorio. Este había adquirido popularidad por su activa participación en la observación de los eclipses totales de Sol "españoles" de 1900 y 1905, junto a numerosas expediciones científicas de astrónomos de diversos países que acudieron a la península a observarlos y fotografiarlos. El Observatorio pudo adquirir nuevos instrumentos y aumentar su personal, lo que también se tradujo en un aumento de sus actividades científicas, en particular emprendiendo observaciones astrofísicas del Sol, las estrellas y los cometas. Como consecuencia de todo ello, los astrónomos se vieron inducidos, por un lado, a realizar trabajos de categoría internacional y publicar los resultados obtenidos y, por otro, a divulgar los nuevos conocimientos para un público cada vez más numeroso interesado en ellos.

Lo último se canalizó con algunos artículos en la prensa y, especialmente, en la reanudación de la publicación del ANUARIO, que tuvo lugar en 1907. No ha dejado de publicarse desde entonces hasta la actualidad, siendo la edición del año 2020 la número 132. A partir de 1932 el ANUARIO se complementó con la publicación de un *Boletín Astronómico del Observatorio de Madrid* con el que se pretendía la publicación más frecuente y rápida de los resultados de las observaciones o los estudios que se realizaban. Servía también de material de intercambio con otras instituciones, nacionales y extranjeras. Sin embargo, su frecuencia de publicación irregular y la tendencia cada vez mayor a publicar resultados más elaborados en revistas de ámbito internacional hizo que languideciera y dejara de publicarse en 2003.

El contenido del *Anuario del Observatorio de Madrid* para 1907, impreso en la imprenta de José Corrales y con 486 páginas, difiere mucho del de 1880, pues se amplió considerablemente y aumentó su nivel la componente astronómica y se prescindió de las tablas e informaciones adicionales, ajenas a la astronomía y la meteorología, que se incluían en la primera época. Se estructuró en cuatro partes: la primera dedicada a

los calendarios (22 páginas); la segunda (muy amplia, de 268 páginas), a las efemérides y fenómenos astronómicos, que además contenía datos astronómicos y geodésicos; la tercera (de 54 páginas) contenía tablas meteorológicas auxiliares; y finalmente se incluían cuatro artículos de divulgación, alguno muy especializado, de los astrónomos Antonio Vela, Francisco Cos, Miguel Aguilar y el director Francisco Íñiguez. El resto de contribuciones al ANUARIO no están firmadas, al considerarse parte de un trabajo colectivo en que intervinieron astrónomos y auxiliares.


Dirección general del Instituto Geográfico y Estadístico.

ANUARIO

DEL

OBSERVATORIO DE MADRID

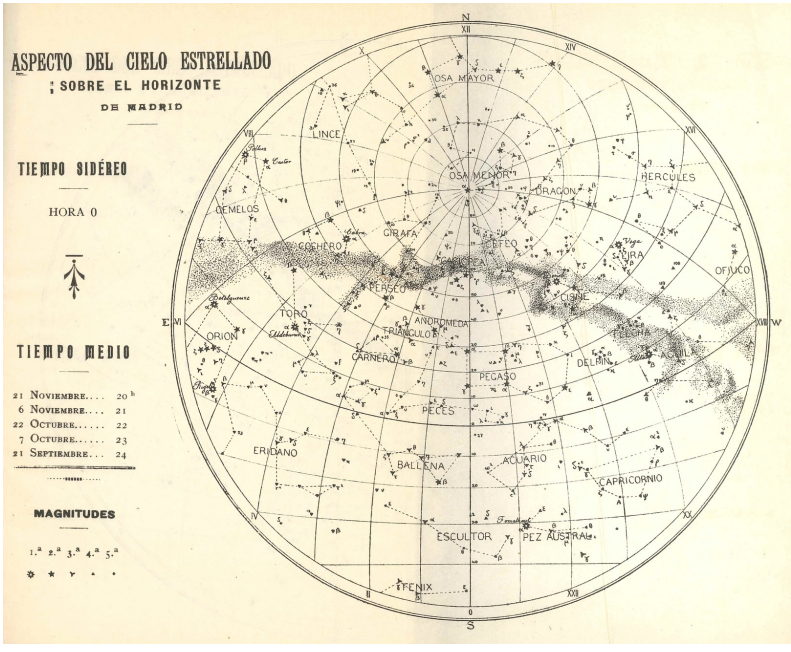
PARA 1907

MADRID
IMPRENTA DE JOSÉ CORRALES
Calle del Limón, 8
1906

En los años siguientes el contenido del ANUARIO se fue reajustando. Así, por ejemplo, en el de 1908, con 543 páginas e impreso por Bailly-Bailliero e hijos, se suprimió la parte dedicada a tablas meteorológicas auxiliares. Pudo ser consecuencia de que en enero de 1906 se encargó al Instituto Central Meteorológico toda la actividad meteorológica que se realizaba en el Servicio Astronómico y Meteorológico del Instituto Geográfico en el que también se encuadraba el Observatorio Astronómico de Madrid. Durante muchas décadas el Observatorio había sido el destinatario de la información recogida en las diversas estaciones de observación del país. Entre 1906 y 1919 en el Observatorio se siguieron realizando las observaciones correspondientes a Madrid. Por ello, en los anuarios de 1908 hasta 1921 se siguieron publicando los resultados de

las observaciones meteorológicas realizadas cotidianamente entre los años 1906 y 1919. Posteriormente se realizaban solo las necesarias para la planificación de los trabajos astronómicos y dejaron de publicarse.

En el ANUARIO de 1908 las horas en las efemérides de Sol, Luna y planetas dejaron de referirse al meridiano de Madrid para darse según la hora oficial, que desde el 1 de enero de 1901 correspondía a la del meridiano de Greenwich. En el de 1909 se incluyó un prólogo del Director del Observatorio, Francisco Iñiguez, costumbre que aún perdura, salvo en los años 2015 a 2017 en que un subdirector general del Instituto Geográfico Nacional sustituyó en tal tarea al Director del Observatorio Astronómico Nacional, que es a quien le corresponde por tradición. En el ANUARIO de 1909 se redujo la parte expositiva y de explicación de las tablas y se incluyeron cuatro largos artículos y un apéndice "para dar mayor extensión a la parte destinada a divulgar conocimientos útiles, contribuyendo así a la cultura general". Lo mismo ocurrió en 1910.



En los años siguientes el ANUARIO se siguió ampliando hasta superar en varias ocasiones las 700 páginas, incluyendo resultados de observaciones solares, del eclipse de 1914 en el tomo de 1915, año en que también se incluyó un catálogo de estrellas de utilidad para topografía y astronomía. A partir de 1916 se incluyeron unos mapas del cielo estrellado desplegables.

En definitiva, se fueron añadiendo apartados y artículos de índole práctico para aplicaciones de la astronomía.

El ANUARIO para 1920 se publicó con mucho retraso, que Antonio Vela atribuyó en el prólogo a causas externas al Observatorio, aunque pudieron también influir los ceses por jubilación del jefe del Observatorio Íñiguez y de su sucesor Carlos Puente, responsable del ANUARIO, ambos acaecidos en 1919. En el prólogo de 1921 se citaron los trabajos científicos en curso, siendo el estudio del Sol la actividad preferente del Observatorio, y el inicio del montaje de un laboratorio de astrofísica. En el de 1922, edición que empezó a imprimirse en la Imprenta Clásica Española, dejó de publicarse el resumen de las observaciones meteorológicas y prosiguió la publicación de las observaciones solares. En cambio, se incluyó una memoria en que se explicaba la adquisición de material científico. En ese año se planeó participar en las observaciones del eclipse total, que tenían que servir para confirmar los resultados del de 1919 en lo referente a la Teoría General de la Relatividad de Einstein. Desafortunadamente, los planes del Observatorio quedaron frustrados, como se explicó en uno de los nueve artículos de divulgación o científicos de la edición para 1923.

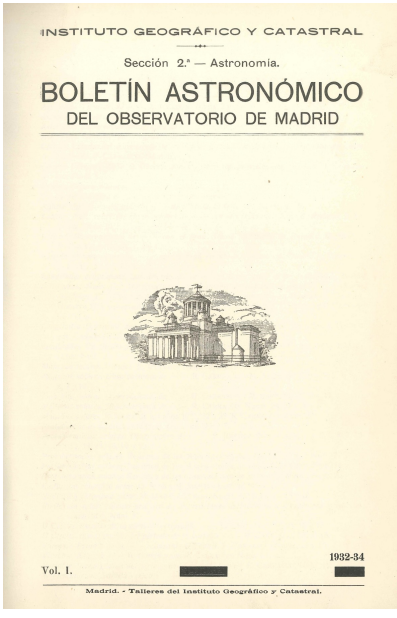
La edición para 1924 se imprimió en la imprenta de Samarán y Compañía. En él se anunció el fin de la instalación del laboratorio científico y el interés en participar en los estudios de los asteroides, paralizados por el retraso en el suministro de los equipos. Como puede apreciarse, en los prólogos se hacía énfasis en los trabajos científicos, que en ocasiones se detallaban en artículos.

En el archivo se encuentra una descripción escrita en 1924 de los "trabajos sistemáticos a los que está consagrado el personal del Observatorio astronómico de Madrid", el primero de los cuales es:

> "Confección y publicación del ANUARIO. Se reanudó esta en el año 1907 y aparece, sin interrupción, en el mes de diciembre de cada año, en tomos de unas 500 páginas. Contiene secciones fijas, que son: calendario, efemérides del Sol, Luna, planetas y satélites; datos de eclipses y ocultaciones; posiciones de estrellas, constelaciones, estrellas variables, estrellas dobles y paralajes estelares; tablas de refracción, de paralaje y de reducción de tiempos; posiciones geográficas de observatorios y poblaciones importantes y explicaciones elementales de todas las tablas y datos; en suma una recopilación concisa de datos, calculados y rectificados al día, necesarios a todos los observadores y aficionados y, por lo mismo, cada año más solicitados. Además de estas secciones permanentes, lleva el ANUARIO trabajos especiales, de los efectuados en el Observatorio; o estudios de vulgarización de los asuntos de más interés. Debe añadirse que los

> datos referentes al calendario, se suministran anualmente al Ministerio de la Gobernación, para la confección de la GUÍA OFICIAL, y además a los numerosos colegios, instituciones y editores de calendarios que lo solicitan."

En 1927 el ANUARIO pasó a denominarse *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*, dependiente del Instituto Geográfico y Catastral (IGC). En junio falleció Antonio Vela, después de 40 años de servicio y ocho como Jefe del Observatorio, siendo sustituido por Francisco Cos. En el de 1929, impreso en los talleres del IGC, se publicó por primera vez la lista del personal del Observatorio. En el de 1930 se publicaron siete artículos, algunos de los cuales eran reproducción de otros publicados anteriormente. La lista de todos los artículos y trabajos publicados en la segunda época del ANUARIO apareció en el de 1931. En el siguiente tomo apareció un artículo dedicado al entonces recién descubierto planeta Plutón.


INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL

Sección 2.ª — Astronomía.

BOLETÍN ASTRONÓMICO

DEL OBSERVATORIO DE MADRID

Vol. 1. 1932-34

Madrid. - Talleres del Instituto Geográfico y Catastral.

El ANUARIO para 1933 presentó varias novedades, consecuencia de que en enero de 1932 el Observatorio comenzó a publicar el *Boletín Astronómico* destinado a publicar con mayor rapidez los resultados de trabajos de observación o investigación que solían aparecer en el ANUARIO, del cual desaparecieron capítulos, como el dedicado a las observaciones solares. Con ello, el ANUARIO reforzó su carácter divulgativo. Además, se amplió la parte gráfica, se incluyó algún apartado

específico para los aficionados y se añadió una tercera parte dedicada a la Tierra. Tal esfuerzo de ampliación de contenidos se tradujo en la ausencia de artículos divulgativos. El número de páginas, que solía rondar las 500, se redujo en lo sucesivo a unas 350. Por fin, en el de 1936 hubo de nuevo un artículo de divulgación, escrito por José Tinoco con el auxilio de Aguilar.

En esta nueva época ejemplares del ANUARIO seguían siendo solicitados por diversas instituciones, especialmente las diversas dependencias del Instituto Geográfico, algún puerto (para confeccionar su propio almanaque de mareas), universidades, centros meteorológicos, ministerios (Fomento, el del Aire solicitaba 60 ejemplares al año) e incluso desde instituciones extranjeras (varias en Brasil).

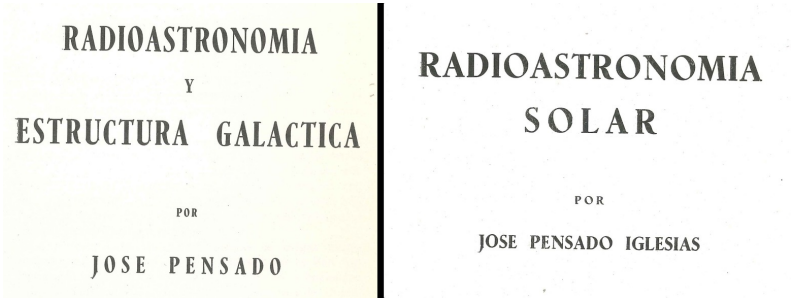
Guerra y posguerra

La tirada de los últimos pliegos del ANUARIO para 1937 se vio interrumpida por el ataque de artillería y aviación que amenazaba los talleres del Instituto Geográfico y Catastral (IGC), situado en una zona próxima a la Ciudad Universitaria, uno de los frentes de batalla. En los años de la guerra civil el Geográfico (y, consecuentemente, el Observatorio) fue cambiando de adscripción: en el de 1936 figuraba el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes; en el de 1938, el Ministerio de Instrucción Pública y Sanidad; en el de 1939, el Servicio Nacional del IGC en la Vicepresidencia del Gobierno; y en el de 1940, la Direción General del IGC en la Presidencia del Gobierno. Como era de esperar, la guerra civil dificultó la confección del ANUARIO, pero nunca dejó de publicarse. Varios astrónomos se desplazaron a Valencia con el fin de proseguir desde allí sus observaciones solares y la redacción del ANUARIO para 1939, que se imprimió en Madrid como siempre.

En el ANUARIO para 1939 no hubo prólogo, ni lista de personal, ni artículos. La segunda parte, de Efemérides y Tablas, se subdividió en dos y en el de 1940 se añadió una quinta dedicada al elipsoide terrestre. Además, en un prólogo anónimo se comentaron los trabajos de reparación de edificios, instalaciones e instrumentos una vez terminada la guerra. Aún en el de 1942 se comentaba que seguían las obras de reparaciones (debidas al abandono durante la guerra o por ser "destrozados por los rojos", como figura en un oficio de octubre 1939) y la construcción de una cámara subterránea (debe referirse a la del edificio de Villanueva) para instalar los péndulos a temperatura constante; aún estaba por terminar cuando se publicó el de 1943, un fino ANUARIO de sólo 236 páginas. Ello no debe sorprender pues, en un informe de los trabajos realizados en 1942 se menciona que, en una fecha tan temprana como es el 15 de julio, se entregó a la Dirección general el de 1943, a fin de ser llevado a la imprenta, y que antes de fin de año comenzó ya la preparación y cálculo del correspondiente al año 1944. Tanta premura redundaba en su escasa extensión.

El ANUARIO para 1945, que retomó su extensión habitual de entre 350 y 400 páginas, se estructuró en seis partes: Calendario, Efemérides, El cielo en España, Tablas, El elipsoide terrestre y Artículos. Contenía un solo artículo, y así fue desde 1942 hasta 1984.

En el de 1952 se publicó un largo artículo de Tinoco sobre la historia del Observatorio (en parte basada en un legajo de notas encontradas debidas a Gil de Zárate, posteriormente extraviado), con una relación de los instrumentos y una lista completa de los artículos publicados en el ANUARIO desde 1860 hasta 1951. Tinoco se jubiló tras ser director durante doce años. Murió al año siguiente.


RADIOASTRONOMIA
Y
ESTRUCTURA GALACTICA
POR
JOSE PENSADO

RADIOASTRONOMIA
SOLAR
POR
JOSE PENSADO IGLESIAS

Figura 9: Títulos de los artículos divulgativos publicados en los anuarios para 1963 y 1964 dedicados a una nueva técnica observacional: la Radioastronomía.

Continuidad y cambios

En 1954 se inició una larga serie de anuarios bajo la responsabilidad de Mariano Martín Lorón, que optó por mantener una continuidad en su estructura y contenidos, como puede verse en la tabla que sigue. El número total de páginas variaba, entre unas 350 y unas 500, según fuera la extensión del artículo de divulgación, alguno larguísimo, como el de 1956. En su primer ANUARIO, Martín Lorón reintrodujo la lista de personal. Entre 1963 y 1967 incluyó una serie de prólogos muy sucintos en que no se comentaban las actividades de los astrónomos y del Observatorio. Los artículos de divulgación de los años 1963, 1964 y 1972 trataron de la nueva técnica observacional de la Radioastronomía, que hacia 1990 se convertiría en la actividad principal del Observatorio.

El ANUARIO para 1978 supuso un cambio estético respecto de los anteriores. A partir de esa edición su tamaño cambió a 125x175 mm lo que, unido a su gran grosor (hasta 32 mm) debido al tipo de papel y el gran número de páginas (en ocasiones superó las 500), le dió un especto de tocho, poco agraciado. Por otra parte dejó de estar encuadernado en tapas

duras y lo fue en papel, lo que permitió añadir una fotografía que ocupaba parte de la cubierta frontal. En el interior se incluyeron dos láminas con fotografías; en el de 1979 hubo ocho láminas y en el de 1982, nueve. En el de 1978 desapareció la lista del personal. En el de 1985 se incluyeron, como caso extraordinario, dos artículos de divulgación pues la ocasión lo merecía: uno de ellos estaba dedicado al cometa de Halley, visible durante ese año. La publicación del de 1986 sufrió un retraso debido a la introducción de nuevos sistemas informáticos en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), en cuyos talleres se imprimía. La edición número cien fue la del año 1988.

Número de páginas dedicadas a las distintas secciones

	1940	1954	1974	1993
Calendario	30	28	26	26
Efemérides	180	184	190	236
El cielo	30	28	28	30
Tablas	35	37	37	70
Elipsoide	17	27	27	27
Artículos	60	32	98	43

En 1990 se produjo otro cambio estético importante. La fotografía ilustrativa pasó a ocupar toda la cubierta frontal, el lomo y la contraportada, dando más vistosidad al libro. En cuanto al contenido, las posiciones geográficas de las capitales de provincia pasaron a referirse al meridiano de Greenwich, en lugar del de Madrid como había sido hasta 1989. El ANUARIO para 1993 fue el último confeccionado por de Castro y en ese formato. En el periodo de 1976 a 1993 apenas se incrementó el número de tablas, que fueron reordenadas, y se añadió una sección dedicada a los asteroides.

Última etapa

Con el tomo de 1994 se inició una etapa nueva, en que se llevó a cabo una renovación total de metodología, contenido y formato, a cargo del astrónomo Pere Planesas. Cuando el Director del Observatorio Astronómico Nacional me propuso ocuparme de la confección del ANUARIO medité acerca de cómo me gustaría que fuera. Propuse cambiar el formato del libro, aumentando su altura hasta 200 mm, y ligeramente su anchura, hasta 135 mm. Con una proporción de 3:2 su aspecto sería estéticamente más agradable y su tamaño seguiría siendo el propio de un manejable libro de bolsillo. Al disponer las páginas de mayor superficie se conseguía disminuir considerablemente el excesivo grosor de los tomos precedentes, que se redujo a unos 15 mm, e incluir en una sola página

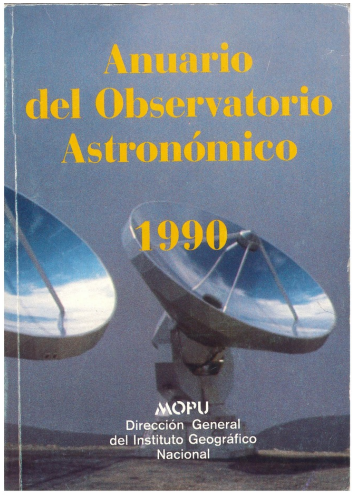
tablas que antes ocupaban dos. Por supuesto, el cambio de tamaño, generó la queja de algún coleccionista. En su defensa cabe decir que el más que bicentenario *Annuaire* ha cambiado tu tamaño en dos ocasiones, en los años 1934 y 1977. Además, al contrario que en la obra francesa y siguiendo la tradición desde que apareció el primer tomo del ANUARIO, se ha mantenido un precio muy asequible para cualquier usuario.

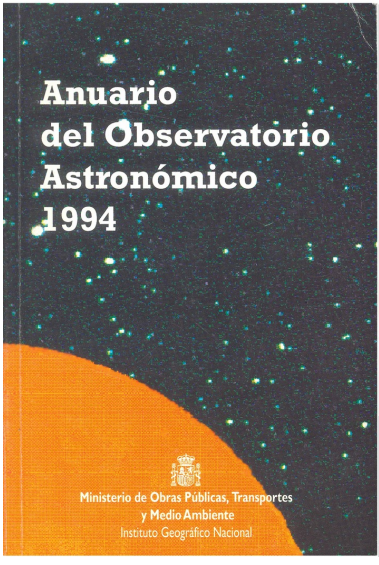
El contenido también fue revisado, considerando no solo el tradicional del ANUARIO sino también el de obras similares que se habían ido renovando, como el *Annuaire* del Bureau des Longitudes y el *Observer's Handbook* de la RASC. También fue mi intención complementar o sustituir tablas numéricas por ecuaciones que fueran fácilmente implementables en programas de ordenador y calculadoras programables, al alcance de muchos usuarios.

El propósito de desarrollar programas de ordenador (en Fortran) que permitieran realizar todos los cálculos se prolongó durante dos años, pero era una de las razones de la renovación: se trataba de conocer el fundamento, la precisión, los períodos de validez y las limitaciones de todos los cálculos que se realizaran. Además, al confeccionar las tablas mediante programas que las generaran ya maquetadas, se quería evitar los típicos errores de transcripción que se podían producir en la maquetación por una tercera persona. La composición se realizaba enteramente en LaTeX (un sistema de composición de textos usado en el ámbito científico) y se proporcionaba a la imprenta un archivo o un conjunto de archivos en formato Postscript adecuado para las modernas filmadoras de los talleres del IGN. Por supuesto, hubo que solventar algunos problemas de compatibilidad.

Como consecuencia del enorme trabajo que implicó confeccionar el ANUARIO desde cero, la edición para 1994 fue incompleta y, aunque contenía todas las tablas esenciales, la maquetación dejaba mucho que desear, debiendo ser mejorada en los años siguientes. El contenido no ha dejado de evolucionar: en 1995 y 1996 se incluyeron nuevas tablas, figuras y explicaciones, prácticamente completando el nuevo contenido. En 1997 se incluyó el índice alfabético por materias; en 1998 se cambió el tipo de fuentes de Computer Modern al más agradable Times Roman, se maquetó con LaTeX2e y se mejoró el estilo de las tablas; en 2000 se incluyeron nuevas tablas y en 2002, figuras adicionales. Desde 2003 se maqueta con pdfLaTeX, lo que permite generar un archivo PDF con todo el libro. Posteriormente se inició la transferencia del software a un sistema basado en linux, proceso que terminó en 2005, permitiendo una mayor automatización y el uso de un repositorio de versiones, útil tanto como copia de seguridad como para facilitar la colaboración de varios autores. Su extensión típica actual está entre 410 y 470 páginas.









En las primeras páginas del ANUARIO se encuentran el índice y la información más consultada (inicio de las estaciones, fases lunares, eclipses, fenómenos relevantes). En 1996 se empezó a poner parte de esta información en las páginas web del Observatorio Astronómico Nacional (`http://www.oan.es`), que se desarrollaron por iniciativa de Javier Alcolea, Pere Planesas y Pablo de Vicente. En la actualidad esta información se encuentra en la web del IGN:

https://astronomia.ign.es/web/guest/informacion-al-publico y se complementa con un sofisticado Servidor de Efemérides desarrollado por el astrónomo Tomás Alonso Albi, accesible en http://www.oan.es/servidorEphem/.

Desde el primer año hasta la fecha no se ha dejado de mejorar el software y la maquetación, de automatizar los procesos de elaboración de las distintas secciones, de añadir o mejorar las ilustraciones y de actualizar el contenido. También hubo que modificar la cubierta, en 2001, para adecuarla a la nueva normativa de imagen institucional promovida por el Ministerio de Administraciones Públicas, que la afeaba, y que, afortunadamente, pudo simplificarse en 2009, lo que se aprovechó para rediseñar enteramente la cubierta. Hacia el año 2000 la tirada era de 2.000 ejemplares, el 10% de los cuales se destinaban a intercambios con otras instituciones y al uso interno del Observatorio.

Ocasionalmente (2004, 2012) se ha realizado una profunda revisión del contenido. También se ha decidido en 2007 añadir una sección dedicada a los planetas enanos, tras la decisión de la Unión Astronómica Internacional en agosto 2006 de definir esta nueva familia de objetos, y en 2017 reducir el contenido de las tablas de cometas de corto periodo, cuando se ha elevado tanto el ritmo de descubrimientos que las hacía muy farragosas. (Actualmente se descubren unos 60 cometas y unos 40.000 asteroides al año.)

En la edición de 2005 se incluyó de nuevo la lista del personal científico del Observatorio Astronómico Nacional. En 2006 se introdujeron por primera vez pliegos en color en la sección dedicada a los artículos de divulgación, lo que les daba mayor vistosidad. En 2010 se sustituyeron figuras, como las del aspecto del cielo nocturno, por otras de mejor calidad realizadas utilizando el software JPARSEC desarrollado por Tomás Alonso.

En la edición para 2014 hubo diversos cambios impuestos por la Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales, que consistieron en cambiar el título de la obra a *Anuario del Real Observatorio de Madrid*; cambiar la lista de personal, excluyendo de ella la mayor parte del personal del Cuerpo de Astrónomos (que se redujo a los destinados al Observatorio Astronómico de Madrid) e incorporando el personal de geofísica que se encuentra ubicado en dicho Observatorio; ampliar considerablemente la sección dedicada a la Tierra, con información sobre sismología y geomagnetismo, y, en 2015, fijar una misma ilustración de cubierta para todos los anuarios sucesivos. En la edición de 2017, jubilado el subdirector, se empezaron a revertir dichos cambios, y desde 2018 se cambia cada año, como era habitual, la imagen de la cubierta para que haga referencia a uno de los artículos de divulgación y así también permita distinguir de manera visual las distintas ediciones.

Los autores

No es fácil saber quienes se responsabilizaron de la mayor parte del trabajo de confección del ANUARIO, pues no suele aparecer indicación alguna del autor o autores, hasta que a partir de 1994 se tomó tal costumbre, por exigencia del autor, el cual argumentó que, al no tratarse actualmente de una obra colectiva, sino fruto del trabajo y conocimientos de un astrónomo en concreto, su labor debía visibilizarse y, al mismo tiempo, responsabilizarse públicamente del resultado. A continuación expongo lo que he llegado a encontrar.

En la primera época la confección del ANUARIO fue una tarea colectiva, según se deduce de las Actas de la Junta de Astrónomos que figuran en el archivo. En la segunda época parece que hubo un responsable principal que contó con la ayuda de otros astrónomos, con contribuciones más o menos complejas. Por ejemplo, el responsable del anuario de 1908 fue Carlos Puente, que contó con la ayuda de Francisco Cos en el cálculo de las efemérides, de Antonio Vela en el de las ocultaciones de estrellas por la Luna y de Miguel Aguilar en los cálculos para observaciones de física solar. Puente siguió con esta tarea hasta su jubilación en noviembre de 1919, tras 40 años de servicio. A partir de entonces debieron ocuparse de ella Cos y Aguilar, como parece deducirse de un comentario en el prólogo del ANUARIO para 1925. Aguilar, que se ocupaba de parte de las tablas, murió ese mismo año, siendo sustituido en tal tarea por Gonzalo Reig. En el de 1927 consta que calendario, efemérides y tablas fueron realizados por Cos y Enrique Gastardi, mientras que Reig se ocupó de las ocultaciones. El de 1929 parece haber sido hecho por Cos, ya jefe del Observatorio, y Francisco Pinto. En el año de su jubilación, 1931, Cos todavía calculó buena parte del ANUARIO para el año siguiente.

En el ANUARIO para 1933 Enrique Gullón Senespleda amplió la parte gráfica. En el de 1934 se especifica que en su redacción tomó parte, según su especialidad y conveniencia del servicio, todo el personal. En el siguiente se anunció que el subdirector José Tinoco cuidaría en lo sucesivo la confección y revisión del ANUARIO, auxiliado por Miguel Aguilar Stuyck, que ya venía colaborando con Victoriano Fernández Ascarza en la confección de tablas. El de 1937, en plena guerra civil, fue confeccionado por Tinoco, con el posible apoyo de Gullón y Rafael Carrasco. El de 1938 fue confeccionado por Tinoco con el auxilio de Carrasco.

En el de 1951 se incluyó una noticia necrológica de Miguel Aguilar Stuyck, hijo y nieto de astrónomos, que colaboraba desde hacía muchos años en el cálculo y preparación del ANUARIO, tarea a la que se dedicó especialmente en los años previos a su muerte.

Mariano Martín Lorón se ocupó de la preparación y cálculo del ANUARIO desde su edición para 1954 hasta 1974. Tras la jubilación de Rafael Carrasco en 1971, Martín Lorón fue nombrado director del Observatorio.

En este mismo año se incorporó Ángel de Castro y de Castro, con lo que el Observatorio seguía contando con cinco astrónomos. El ANUARIO para 1974 fue preparado entre Martín Lorón, cercano a su jubilación, y de Castro, que iba a sustituirle en tal tarea. El de 1975 fue realizado por de Castro con la supervisión de Martín Lorón, que se jubiló en octubre de 1974, tras 47 años de servicio.

El ANUARIO de 1994 fue realizado por Pere Planesas Bigas, con la colaboración de otros astrónomos en algunas tablas y contenidos. En los años sucesivos lo realizó enteramente él, salvo alguna colaboración ocasional o la revisión de algún contenido, hasta que para el de 2007 inició su participación María Sánchez Ramos. Los dos confeccionaron el de 2008 y, tras la marcha de Planesas al Observatorio Europeo Austral (ESO) en marzo de 2008, Sánchez Ramos asumió todo el trabajo de confeccionar y actualizar el ANUARIO, con la colaboración ocasional de Tomás Alonso Albí en la renovación de algunas ilustraciones, mucho más vistosas, renovando tablas y sugiriendo mejoras. Tras su reincorporación en 2011, Planesas realizó labores de revisión hasta su jubilación voluntaria en 2017. (Documentándose para este artículo, el autor ha descubierto que no ha sido el primer astrónomo del Observatorio en jubilarse voluntariamente sin esperar a la edad reglamentaria, pues en 1932 lo hicieron Pedro Jiménez Landi y Gonzalo Reig Soler.) En la actualidad la astrónoma María Sánchez Ramos sigue confeccionando el ANUARIO.

Difusión

Durante buena parte del siglo pasado el ANUARIO fue objeto de intercambio de publicaciones con otros observatorios, nacionales y extranjeros, y se suministró a bibliotecas del ámbito astronómico o científico, algunas en el extranjero. En la actualidad son muy escasos tales intercambios. La tirada llegó a superar los 2.000 ejemplares anuales, buena parte de los cuales se vendían en las Tiendas del Mapa, en delegaciones provinciales del IGN, en librerías especializadas y por correo. El número de ejemplares impresos ha ido reduciéndose progresivamente, hasta unos 700 al año, a medida que los usuarios de las efemérides y de los datos que contiene el ANUARIO han dispuesto de revistas de divulgación de astronomía publicadas en España, de acceso a programas de ordenador de tipo "planetario" y a aplicaciones similares, y a la información disponible en internet, proporcionada por observatorios e instituciones especializadas (JPL, IMCCE, NASA, IAU, MPC, ROA, OAN, etc).

Durante varias décadas algunos de los artículos del ANUARIO se imprimieron en forma de separata, lo que facilitaba su intercambio y consulta con las personas interesadas en un tema en concreto, más o menos especializado. Ello dejó de hacerse en la década de 1980, precisamente cuando entre los científicos estaba en auge el intercambio

387

EL OBSERVATORIO ESPACIAL HERSCHEL

Pere Planesas

Observatorio Astronómico Nacional
y
Centro Nacional de Información Geográfica
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Javier Graciá Carpio

Fractal SLNE
y
Observatorio Astronómico Nacional

Abstract

The Herschel Space Observatory will be the first astronomical mission to study the cold Universe at far-infrared and submillimeter wavelengths. Its mail goal is to look at the formation of stars and galaxies. It will carry the largest telescope ever launched and three complementary scientific instruments. In this paper we describe the telescope, instruments, operation and main scientific objectives, as well as the OAN/CNIG participation in the design, construction and scientific core program of the heterodyne instrument HIFI.

Introducción

El Observatorio Espacial Herschel, conocido también por sus siglas en inglés HSO y coloquialmente como "Herschel", es la siguiente gran misión científica en astronomía que la Agencia Europea del Espacio (ESA) va a

419

403

IMPACTOS SOBRE LA TIERRA

Pablo de Vicente Abad

Observatorio Astronómico Nacional
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Abstract

The Earth receives around 30 000 tons of material from meteoroids every year. Most of them cause meteor showers, some, fireballs and a few of them meteoroids that impact on the ground. The Earth is also subject to big impacts from Near Earth Objects larger than 100 m. In the past these impacts have probably carried life to our planet but also destruction and large extinctions of species. The possibility of large impacts that could put into risk our civilization causes great worry. Some programs are currently underway to detect, monitor and compute the trajectory of Potentially Hazard Objects. Two web pages list and classify the impact risk by Near Earth Asteroids.

There are some ideas to shift the trajectory of hazard asteroids but all of them require spacecraft technology currently not available. For the time being only a very few spacecraft missions have been launched to land on an asteroid or shoot a comet with a small impactor. In the future a big asteroid or comet will impact the Earth and by then, human beings should have developed and tested a technology to avoid it. It will probably not happen soon, but we should be ready.

Introducción

El 22 de febrero de 2012, un telescopio robótico del Observatorio de Mallorca detectó un nuevo asteroide de unos 45 metros de diámetro. La noticia saltó a los medios 12 días después y en algunos periódicos se

406 *R.Bachiller*

¿CUÁL ES EL DESTINO DE LA VÍA LÁCTEA?

Santiago García Burillo

Observatorio Astronómico Nacional
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Abstract

The recent determination of the three-dimensional motion between Andromeda (M 31) and the Milky Way has allowed astronomers to predict with high accuracy the past history and the future evolution of the encounter between both galaxies. In about 4 billion years, Andromeda is going to start a dramatic collision with the Milky Way that will disrupt the stellar disks of both systems. The most likely scenario contemplates that the two galaxies are bound to merge and eventually form a massive giant elliptical after 10 billion years from now. During this colossal event, the supermassive black holes in our two galaxies will interact, and possibly merge. And if enough material piles up around the resulting beast, maybe our Milky Way could become a quasar.

Introducción

Nuestra Galaxia (también conocida como la *Vía Láctea, Milky Way* (MW) en su acepción inglesa) y la galaxia Andrómeda (M 31) son las galaxias más masivas del Grupo Local de galaxias (van den Bergh 2000). Este grupo incluye una cincuentena de objetos, en su mayoría galaxias enanas poco masivas. Como en el caso de la mayoría de los grupos de galaxias, el Grupo Local está muy probablemente desacoplado del movimiento cosmológico de expansión acelerada del universo y puede, por lo tanto, considerarse como una entidad gravitacionalmente ligada, y en cierto modo, *abandonada* a su suerte. En este contexto, concocer cuál será la evolución futura del Grupo Local, reviste un gran interés astronómico.

Las ondas gravitacionales, mensajeras de un universo oculto

Rafael Bachiller

Astrónomo y director del Observatorio Astronómico Nacional
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Resumen

La reciente detección de ondas gravitacionales por parte de la colaboración LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) supone la confirmación de una de las predicciones más sorprendentes de la teoría de la Relatividad General de Einstein, y proporciona a la astronomía una nueva herramienta para explorar el universo. Esta detección ha sido el producto de décadas de trabajo y desarrollos tecnológicos, y es considerada ya como uno de los resultados científicos más importantes de este siglo. Prueba de ello es la concesión del Premio Nobel de Física en 2017 a los principales responsables del experimento LIGO.

Las primeras ondas gravitacionales detectadas en la historia se originaron en la colisión de dos agujeros negros de 35 y 30 veces la masa de nuestro Sol, que tuvo lugar hace 1 400 millones de años. Su detección con LIGO el 14 de septiembre de 2015 marca el comienzo de una nueva época en la exploración del universo. En este artículo recorremos la apasionante historia de este hallazgo y de los que le siguieron, de su significado científico y de su impacto en el conocimiento humano.

La Relatividad General de Einstein

Para comprender el significado físico de las ondas gravitacionales hay que remontarse más de un siglo, concretamente al año 1915, momento

Figura 11: Ejemplos de artículos de divulgación publicados en los anuarios de los años 2008, 2013, 2016 y 2019 (de izquierda a derecha y de arriba a abajo).

de prepublicaciones en papel. Estas ahora se distribuyen a través de repositorios electrónicos (como arXiv.org). De modo análogo, los artículos de divulgación publicados en el ANUARIO a partir de 1994 están disponibles individualmente en formato PDF en la dirección https://astronomia.ign.es/anuario-astronomico.

El ANUARIO, como otros muchos libros de efemérides, sigue publicándose como referencia de información astronómica contrastada y avalada por una institución profesional y se comercializa con un bajo precio, para que su coste no suponga un inconveniente para su compra. Se ha discutido su posible conversión a ebook, pero no resulta fácil, por la cantidad de tablas complejas y fórmulas que contiene, salvo que se proporcione simplemente en un rígido formato PDF (los últimos ejemplares están disponibles en la dirección anterior). Pero por el momento se seguirá publicando como un clásico libro en papel, lo cual aprecian quienes lo coleccionan, de fácil manejo y con sus tradicionales artículos de divulgación, a todo color y escritos por científicos profesionales, que le proporcionan un valor añadido que creemos que es muy importante mantener.

En el ANUARIO de 1952 Tinoco incluyó una lista de todos los articulos, de divulgación o de resultados de observaciones, publicados en los anuarios desde 1860 hasta 1951. En total son unos doscientos artículos firmados, siendo los autores más prolíficos Miguel Merino, Victoriano Fernández Ascarza, Carlos Puente, Antonio Vela, Francisco Íñiguez, Pedro Carrasco y José Tinoco, todos ellos con más de diez contribuciones. Hubo en total 25 autores distintos.

En la etapa que va de 1952 a 1993 se publicaron 42 artículos, en promedio uno al año, por parte de 23 autores distintos, todos del Observatorio salvo dos, siendo el más prolífico Manuel López Arroyo, con 6 artículos.

A partir de 1994, tras hacerse cargo de la confección del ANUARIO Planesas, primero, y Sánchez Ramos, después, el número medio de artículos por año se ha duplicado (60 en 27 años). También ha aumentado la variedad, al contribuir autores ajenos al Observatorio con temas de arqueoastronomía, historia de la ciencia, meteorología, arte y literatura, todos ellos en relación con la astronomía, además de algunos de geofísica. Con ello se pretende hacer la obra más atractiva a sus lectores, por la mayor variedad temática y al publicar al menos dos artículos en cada tomo. El número total de autores ha sido de 29, siendo los más prolíficos en este periodo Pere Planesas, con 12 artículos, Rafael Bachiller, con 7, y Pablo de Vicente, con 5. Una selección de los artículos recientes ha sido recogida y puesta al día en el libro digital gratuito *Cuestiones de astronomía*, que se puede descargar en http://www.ign.es/web/ign/portal/publicaciones-boletines-y-libros-digitales.

Título y catalogación

En la revisión de todas las ediciones del ANUARIO llaman la atención los cambios que ha habido en la denominación de la obra y también de la institución. Uno de los cambios en el título, ya mencionado, fue debido a una cuestión administrativa: el cambio de adscripción propiciado por la caída de la monarquía. También se aprecian distintas denominaciones de la institución que lo confecciona en otros documentos, oficiales, como la Gaceta de Madrid, o de otra naturaleza, donde no parece haber un consenso en cómo denominar dicha institución. Algunos reflejan una ampliación de tareas (como la inclusión de la palabra Meteorológico) y otros pueden proceder simplemente de la decisión del director de turno o de quien redactaba un documento dado.



En documentos oficiales como son la Gaceta de Madrid (hasta 1959) y el Boletín Oficial del Estado (desde 1960) encontramos distintas denominaciones. Entre 1820 y 1840 en la Gaceta encontramos expresiones como "observatorio astronómico de esta corte" y Observatorio astronómico de Madrid. Desde el 2 de marzo de 1841 al 23 de setiembre de 1851 pasó a ser el Observatorio Meteorológico de Madrid. En la Real Orden de 1851 en que se le encomiendan de nuevo trabajos astronómicos aparece citado como Observatorio astronómico de Madrid, añadiendo que también será meteorológico. De hecho, en una nota relativa al paso de un cometa publicada en la Gaceta en 1853 se alude al Real Observatorio astronómico y meteorológico de Madrid. A partir de esta época en las notas meteorológicas aparece bajo el título de Real Observatorio de Madrid, hasta octubre de 1868 cuando, al pasar a depender del Rector

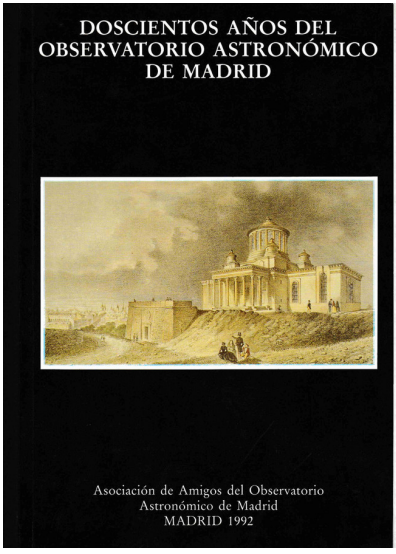
de la Universidad Central pierde, definitivamente, el apelativo Real. En la Gaceta es citado como Observatorio de Madrid hasta 1914 y como Observatorio Astronómico de Madrid a partir de entonces. Por fin, en el Decreto 245/1968 sobre reorganización de la Presidencia del Gobierno aparece la nueva denominación Observatorio Astronómico Nacional (que englobará el de Madrid y otros), aunque hasta 1972 en algunos artículos del BOE todavía aparecerá el de Madrid como Observatorio Astronómico de Madrid e incluso como Observatorio Astronómico Nacional de Madrid. En las convocatorias de oposiciones y becas y en los diversos cambios de ministerio y reorganizaciones ministeriales habidos posteriormente sólo se menciona el Observatorio Astronómico Nacional (OAN). La denominación que se le dé al de Madrid se limita al uso que consideren oportuno su dirección o la del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en el que el OAN esta adscrito, y aparece en convocatorias de licitaciones. La denominación habitual hasta alrededor de 2002 es la de Observatorio Astronómico de Madrid mientras que después y hasta hoy aparece con el apelativo Real. En cambio, en la actualidad en las páginas web del IGN aparece simplemente como Real Observatorio de Madrid, sin el calificativo de astronómico.

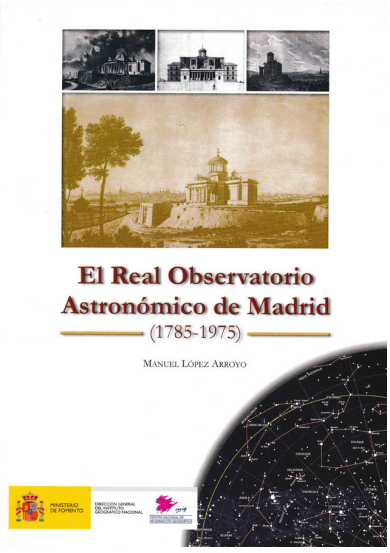
Ciñéndonos exclusivamente a los títulos del ANUARIO, nos encontramos que inicialmente (en 1860) este fue denominado *Anuario del Real Observatorio de Madrid*, nombre que mantuvo en 8 ediciones. En 1869, tras el exilio de la Reina y el consiguiente cese del Comisario Regio, pasó a denominarse *Anuario del Observatorio de Madrid*, nombre que mantuvo en 20 ediciones, independientemente de que en España hubiera de nuevo rey o no lo hubiera. A partir de 1927 se añadió a su nombre el calificativo de "astronómico", quizás para evitar confusiones con observatorios de otra naturaleza, pasando a titularse *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*, que es la denominación más longeva, pues se ha mantenido hasta 2013, con 87 ediciones. En 1984 el título en la cubierta se redujo, posiblemente por razones estéticas, a *Anuario del Observatorio Astronómico*, aunque el título completo de la obra se mantuvo en las páginas interiores. En 2014 volvió a cambiarse su título de la cubierta por *Anuario del Real Observatorio de Madrid*, que ha mantenido al menos hasta 2019, a expensas de que pueda cambiar de nuevo a fin de recuperar su tradicional apelativo "astronómico" y quizás perder el recién recuperado de "Real" que, en mi opinión, resulta forzado si se tiene en cuenta que dejó de utilizarse en 1869, hace un siglo y medio. Tantos cambios de denominación suponen un inconveniente, además, para la catalogación en las bibliotecas que lo coleccionan desde hace muchas décadas.

Afortunadamente, su código del Depósito Legal, establecido en 1958 (BOE del 20 de enero), se mantiene constante para toda la colección del ANUARIO desde ese mismo año (M-7390-1958), como también lo es su número internacional normalizado de publicaciones seriadas (ISSN 0373-5125). Bajo este número ISSN, y bajo el único título para toda la serie

de *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*, se encuentra la colección de anuarios desde 1927 en la Biblioteca Nacional de España.

Confiemos en que esta obra, que tantos esfuerzos ha requerido a generaciones de astrónomos, tenga continuidad, en formato de papel o electrónico, como referente de información astronómica anual actual y de buena divulgación.





Referencias

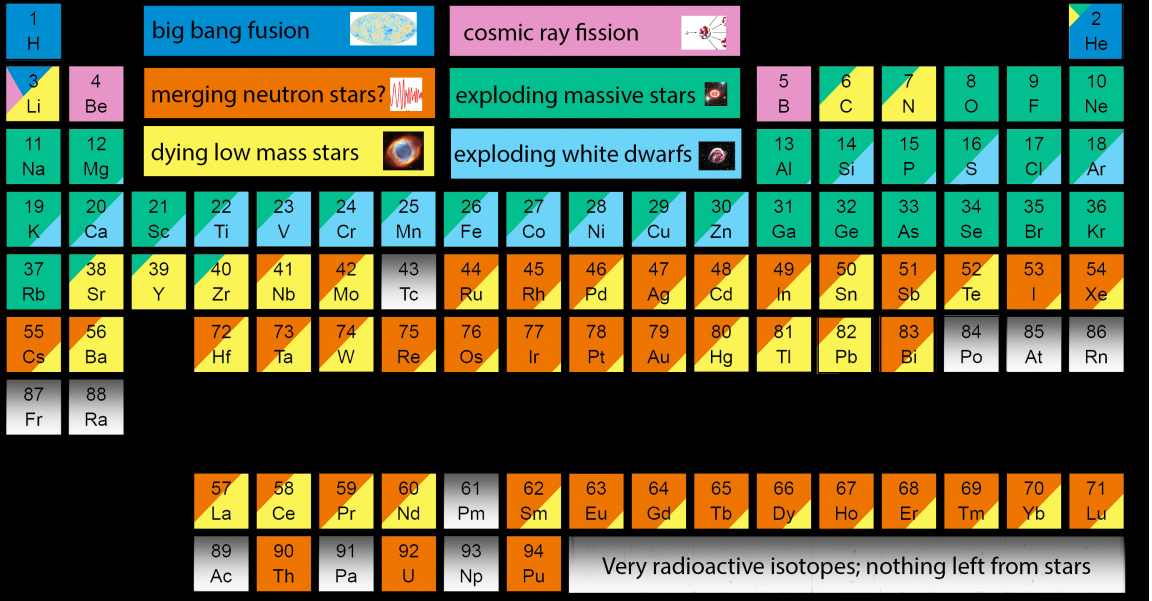
Anuarios del Observatorio Astronómico de Madrid, sus prólogos y en particular los artículos correspondientes a los años 1860 (Gil de Zárate), 1868 (Aguilar), 1872 (Merino), 1922 (Vela), 1952 (Tinoco) y 2018 (Planesas).

Biblioteca y archivo del Observatorio Astronómico de Madrid.

Manuel López Arroyo, *El Real Observatorio Astronómico de Madrid (1785-1973)*, 2004, CNIG-ING.

VV.AA., *Doscientos años del Observatorio Astronómico de Madrid*, 1992, Asociación de Amigos del Observatorio Astronómico de Madrid.

The Origin of the Solar System Elements



Graphic created by Jennifer Johnson
http://www.astronomy.ohio-state.edu/~jaj/nucleo/

Astronomical Image Credits:
ESA/NASA/AASNova

NUESTROS ORÍGENES CÓSMICOS

Belén Tercero

Observatorio Astronómico Nacional - Observatorio de Yebes
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Introducción

En este artículo, repasaremos algunos aspectos fundamentales para comprender la complejidad química del universo. Esta es una cuestión de gran interés: como todos sabemos, "somos polvo de estrellas" tal y como decía Carl Sagan, pero resulta complicado hallar la conexión entre la formación de los elementos químicos y de moléculas en el universo y la complejidad química y biológica de la Tierra, de la que nosotros formamos parte. Con el fin de ahondar en esta conexión, vamos a hacer un recorrido general sobre la síntesis de átomos y especies moleculares en el espacio exterior, recordando que toda esta evolución química constituye la base de la complejidad de la vida de nuestro planeta.

Para poder llevar a cabo esta tarea, tendremos que viajar por múltiples momentos y objetos diferentes del cosmos. Nos remontaremos a los inicios del universo para detenernos en la formación de los constituyentes de los elementos químicos y de los átomos más sencillos. Haremos una breve parada en el alba cósmica, donde surgieron las primeras estrellas del universo y el procesamiento de nuevos elementos. Las distintas maneras en que las estrellas viven y finalizan sus vidas y eventos cataclísmicos como la fusión de estrellas de neutrones, nos proporcionarán la explicación del origen de los múltiples elementos de la tabla periódica. En este momento, pasaremos a fijarnos en los objetos más fríos del cosmos porque es en ellos donde se encuentran gran variedad de especies moleculares, muchas de ellas, moléculas orgánicas complejas. Así, explicaremos la formación de moléculas en nubes del medio interestelar que albergan la formación

de estrellas y planetas. Finalmente, actuando como nexo entre el espacio y nuestro planeta discutiremos la complejidad química hallada en los cometas y los meteoritos.

Los primeros átomos

Podríamos decir que el constituyente básico de la materia ordinaria es el átomo, y, como sabemos, el átomo se compone de protones, neutrones y electrones. Efectivamente, existen partículas más fundamentales, los quarks, de las que se componen tanto protones como neutrones, pero vamos a comenzar el camino de nuestros orígenes cósmicos con la creación de los primeros núcleos atómicos, es decir, con la unión de protones y neutrones. Como ya hemos adelantado, de manera inevitable, nos tenemos que remontar a los inicios del universo (figura 1).

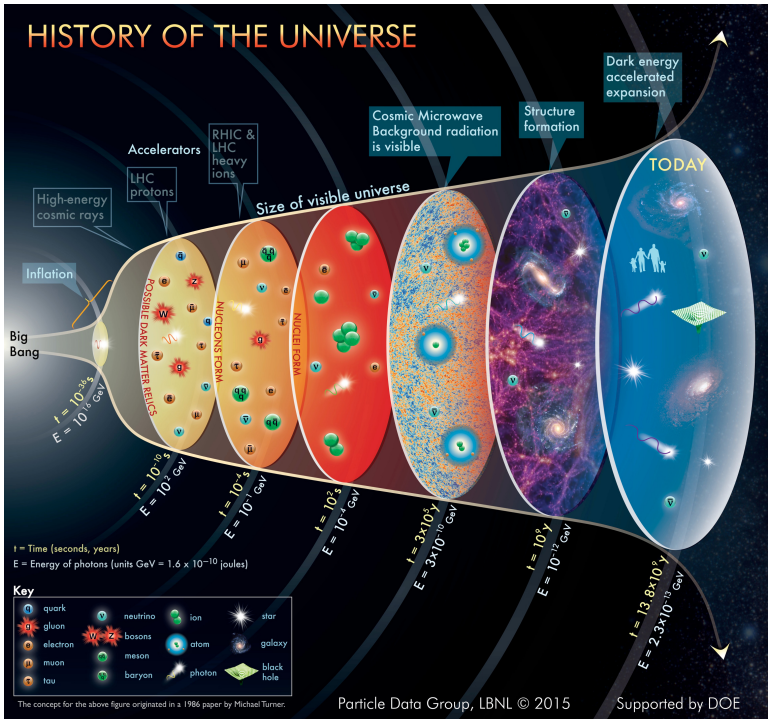


Figura 1: Recreación de la historia del universo. Crédito: Particle Data Group at Lawrence Berkeley National Lab.

Poco tiempo después del Big Bang, las (anti-)partículas podían crearse a partir de energía térmica. La temperatura era tan elevada que la materia y la antimateria estaban en equilibrio con la radiación. Debido a la expansión, la temperatura disminuyó hasta un punto en que desapareció este equilibrio y las partículas y antipartículas existentes ya solo podían aniquilarse entre ellas o decaer[1]. Además, en este punto parece que existió una pequeña asimetría en la tasa de decaimiento de materia y antimateria, primando una sobre la otra, en una proporción de $1/10^9$. Es decir, de esa pequeña proporción de materia en exceso se compone todo el universo que conocemos.

Así, al finalizar lo que se llama la era leptónica (con el universo a una temperaura de 10^{10} K y un tiempo de vida de 1 segundo después del Big Bang) la antimateria desaparece y todo será formado a partir de protones, neutrones y electrones. Desde este momento hasta unos 10 segundos después del Big Bang, los protones y neutrones se mantenían en equilibrio dado que la energía térmica del universo era superior a la diferencia de masa entre ambos. Cuando la temperatura descendió y cesó la reacción que mantenía a estas parítculas en equilibrio, los protones y neutrones aislados ya solo podrían decaer. Mientras que el protón puede considerarse como una partícula estable, el neutrón, por el contrario, si se encuentra aislado, decae en un protón con un tiempo característico de unos quince minutos (890 s). Es decir, si no hubiera otras reacciones que estabilizaran a los neutrones, todos los neutrones se hubieran convertido en protones y no habría más átomos que el hidrógeno: todo el universo estaría constituido de hidrógeno (¡qué distinto habría sido todo!). Pero afortunadamente para nosotros, creemos, existe una reacción que estabiliza a los neutrones, la formación de un núcleo de deuterio[2] (^{2}H). A un tiempo de 100 segundos después del Big Bang, la reacción que permite unirse a los protones y los neutrones va en un solo sentido, poduciendo núcleos de deuterio y de helio (ver figura 2).

En ese momento la proporción de helio con respecto hidrógeno que se formó fue de un 25% en masa. Esa proporción se observa cuando se estudia la composición de galaxias lejanas, lo que es un gran éxito para la teoría del Big Bang y de la nucleosíntesis primordial. En este punto también se formaron algunos núcleos de elementos livianos: litio e isótopos de berilio. Para la creación de elementos más pesados tenemos que esperar a la formación de las primeras estrellas del universo. De todos los elementos conocidos, solo el hidrógeno y el helio se formaron en proporciones significativas en los primeros segundos del universo. Es más, to-

[1] Esta temperatura es diferente dependiendo de las partículas: para los bariones (protones, neutrones y sus correspondientes antipartículas) se da a unos 10^{13} K, a un tiempo de 10^{-5} s después del Big Bang, mientras que para los leptones (electrones y positrones) se da a una temperatura de 10^{10} K y a un tiempo de 1 s después del Big Bang (0 K = −273,15 °C).

[2] El deuterio es un isótopo del hidrógeno. Mientras que el núcleo del átomo de hidrógeno se constituye tan solo de un protón, el de deuterio consta de un protón y un neutrón.

do el hidrógeno que existe en el universo se formó en esta nucleosíntesis primordial.

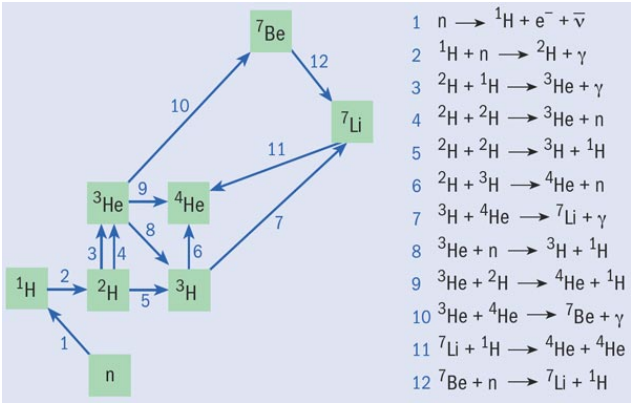


Figura 2: Nucleosíntesis primordial. Crédito: `https://physicsworld.com/a/testing-the-elements-of-the-big-bang/`

Recordemos que hasta ahora solo hemos formado los núcleos de estos átomos. En esta época del universo, los núcleos y los electrones no están ligados. La radiación tiene sufiente energía para disociar los encuentros casuales entre por ejemplo, un protón y un electrón, para formar un átomo de hidrógeno. Los fotones que componen esta radiación, a su vez, son absorbidos rápidamente en estos encuentros. El cambio ocurre cuando la temperatura del universo cae a 3 000 K y este tiene 300 000 años, el momento de la gran recombinación. La radiación pierde energía, ya no puede disociar a los átomos que se forman en los encuentros entre núcleos y electrones, y los fotones ya no serán rápidamente absorbidos pudiendo escapar y llenar el universo[3]. En este momento la radiación se desacopla de la materia y existe en el universo una niebla oscura de átomos de hidrógeno y de helio.

[3]En efecto, como esta radiación ya no es absorbida llena y llenará siempre el universo. Es lo que conocemos como la radiación de fondo cósmico de microondas. En nuestros días esta radiación tiene una temperatura de 2.7 K; su temperatura ha caído un factor 1 000 desde la época de la gran recombinación, ya que el tamaño del Universo ha sido multiplicado por este mismo factor desde entonces. En los años de la década de 1960, Robert Dicke y James Peebles predijeron la existencia de esta radiación de fondo en el rango de frecuencia de las microondas y se embarcaron en la construcción de una antena para confirmar esta predicción. Sin embargo, fueron adelantados, por casualidad, por dos ingenieros, Arno Penzias y Robert Wilson que habían construido una antena de microondas destinada a recibir las señales del primer satélite de comunicación. En mayo de 1965, observaron una señal que presentaba la particularidad de ser idéntica en todas las direcciones del cielo. Tras un tiempo en el que los ingenieros revisaron el sistema de recepción con el fin de encontrar algún tipo de fallo que diera lugar a esta "anomalía", la señal fue fácilmente explicada cuando Penzias y Wilson tuvieron conocimiento de los trabajos de Dicke y Peebles. Este descubrimiento constituyó un éxito brillante para la teoría del Big Bang.

El alba cósmica

Nos encontramos en la edad oscura del universo. Como hemos dicho, tras el momento de la gran recombinación, una niebla de átomos de hidrógeno y helio llenaba el espacio sin emitir luz. La congregación de estos elementos en ciertas regiones tuvo que dar lugar a las primeras estrellas. No será hasta que se forme esta primera generación de estrellas que exitan elementos más pesados en el cosmos.

Sin embargo, las primeras estrellas tuvieron que formarse de una manera muy diferente a como nacen las estrellas en nuestra galaxia. Dado que el gas reflejaba la composición de la nucleosíntesis primordial, este carecía de carbono y oxígeno. Especies que contienen estos elementos actúan como refrigerante del gas en las nubes de nuestra galaxia, permitiendo que este llegue a temperaturas de unos 10 K y nubes de masa no muy elevada puedan colapsar dando lugar a la creación de estrellas como nuestro Sol. En aquel universo lejano, el gas solo podía enfriarse hasta unos 100 K, lo que implica que la masa de materia necesaria para colapsar y convertirse en una estrella fuera mucho mayor. Es por ello que las primeras estrellas del universo debieron de ser estrellas muy masivas (figura 3).

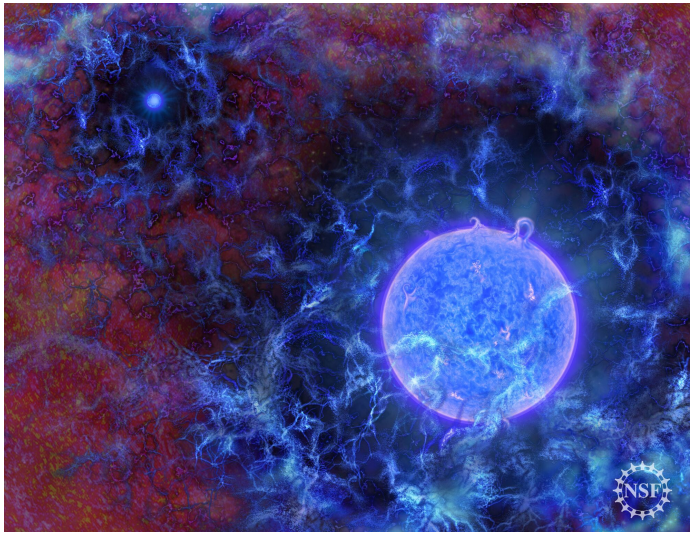


Figura 3: Recreación de las primeras estrellas del universo. Los filamentos representan el gas frío de alrededor absorbiendo la luz ultravioleta de estas primeras estrellas. Crédito: N. R. Fuller, National Science Foundation.

Existen varias incógnitas en torno al tiempo en que estas estrellas se formaron y la manera en que lo hicieron. Es por ello, que la búsqueda de respuestas en torno a estas cuestiones constituye un campo de investigación fascinante y de plena actualidad. Apenas hace un año, se realizaron unos descubrimientos importantes en relación a esta primera generación de estrellas.



Figura 4: Radiotelescopio de Murchison en Australia. Crédito: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia.

En febrero de 2018 se detectó lo que parece una huella de las primeras estrellas del cosmos. La idea consistía en detectar la señal causada por la línea de 21 cm de hidrógeno, asociada al gas de los alrededores calentado por la radiación de estas estrellas. Para el propósito se construyó un radiotelescopio que opera a muy baja frecuencia en Murchinson[4], en pleno desierto occidental australiano (figura 4). El aislamiento del instrumento era un requisito necesario para minimizar las interferencias debidas a las comunicaciones terrestres. Los investigadores de este trabajo detectaron una absorción a 78 MHz lo que implica que la señal provenía de un tiempo de 180 millones de años después del Big Bang[5]. Este tiempo es compatible

[4]El mismo lugar donde fue hallado el meteorito del que hablaremos más adelante.

[5]En un sistema en reposo la señal aparecería a 1 420 MHz (equivalente a una longitud de onda de 21 cm). Por el efecto Doppler, la señal nos llega a una frecuencia diferente si la fuente de emisión se está alejando o acercando con respecto a nuestra posición. La expansión del universo permite relacionar la frecuencia de la señal recibida y la edad del universo en el momento de la emisión de la señal.

con el tiempo de la formación de las primeras estrellas según los modelos teóricos del universo[6].

Conectando de manera especial con el propósito de este artículo, en el verano de 2018, otro equipo de investigadores, utilizando el interferómetro ALMA y el telescopio VLT, detectó una señal de oxígeno (¡ya no solo tenemos hidrógeno y helio!) a solo 500 millones de años después del Big Bang, en una de las galaxias más lejanas conocidas, MACS1149-JD1. Por tanto, esta galaxia ya presenta una población de estrellas maduras e incluso ha debido existir una generación previa de estrellas en esa galaxia. Con esta observación, estos investigadores proponen el alba cósmica en un tiempo de unos 250 millones de años después del Big Bang.

De este modo, de acuerdo con los resultados más recientes, tras unos 200 millones de años después del Big Bang ya tenemos estrellas en el universo. Es el momento, por tanto, de adentrarnos en cómo el resto de los elementos químicos han sido formados.

Los elementos de la tabla periódica

Como confiesa Jennifer Johnson[7], un astrónomo solo reconoce tres elementos en la tabla periódica: hidrógeno, helio y "metales". Generalmente, referimos como metales no solo el oro, estaño, plata o cobre, por ejemplo, sino también el oxígeno, el neon, el cloro... El esquema de nombres funciona realmente bien si dividimos los elementos entre aquellos formados en la nucleosíntesis primordial poco después del Big Bang y todos los demás. Pero, por supuesto, como podemos intuir, la división no es tan sencilla si tratamos de buscar los orígenes de cada uno de estos "metales".

En 2008, las astrónomas Jennifer Johnson e Inese Ivans[8] se embarcaron en la tarea de identificar el origen cósmico de los elementos de la tabla periódica. En la figura 5 se muestra un primer borrador de ese trabajo donde marcan los procesos nucleares que dan lugar a la creación de muchos de los elementos químicos. El desafío consistía en identificar qué tipo de proceso nuclear se da en las distintas fases de la evolución estelar y en qué proporción, con respecto a la abundancia que presentan en el sistema solar, se crean los elementos en cada una de las fases.

Recordemos que nos habíamos quedado en el alba cósmica y en la formación de las primeras estrellas masivas compuestas de hidrógeno y

[6]Otro resultado muy significativo de esta investigación es que el gas de aquel universo podría estar más frío de lo que predicen los modelos (3 K frente a 7 K). Si esto se confirmara, los investigadores proponen la materia oscura como responsable de ese enfriamiento.

[7]Ohio State University

[8]University of Utah

helio. Como ya hemos adelantado, el resto de los elementos químicos se forman en el interior de las estrellas, en la forma de morir de estas y en procesos de fusión de remanentes estelares. La producción de cada uno de los elementos es debida a procesos nucleares distintos y estadios diferentes de evolución estelar. En la muerte de las estrellas, el nuevo material procesado es devuelto al medio interestelar y formará parte de la composición de la nueva generación de estrellas. De esta manera, las estrellas de una nueva generación serán más ricas en metales que sus antecesoras. La figura 6 muestra el ciclo de la vida de las estrellas: su vida, los elementos procesados en el interior y su fase final dependerán de la masa con la que se ha formado. La vida media de una estrella masiva es mucho menor que la de una estrella como nuestro Sol. Mientras que una estrella como nuestro Sol vive un tiempo de unos 10 000 millones de años, una estrella con 20 veces la masa del Sol lo hará tan solo 10 millones de años. Por otro lado, mientras que las estrellas masivas terminan sus vidas explotando como supernovas tipo II, dejando un remanente que, dependiendo de la masa, será un agujero negro o una estrella de neutrones, las estrellas poco masivas, al final de sus vidas, expulsan su envoltura de manera no explosiva durante la fase de gigante roja. El remanente, una enana blanca, podrá ir enfriándose poco a poco o, si forma parte de un sistema binario, podrá acretar materia o fusionarse con otra enana blanca y terminar explotando como una supernova tipo I.

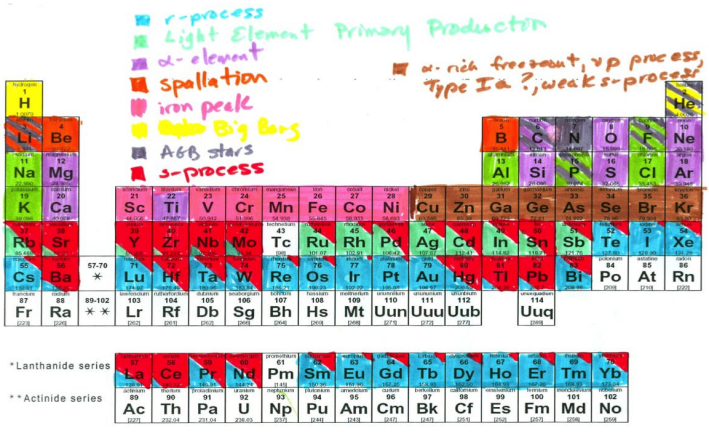


Figura 5: Primera versión del origen de los elementos de la tabla periódica realizada por J. Johnson e I. Ivans en 2008. Crédito: Jennifer Johnson and Inese Ivans.

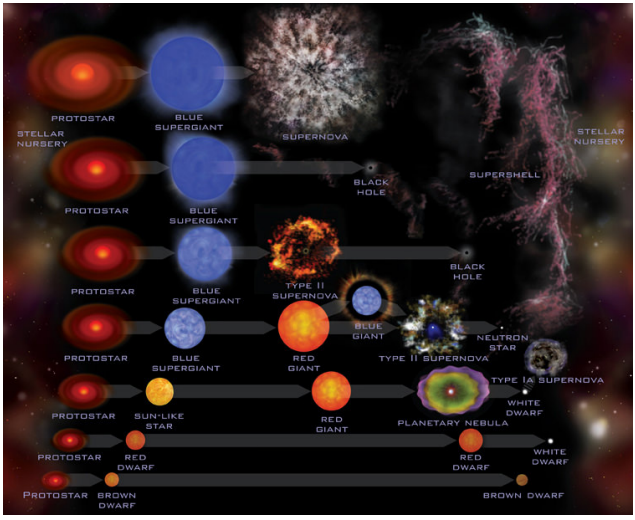


Figura 6: Ciclo de la vida de las estrellas. Crédito: `https://www.universetoday.com/24629/life-cycle-of-stars/`

Teniendo en mente la evolución estelar, es fácil entender la versión actual de la tabla periódica realizada por Jennifer Johnson (ver figura 7). En ella podemos visualizar el origen cósmico de los elementos químicos.

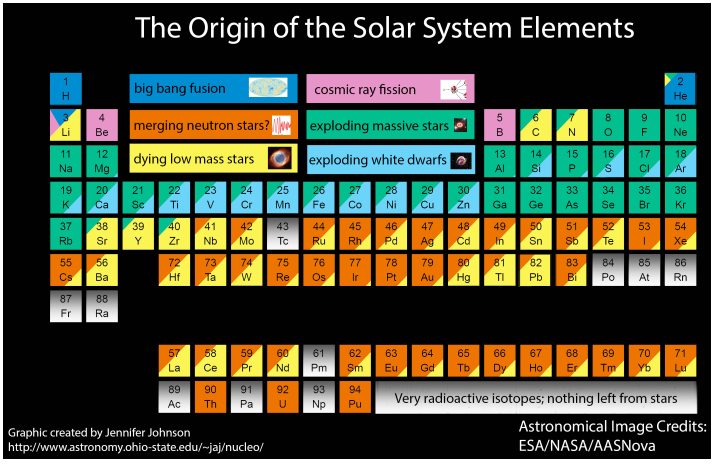


Figura 7: La tabla periódica con el origen cósmico de los elementos realizada por J. Johnson. Crédito: ESA/NASA/AASNova.

Siguiendo la evolución del universo, los primeros elementos que debieron enriquecer el medio interestelar fueron aquellos procesados en el interior de las estrellas masivas eyectados por medio de la explosión de supernova y en la nucleosíntesis adicional producida durante este evento. En el interior de las estrellas masivas, la reacción de fusión nuclear que predomina es el ciclo CNO, donde el hidrógeno se convierte en helio y el carbono actúa como catalizador[9]. Una vez que se agota el hidrógeno en el núcleo, la fusión procede en múltiples capas alrededor del núcleo donde en cada una de ellas se produce la quema de un elemento. Reacciones de fusión de helio producen carbono (reacción triple *alpha*), el carbono se fusiona obteniéndose oxígeno, magnesio, neon y sodio, y reacciones nucleares de oxígeno producen azufre, silicio y otros elementos. Tras la quema de oxígeno, el núcleo alcanza una temperatura tan elevada que el silicio y el azufre se fusionan con partículas ligeras para crear elementos como hierro y níquel. Estos elementos son los más pesados que se producen a través de reacciones de fusión nuclear en los interiores estelares.

Cuando la estrella ha quemado todo el silicio, esta se aproxima a su explosión como supernova. Las supernovas tipo II enriquecerán el medio interestelar: (1) la explosión eyectará los elementos producidos durante la vida de la estrella; (2) las ondas de choque causadas darán lugar a una nucleosíntesis adicional; y (3) algunas partículas ligeras serán aceleradas a velocidades próximas a la de la luz, creando los rayos cósmicos, que mediante fisión producen elementos como litio, berilio y boro[10].

Por tanto, el universo en sus inicios se enriqueció con elementos procesados en las estrellas masivas y en su muerte como supernovas. Gracias a los metales procesados en esta primera generación de estrellas, los procesos de formación estelar se vieron modificados permitiendo la creación de estrellas poco masivas en la segunda generación de estrellas. Sin embargo, antes de que la vida de estas primeras estrellas poco masivas llegara a su fin, otros eventos cataclísmicos tuvieron lugar y crearon nuevos elementos. Como nuestras primeras estrellas masivas ya han estallado como supernova, los objetos remanentes, agujeros negros y estrellas de neutrones, pueden quedar atrapados en un sistema binario. La emisión de ondas gravitacionales llevará las órbitas de estos objetos cada vez más cerca, pudiendo fusionarse en un tiempo de 10 millones de años después de que comenzara la formación estelar.

La mayoría de los elementos más pesados que el níquel se forman, fundamentalmente, mediante la captura de neutrones a través de los procesos *s* (*slow*) y *r* (*rapid*). Sin embargo, para que se den estos procesos debe existir un flujo de neutrones libres. Después de la nucleosíntesis

[9] La primera generación de estrellas masivas tuvo que crear carbono mediante una primera fusión del helio para poder llevar a cabo esta reacción en el interior.

[10] Veremos también el papel fundamental de los rayos cósmicos en la creación de moléculas en las nubes moleculares del medio interestelar.

primordial, esto solo se da en determinadas circunstancias: principalmente en la explosión provocada por la colisión de estrellas de neutrones, denominada kilonova (donde predomina el proceso *r*) y en las fases finales de la vida de las estrellas poco masivas (donde predomina el proceso *s*)[11]. En las explosiones de supernova, aunque se puede dar una pequeña proporción de elementos creados por captura de neutrones, la mayoría de los neutrones no son liberados en la explosión, quedando atrapados en el objeto remanente.

Hasta hace poco más de dos años, se desconocía el origen de, por ejemplo, un elemento como el oro, tan apreciado en nuestro planeta. En el otoño de 2017 con la detección de ondas gravitacionales de estrellas de neutrones en colisión se abrió una nueva vía. El estudio posterior de los datos de este evento cataclísmico confirmó la teoría de que estas inusuales explosiones estelares bombean vastas cantidades de oro y elementos pesados creados por procesos *r* (figura 8). En estas reacciones, el núcleo atómico agrega una gran cantidad de neutrones antes de que el núcleo decaiga con desintegraciones *beta*, con lo que se crea un núcleo muy rico en neutrones y altamente inestable.

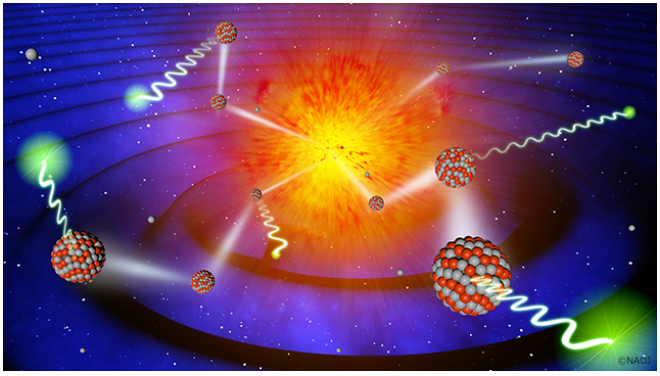


Figura 8: Recreación de síntesis de elementos por procesos *r* durante la fusión de dos estrellas de neutrones. Crédito: NAOJ.

Si nos fijamos de nuevo en la figura 7, sin la ayuda de las estrellas poco masivas, pueden ser procesados prácticamente todos los elementos de la tabla periódica (aunque no todos los isótopos). Los elementos creados por las estrellas poco masivas contribuyeron al enriquecimeinto

[11] En los últimos años, también está empezando a cobrar protagonismo los procesos *i* (*intermediate*, pero también *interesting*, *important*...), ya que existen abundancias significativas de elementos que no pueden explicarse mediante procesos *s* creados en las fases finales de las estrellas poco masivas y de masa intermedia.

del medio cuando el universo ya contaba con 10 000 millones de años, más de la mitad de su edad actual. La nucleosíntesis en el interior de las estrellas poco masivas cesa con la producción de carbono y oxígeno, y, por tanto, no contribuyen con los elementos del pico del hierro. La estrella termina su vida eyectando de manera pausada su envoltura. Estas estrellas contribuyen al enriquecimeinto del medio con grandes cantidades de helio, carbono y nitrógeno producidos en procesos nucleares en la envoltura (el carbono y el oxígeno producidos en el interior quedan atrapados en su remanente, la enana blanca). Además, estas estrellas también participan del enriquecimiento del medio en elementos más pesados que el níquel: ciertas reacciones nucleares producen un exceso de neutrones que reaccionan con hierro y otros núcleos que fueron formados en generaciones de estrellas anteriores. En estas estrellas interviene el proceso *s*: el núcleo atrapa un neutrón por semana o mes. Si con el neutrón atrapado el núcleo se vuelve inestable, se producirán desintegraciones *beta* que transformarán un neutrón en un protón, dando lugar a un átomo distinto. Generalmente, esto tiene lugar antes de que el núcleo atrape un nuevo neutrón.

Finalmente, si el remanente, la enana blanca, acreta materia, se puede producir la ignición del carbono y el oxígeno dando lugar a elementos como silicio y hierro. Esta nucleosíntesis explosiva dura tan solo unos segundos y da lugar a las supernovas tipo I. La explosión eyecta el material al medio. En estas explosiones no se producen elementos más pesados ya que no existe un flujo de neutrones libres.

A pesar de que, de manera individual, las estrellas masivas contribuyen con una proporción mayor de metales al medio, después de la primera generación de estrellas, se forman muchas más estrellas poco masivas que masivas, por lo que las estrellas poco masivas en conjunto contribuyen de manera muy significativa a las abundancias de los elementos medidas en el sistema solar.

El universo molecular

Hemos visto el origen de los elementos químicos, sin embargo, cuando nos referimos a la complejidad química del universo, no solo nos referimos a la variedad de elementos químicos, sino a cómo estos átomos se han unido para dar lugar a estructuras tan complejas como las que alberga nuestro planeta. Por ejemplo, el ADN, molécula básica para la vida, está tan solo formado por hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno y fósforo (figura 9).

Para estudiar esta complejidad química hay que adentrarse en el universo molecular. Es en las regiones más frías del universo donde encontramos una gran variedad de especies moleculares. La información sobre este universo la recibimos en forma de radiación electromagnética de baja frecuencia, en el dominio de las ondas de radio. El campo de estudio

de la astrofísica molecular es, por tanto, relativamente joven: esta displina empezó a cobrar relevancia a medida que fueron desarrolladas las técnicas de observación radioastronómicas.

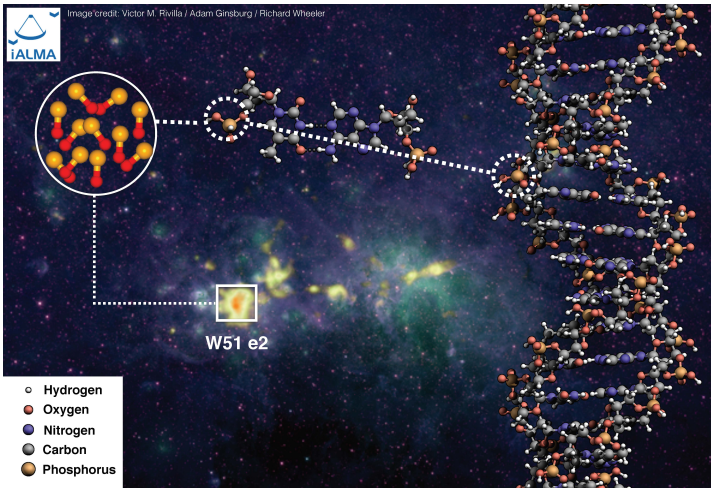


Figura 9: Recreación de la detección de la molécula de PO en la región de formación de estrellas masivas W51 e2. La imagen muestra que esta molécula es uno de los constituyentes de la molécula de ADN. Crédito: V. M. Rivilla, A. Gisburg, R. Wheeler.

La primera detección de ondas de radio de origen extraterrestre fue realizada por Karl G. Jansky en la década de 1930, mientras llevaba a cabo su trabajo para los laboratorios Bell sobre interferencias atmosféricas en las comunicaciones transatlánticas. Grote Reber, haciéndose eco de este hallazgo, construyó una antena parabólica de 9 m de diámetro con el fin de realizar observaciones astronómicas (figura 10). En 1944, Reber consiguió publicar el trabajo de sus observaciones en el *Astrophysical Journal*, constituyéndose como el primer artículo científico que trataba sobre la emisión radio del espacio exterior.

En la década de 1960, junto con el gran desarrollo en la instrumentación, la radioastronomía experimentó varios de sus grandes hitos: los descubrimientos de los cuásares, galaxias muy lejanas que figuran entre las fuentes más brillantes del universo, de los púlsares o estrellas de neutrones que giran a gran velocidad emitiendo pulsos de ondas de radio, y de la radiación de fondo cósmico de microondas, que supuso la primera prueba sólida a favor de la teoría del Big Bang. En relación con el universo molecular, en esta misma década se detectó por primera vez una molécula en el medio interestelar mediante técnicas de radio,

el radical hidroxilo (OH). Pero fue en los años de la década de 1970 (y finales de los 60) cuando comenzó la auténtica revolución de las detecciones moleculares[12]: amoníaco (NH_3), agua (H_2O), formaldehído (H_2CO), monóxido de carbono (CO), y muchas otras, la mayoría de naturaleza orgánica.

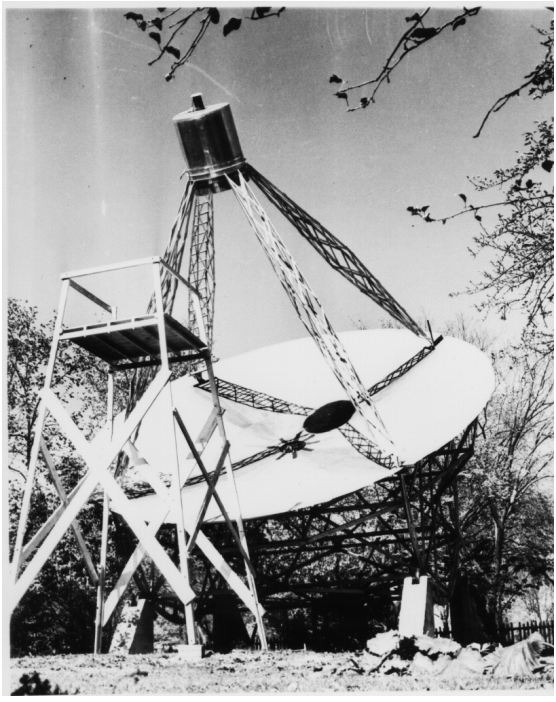


Figura 10: Telescopio construido por Grote Reber en 1937 en el patio trasero de su domicilio en Wheaton (Chicago), Illinois. Crédito: NRAO.

Estos descubrimientos dieron lugar a una nueva rama de la astrofísica: la astrofísica molecular. Hoy en día sabemos que las moléculas existen en el universo en aquellas regiones con temperaturas menores de unos 2 000 K[13]

[12]En general, las detecciones moleculares en el dominio de las ondas de radio se realizan a través del espectro rotacional de las especies. Estas moléculas detectadas, por tanto, se encuentran en fase gaseosa.

[13]Este valor depende de varios factores, como, por ejemplo, de la densidad del medio, y puede haber desviaciones significativas con respecto al número aquí presentado como estándar.

y tiempos de vida suficientemente largos como para permitir que se den las reacciones químicas. El tiempo de vida es una variable muy a tener en cuenta, pues en la mayoría de las regiones donde se detectan las moléculas en el espacio las densidades son extremadamente bajas. En general son del orden (o menores) del mejor vacío que se puede conseguir en la tierra con la tecnología más sofisticada. Por tanto, para que dos partículas se encuentren y reaccionen, suelen trancurrir tiempos muy elevados. En general los ambientes del medio interestelar donde encontramos moléculas son muy hostiles: por ejemplo, las nubes moleculares oscuras, lugares donde se da la formación de estrellas como nuestro Sol, tienen unas densidades típicas de apenas 10^4 partículas por cada cm^3 y unas temperaturas que rondan los 10 K.

En la actualidad, hay aproximadamente 200 especies moleculares distintas observadas en el espacio. La mayoría de las especies detectadas son orgánicas, es decir, basadas en carbono. Hay muy pocas detectadas con más de 12 átomos: solo los furelenos[14] (C_{60} y C_{70}), el benzonitrilo (c-C_6H_5CN) y los PAHs. Los PAHs (por sus siglas en inglés), hidrocarburos policíclicos aromáticos[15], son grandes moléculas que contienen varios anillos aromáticos en su estructura. Se estima que los PAHs del medio interestelar cuentan, aproximadamente, con 50 átomos de carbono. Se observan, principalmente, en las fronteras de nubes moleculares donde incide radiación ultravioleta proveniente de estrellas próximas. En la Tierra, podemos encontrarlos tanto en combustibles fósiles (petróleo, carbón) como en los productos de su combustión. Aunque los PAHs se detectan de forma rutinaria en el espacio, tanto su formación como su enorme abundancia continúan siendo un misterio.

A pesar de la complejidad de los distintos mecanismos químicos que gobiernan la producción de moléculas en el espacio, existen algunas ideas básicas que nos pueden ayudar a entender cómo moléculas tan complejas existen en el medio interestelar[16].

(1) Como cabría esperar, la molécula más abundante en el universo es el hidrógeno molecular, H_2. A partir de nubes de hidrógeno molecular se forman las estrellas. Paradógicamente, la formación del H_2 en el espacio es muy complicada: en las condiciones de presión y temperatura típicas

[14]En la tierra estas moléculas son usadas en medicamentos antivirales y como superconductores a alta temperatura. El hallazgo de sus altas abundancias en el espacio abre nuevas vías de investigación para producirlos de manera masiva, ya que en la actualidad se producen tan solo en cantidades de un gramo.

[15]La detección de estas especies se lleva a cabo mediante su espectro de vibración en el domino del infrarrojo. Por tanto, se conoce su existencia por las bandas moleculares observadas, pero se desconoce la composión exacta de estas moléculas.

[16]En esta sección nos centramos especialmente en entender la química de las nubes moleculares por su conexión directa con la formación de sistemas planetarios. Sin embargo, existen otros tipos de regiones en el espacio donde se encuentran gran variedad de moléculas, por ejemplo, en las envolturas circunestelares de estrellas evolucionadas

del medio interestelar, H_2 solo se forma eficientemente en la superficie de los granos de polvo que actúan de catalizadores. Se podría decir que el mecanismo es el siguiente: dos átomos de hidrógeno se posan sobre la superficie de los granos y, en ella, tienen movilidad suficiente para poder encontrarse y reaccionar. La energía liberada en la reacción permite que la molécula de H_2 sea devuelta a la fase gaseosa. El polvo representa tan solo un 1% de la materia del medio interestelar, y sin embargo, su presencia es esencial para entender la química en el espacio.

(2) Una vez que tenemos formado H_2, la química interestelar comienza por la acción de los rayos cósmicos que pueden penetrar en el interior de las nubes moleculares causando la ionización de este compuesto[17]. La molécula pierde un electrón, pasa a ser H_2^+ y esta molécula ionizada reacciona rápidamente con el H_2 existente creando H_3^+, la molécula que desencadena la química en fase gaseosa en el medio interestelar.

Como vemos, la importancia del proceso de reciclaje del material en el cosmos también es fundamental para entender el universo molecular. Los elementos claves que desencadenan la formación de moléculas en el espacio se forman en las fases finales de las estrellas: el polvo interestelar proviene, fundamentalmente, de las estrellas gigantes rojas, final de la vida de estrellas poco masivas, mientras que los rayos cósmicos, como ya hemos visto, se producen en las explosiones de supernova.

(3) Si pensáramos intuitivamente en una reacción química, es muy probable que las primeras ideas que vinieran a la mente fueran los procesos de combustión o la imagen de un gran invento, la nevera. Pensemos, por ejemplo, en la razón por la que guardamos los alimentos en la nevera: generalmente no es para que estén más fríos, sino para que se conserven mejor. Intuitivamente sabemos que las reacciones químicas son más eficientes (tienen una mayor velocidad de reacción) a elevadas temperaturas. En el espacio las temperaturas son extremadamente bajas y, sin embargo, hallamos una química muy compleja: parece que el tipo de reacción que domina la química en el medio interestelar ha de ser diferente. Efectivamente, en los lugares del medio interestelar donde la química está dominada por reacciones en fase gaseosa son las reacciones ión-neutro las que cobran especial relevancia. Son un tipo de reacciones exóticas en nuestro planeta debido a la alta densidad de nuestro entorno. Estas reacciones tienen la particularidad de que la velocidad de reacción es inversamente proporcional a la temperatura. Este tipo de reacciones desencadenan toda la química en fase gaseosa.

(4) Los distintos estadios de la evolución de una nube molecular presentan un tipo de química diferente. Mientras que una nube densa en

[17] Hay que señalar que las nubes moleculares son opacas a la radiación visible y ultravioleta que emiten las estrellas. Por tanto, esta radiación no penetra en las nubes y no puede ionizar a los elementos en su interior.

fase de colapso sin indicios de formación estelar en su interior presenta un tipo de química dominada por las reacciones en fase gaseosa, donde se forman moléculas sencillas como CO, HCO^+, CCH, y moléculas con cadenas carbonadas que pueden contener un gran número de átomos como el HC_7N, en los núcleos de nubes donde han comenzado a formarse protoestrellas encontramos una gran cantidad de moléculas orgánicas y complejas cuya presencia no se puede explicar solo con reacciones en fase gaseosa.

(5) Moléculas orgánicas complejas como metanol (CH_3OH), dimetil éter (CH_3OCH_3) o urea[18] (H_2NCONH_2) son detectadas en regiones donde ha comenzado el nacimiento de estrellas (figura 11).

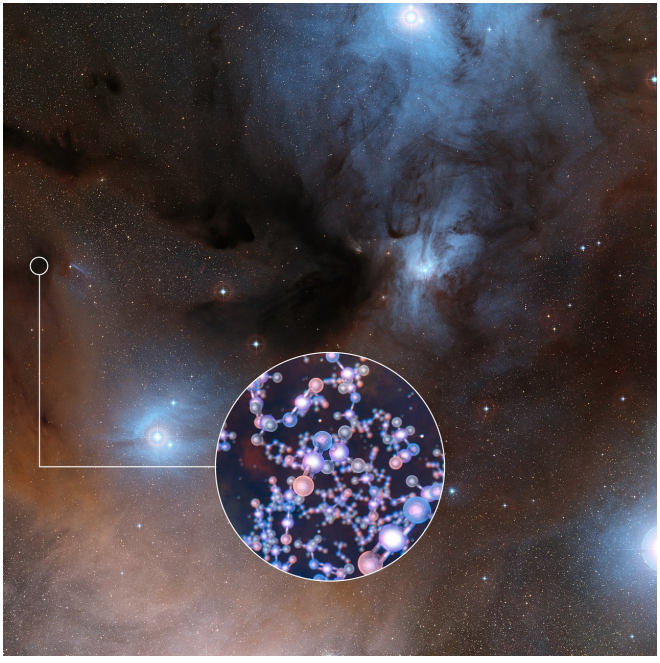


Figura 11: Recreación de la detección de metil isocianato (CH_3NCO) en una región de formación de estrellas poco masivas. Crédito: ESO/Digitized Sky Survey 2/L. Calçada.

De manera simplificada, el mecanismo de producción de estas especies es el siguiente: durante la fase de colapso de la nube para formar una

[18] Esta molécula ha sido descubierta este mismo año en una región de formación de estrellas masivas en el centro de nuestra galaxia conocida como Sagitario B2.

estrella, el gas se enfría lo suficiente como para que parte del contenido molecular de este gas se congele en la superficie de los granos de polvo. De manera análoga a como ocurría con el H_2, las moléculas adheridas a la superficie de los granos tienen una cierta mobilidad y pueden encontrarse creando nuevas especies. Cuando se empieza a formar la protoestrella, se producen una serie de serie de procesos (calentamiento, expulsión de flujos de materia, discos en rotación) que transforman las condiciones físicas de los alrededores. La interacción de estos mecanismos con los granos de polvo hace que las nuevas especies creadas sean incorporadas a la fase gaseosa y podamos detectarlas.

La formación de especies moleculares en las nubes donde se forman las estrellas nos conecta directamente con el contenido molecular de las primeras fases de la evolución de un sistema planetario. Si bien la química encontrada en estas nubes moleculares es relativamente sencilla, algunas de las moléculas orgánicas halladas son prebióticas (en especial algunas moléculas nitrogenadas como la formamida, NH_2CHO, o el metil isocianato, CH_3NCO, es decir, moléculas que se constituyen como elementos esenciales para la formación de otras moléculas de gran interés biológico como, por ejemplo, los aminoácidos o las bases nucleidas.

Cometas, asteroides y meteoritos

Tratemos de conectar ahora todo este universo de moléculas complejas y prebióticas que se han formado en los lugares de nacimiento de las estrellas con nuestro propio mundo. Para intentar comprender a partir de qué compuestos pudo originarse la vida en nuestro planeta tenemos que remontarnos a los mismos orígenes del sistema solar.

Se piensa que los cometas y asteroides pueden preservar la composición química de los inicios de nuestro sistema planetario. Los cometas son objetos celestes compuestos de material rocoso y de hielo que orbitan alrededor del Sol en órbitas muy excéntricas. Su origen se encuentra en la Nube de Oort, aquellos de largo periodo, o en el Cinturón de Kuiper, los de corto periodo. Cuando los cometas se acercan al Sol, los hielos de su superficie se evaporan causando la característica coma. Observando la figura 12, es fácil reconocer que estos objetos representan los residuos de la formación de nuestra estrella. Los asteroides, por el contrario, son objetos rocosos situados en su mayoría en el Cinturón de Asteroides, entre las órbitas de Marte y Júpiter. El 75% de estos objetos son de tipo carbonáceo y presentan agua retenida en su estructura. Se piensa que los asteroides son residuos de planetesimales que no pudieron agregarse como un planeta debido a la perturbación gravitacional de Júpiter.

Por otro lado, los meteoritos, son objetos de hasta decenas de metros que alcanzan la superficie de la tierra y que se hallaban en el espacio

como producto del paso de algún cometa, de asteroides o como restos de la formación del sistema solar. Hace unos 3 800 millones de años, nuestro planeta fue bombardeado por una gran cantidad de estos objetos por lo que existe un gran debate sobre la posibilidad de que estos meteoritos trajeran las sustancias esenciales para la vida. El estudio de la composición de los meteoritos siempre ha causado grandes controversias debido a la posibilidad de que el material del que se componen pueda estar contaminado con sustancias de nuestro propio planeta y no represente la composición que tenía en el espacio.

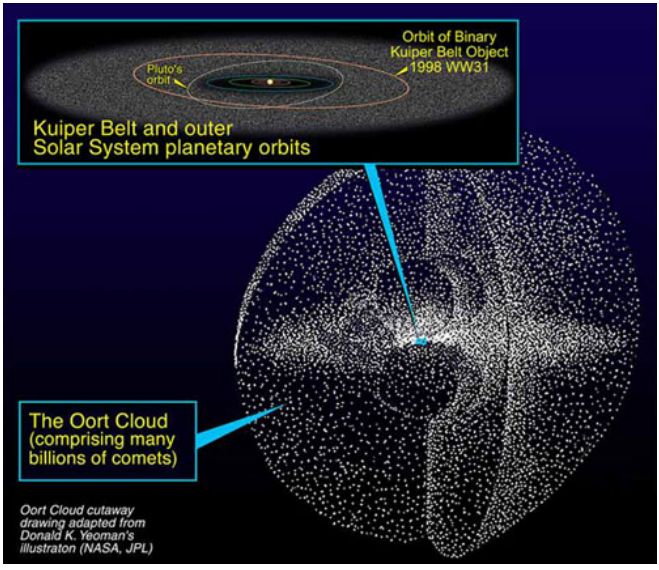


Figura 12: Imagen artística del cinturón de Kuiper y de la nube de Oort. Crédito: William Crochot, NASA/JPL/Herschel.

Se considera que los meteoritos que reflejan un tiempo más primitivo son las condritas carbonáceas. Uno de los meteoritos más estudiados de este tipo es el caído en Murchison (Australia) en 1969. Los análisis realizados desde hace más de 40 años han demostrado que el material orgánico de este meteorito contiene macromoléculas y aminoácidos. Sin embargo, no existe un consenso sobre el origen de este material entre los mismos investigadores que han pasado décadas estudiando este objeto[19]. En relación con los aminoácidos proteicos, unos defienden que estos

[19]Keith Kvenvolden, Jeffrey Bada, Michael Engel, John Cronin, Sandra Pizzarello y Stephen Macko son algunos de los agentes más representativos en este debate

compuestos son prístinos basándose en dos argumentos fundamentales: (1) los compuestos tienen composiciones isotópicas que parecen fechar su formación en ambientes presolares y (2) el extraño censo de aminoácidos encontrados: se detectan varios, pero no la totalidad, de los 22 aminoácidos proteicos presentes en los códigos genéticos de la mayoría de organismos que habitan la Tierra y más de 50 aminoácidos que son desconocidos o se encuentran de manera limitada en la biosfera. Sin embargo, como hemos dicho, otra parte de los investigadores insiste en que estas pruebas son solo, podríamos decir si lo llevamos al terreno jurídico, circunstanciales y defienden que es difícil poder asegurar que los compuestos sean extraterrestres una vez que el metorito ha cruzado la biosfera terrestre y ha sido manipulado para la experimentación.

Más controvertido todavía fue el anuncio de la NASA de una vida pasada en Marte por las señales encontradas en 1996 por McKay y colaboradores en el meteorito marciano ALH84001. Una microfotografía del meteorito que mostraba estructuras parecidas a bacterias fósiles era uno (no el único) de los argumentos a favor de este hallazgo (figura 13). La misma web de la NASA publica un resumen donde las hipótesis de este estudio son explicadas y discutidas (o más bien, refutadas)[20].

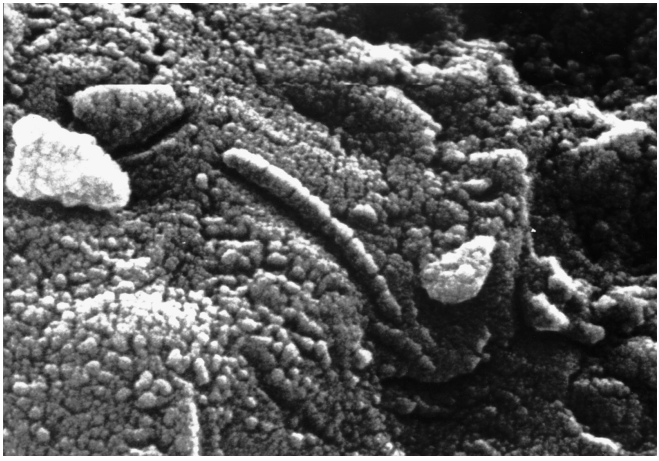


Figura 13: Una estructura alargada que se asemeja a un microorganismo fósil revelada en una microfotografía de una muestra del meteorito marciano ALH84001. Crédito: Encyclopedia Britannica/NASA.

En la misma línea, R. Hoover publicó un artículo en 2011 en el *Journal of Cosmology* donde se muestran imágenes obtenidas con

[20] `https://planetaryprotection.nasa.gov/summary/alh84001`

un microscopio de electrones tipo FESEM de los interiores de varios meteoritos carbonáceos. El estudio revela estructuras parecidas a las de la figura 13 en muchos de ellos y se defiende que se trata de cianobacterias fosilizadas. Dada la controvertida naturaleza de este resultado, la revista invitó a realizar la revisión del artículo a 100 expertos. Veintiséis comentarios sobre el artículo están publicados en esa misma revista.

Huyendo de estas controversias, volvamos, pues, a los cometas y asteroides, como objetos que preservan las condiciones más primitivas del sistema solar. Las misiones espaciales Rosetta y OSIRIS-REx son la prueba del gran interés por dar respuesta a los orígenes de la formación de nuestro planeta y de sus constituyentes.

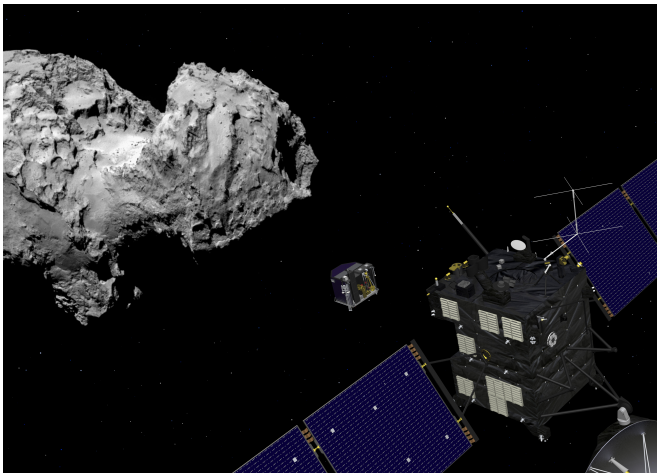


Figura 14: Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko y representaciones de Rosetta y Philae. Crédito: Nave, ESA-J. Huart, 2014; Cometa: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA-/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA.

La misión Rosetta de la Agencia Espacial Europea concluyó el 30 de septiembre de 2016 tras dos años orbitando el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Rosetta, además, envió un módulo de aterrizaje, Philae, a la superficie del cometa (figura 14). Esto permitió el análisis *in situ* de su composición. Mediante espectroscopía de masas se identificaron 16 especies, muchas de ellas compuestos prebióticos como cianuro de hidrógeno (HCN), glicolaldehído (CH_2OHCHO), formamida (NH_2CHO) o metil isocianato (CH_3NCO). Resulta muy significativo que las 16 especies identificadas hayan sido también detectadas en las regiones de formación de estrellas, las nubes del medio interestelar de las que hablábamos más

arriba, en regiones donde se produce la evaporación de los mantos de hielo del polvo interestelar. Sin duda este resultado refuerza la teoría de que los cometas mantienen la composición de los inicios de formación del sistema solar.

Otro de los grandes resultados de la misión Rosseta fue la determinación de la relación isotópica del deuterio frente al hidrógeno en el agua del cometa. Comparando estos resultados con la relación que se observa en los océanos de la Tierra, se puede determinar si una proporción significativa de cometas pudo contribuir a depositar el agua en nuestro planeta. En la figura 15 se muestran los resultados de la misión junto con esta misma relación isotópica en otros objetos del sistema solar. La discrepancia entre el valor del cometa y el de la Tierra alimenta el debate sobre el origen de los océanos de la Tierra y si son los asteroides o los cometas los que jugaron el principal papel en el suministro de agua de nuestro planeta.

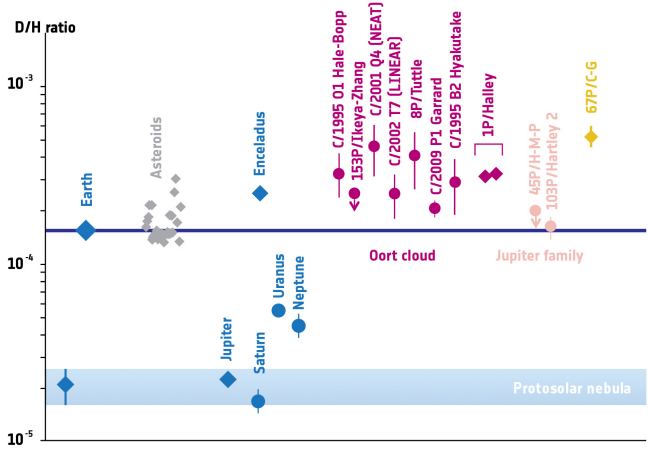


Figura 15: Diferentes valores de la relación de deuterio/hidrógeno observados en el agua de varios cuerpos en el sistema solar. Los puntos de datos están agrupados por color: planetas y lunas (azul), meteoritos condríticos del Cinturón de Asteroides (gris), cometas que se originan en la nube de Oort (magenta) y cometas de la familia de Júpiter (rosa). El dato de Rosetta está resaltado en amarillo. Los diamantes representan datos obtenidos *in situ*; los círculos representan datos obtenidos por métodos astronómicos. Crédito: Altwegg et al. 2014 / ESA.

Siguiendo la misma línea de discusión, un estudio publicado este mismo año defiende el papel predominante de los asteroides y sugiere que los

meteoritos de condritas carbonáceas fueron los que trajeron gran parte del agua de nuestro planeta. El estudio se basa en la observación de la acumulación de hielos y minerales hidratados en las partes externas de los discos protoplanetarios, en una región distante donde en el sistema solar primitivo se formaron los asteroides progenitores de esta clase de meteoritos.

Quizás la balanza lleve un tiempo decantándose por asignar un papel más relevante a los asteroides. La misión actual de la NASA OSIRIS-REx trata de desvelar estas incógnitas. El 3 de diciembre de 2018, la nave llegó a 19 kilómetros del asteroide Bennu. Los datos analizados de la misión han revelado minerales hidratados en las arcillas de este objeto, lo que sugiere que en algún momento el asteroide interactuó con el agua. La misión planea recoger muestras de la superficie de este asteroide con el fin de determinar el contenido orgánico de este objeto. Además, Bennu es uno de los asteroides potencialmente peligrosos para la Tierra en el próximo siglo y la misión también contempla el estudio del mismo para poder llevar a cabo, llegado el caso, una misión futura destinada a mitigar un (de momento hipotético) impacto.

Conclusión

Para entender nuestros orígenes cósmicos nos hemos remontado hasta el Big Bang. Todo el hidrógeno del universo y la mayoría del helio fue formado en la nucleosíntesis primordial. Las estrellas se dedican a consumir este combustible a la vez que crean nuevos elementos químicos. Siguiendo la ordenación de la tabla periódica y teniendo en cuenta las abundancias observadas en el sistema solar, el origen de los elementos hasta aquellos del pico del hierro se explica de manera satisfactoria teniendo en cuenta los procesos de fusión nuclear de los interiores estelares y aquellos eventos explosivos que se dan en las últimas fases de la vida de las estrellas, las explosiones de supernovas. Los procesos nucleares de captura de neutrones (*s* y *r*) son los que forman elementos más pesados. El proceso *s* ocurre en las fases finales de la vida de estrellas parecidas a nuestro Sol. Sin embargo, no ha sido hasta hace pocos años, gracias a la detección de las ondas gravitacionales, cuando se ha podido determinar que la mayoría de los elementos químicos que se forman mediante el proceso *r*, lo hacen a partir de las explosiones de kilonovas, cuando se fusionan dos estrellas de neutrones.

Con el fin de indagar el origen de la complejidad química y biológica de nuestro planeta, nos hemos adentrado en el estudio del universo molecular. Las moléculas halladas en cometas y en regiones ricas en gas y polvo donde se forman estrellas, demuestran que la química de las primeras fases de la formación de un sistema planetario es muy compleja. Bajo

las condiciones aparentemente hostiles del espacio exterior se pueden producir moléculas orgánicas y prebióticas precursoras de moléculas de gran interés biológico como los aminoácidos. Parece probable que las moléculas que son la base de nuestra vida en la Tierra se formaran durante las primeras etapas de la formación del sistema solar. Sin embargo, aún no hay respuestas para muchas preguntas: por ejemplo, el origen de los elementos esenciales que desencadenaron la vida en la Tierra sigue siendo incierto. Es más, tras décadas de investigaciones aún existen preguntas, ya no difíciles de responder, sino casi imposibles de formular: ¿cuál es el punto de inflexión que nos lleva del universo molecular al universo biológico? Nuestra condición es seguir ahondando en futuras preguntas.

Bibliografía

Agúndez, M. (2009). Estudio de la Química en la Envoltura Circunestelar IRC+10216. Tesis Universidad Autónoma de Madrid. Capítulo 1.

Alcolea, J. (2019). Novas, kilonovas, supernovas e hipernovas y otros monstruos que conviene observar desde muy muy lejos. Ponencia, *COIIM: Fronteras de la Astrofísica*.

Belloche, A. et al. (2019). Urea, $H_2NC(O)NH_2$, in the Interstellar Medium. *Astronomy and Astrophysics*, 628, A10.

Bowman, J. D. et al. (2018). An absorption profile centred at 78 megahertz in the sky-averaged spectrum, *Nature*, 555, 67.

Goesmann, F. et al. (2015). Organic compounds on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko revealed by COSAC mass spectrometry, *Science*, 349, 6247.

Goicoechea, J. R. y J. Cernicharo. (2011). Química del universo. *Revista de Occidente*, 361, 7.

Hashimoto, T. et al. (2018). The onset of star formation 250 million years after the Big Bang, *Nature*, 557, 392.

Hoover, R. B. (2011). Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites, *Journal of Cosmology*, 13.

Johnson, J. A. (2019). Populating the periodic table: Nucleosynthesis of the elements, *Science*, 363, 6426, 474.

McKay, D. S. et al. (1996). Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH 84001, *Science*, 273, 924.

Meierhenrich, U. (2015). *Comets and their Origin*, Wiley-VCH.

Reber, G. (1944). Cosmic Static, *Astrophysical Journal*, 100, 279.

Shaw, A. M. (2006). *Astrochemistry, from Astronomy to Astrobiology*, John Wiley & Sons Ltd.

Trigo-Rodríguez, J. M. et al. (2019). Accretion of Water in Carbonaceous Chondrites: Current Evidence and Implications for the Delivery of Water to Early Earth, *Space Science Reviews*, 215, 1.

Recursos en internet

Astrobiology Magazine (2003, 12 February). Rosenthal, A. M. Murchison's amino acids: tainted evidence?
https://www.astrobio.net/meteoritescomets-and-asteroids/murchisons-amino-acids-tainted-evidence/

Eddington Lectures (2019, 7 March). Karakas, A. Heavy elements in red giant stars.
https://www.ast.cam.ac.uk/sites/default/files/talk_archive/AmandaKarakas_07mar2019.pdf

NASA, Planetary Protection Office (2003). Treiman, A. H. Traces of Ancient Martian Life in Meteorite ALH84001: An Outline of Status in late 2003.
https://planetaryprotection.nasa.gov/summary/alh84001

National Geographic España (3 agosto 2018). Jara, E. Encuentran evidencias de estrellas formándose tan solo 250 millones de años después del Big Bang.
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/encuentran-evidencias-estrellas-formandose-tan-solo-250-millones-anos-despues-big-bang_12727/1

Nature News, (2018, 28 February). Gibney, E. Astronomers detect light from the Universe's first stars.
https://www.nature.com/articles/d41586-018-02616-8

Observatori Astronòmic, Universitat de València. (1 febrero 2018). Ortiz, A. Los fullerenos interestelares pueden ayudar a encontrar soluciones para problemas en la Tierra.
https://observatori.uv.es/los-fullerenos-interestelares-pueden-ayudar-a-encontrar-soluciones-para-problemas-en-la-tierra/

OSIRIS-REx, NASA.
https://www.asteroidmission.org/objectives/

Rosetta, ESA.
https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Science Alert, (2017, 23 January). Crew, B. This Awesome Periodic Table Shows The Origins of Every Atom in Your Body.
https://www.sciencealert.com/this-awesome-periodic-table-shows-the-origins-of-every-atom-in-your-body

Tancredi, G. (24 febrero 2014). El origen de los elementos químicos.
https://es.slideshare.net/FHEDRA/el-origen-de-los-elementos-quimicos-31601679

USRA, Lunar and Planetary Institute. Treiman, A. H. Earlier Scientific Papers on ALH 84001 Explained, with Insightful and Totally Objective Commentaries.
https://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/alhnpapers_archive.html

FOTOGRAFIANDO AGUJEROS NEGROS

Pablo de Vicente

Observatorio de Yebes
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Resumen

El 10 de abril de 2019, en una conferencia de prensa conjunta en diferentes lugares del planeta, se presentó la primera imagen real de un agujero negro obtenida por un conjunto de radiotelescopios distribuidos por nuestro planeta. Ese día los informativos de televisión de la noche abrieron con la imagen y ofrecieron entrevistas a los científicos que habían participado en el proyecto. A la mañana siguiente los principales periódicos del mundo situaban en portada la imagen del agujero negro M87*. La ilustración 1 muestra una recopilación de portadas de diarios de todo el mundo que muestra el gran impacto de la noticia.

La imagen del agujero negro en M87 es un hito histórico fruto de la capacidad tecnológica del ser humano y de un trabajo en equipo realizado por astrónomos de todo el mundo que demuestra, una vez más, que es posible explorar lugares alejados de la Tierra en los entornos físicos más extremos de nuestro Universo.

En este artículo explicaré qué es un agujero negro, qué aspecto tiene, qué ocurre en su entorno más cercano y qué estrategia hay que seguir para «fotografiarlo». Finalmente revisaré brevemente las recientes observaciones de M87* y qué hemos aprendido de su imagen.

¿Qué es un agujero negro?

Un agujero negro es un lugar del universo de donde la luz no puede escapar por la atracción gravitatoria de la masa que aloja en su interior.

El nombre de agujero negro se debe a John Achibald Wheeler, un físico teórico estadounidense, que lo propuso por primera vez en 1967. El nombre resultó tan acertado que fue acogido de modo entusiasta y se adoptó inmediatamente entre la comunidad científica y el público general. Sin embargo la primera propuesta sobre la existencia de estos objetos es muy anterior a esta fecha.



Figura 1: Imagen compuesta de los principales periódicos del mundo mostrando la primera imagen de un agujero negro. Imagen cortesía de A. Zensus, 2019.

En 1783 el británico John Michell, asumiendo que la luz está compuesta de corpúsculos que sufren la atracción gravitatoria, presentó en la Royal Society de Londres un cálculo que determinaba el radio de una «estrella oscura» de masa igual a la del Sol para la que la velocidad de la luz es igual a la velocidad de escape. Se llama velocidad de escape a aquella velocidad que debe proporcionarse a un cuerpo situado en la superficie del planeta o estrella en la que se encuentra para que llegue con velocidad nula al infinito. En la Tierra dicha velocidad es 11 km/s.

El cálculo de la velocidad de escape es muy sencillo de realizar ya que sólo depende de la masa y el radio del planeta o estrella. Michell obtuvo un valor de 2,95 km para el radio de dicha «estrella oscura» de una masa solar. Recordemos que el radio del Sol es de 695 700 km, lo que significa que se debería comprimir toda su masa hasta un radio 120 000 veces menor, para conseguir un agujero negro. Michell aventuró que el Universo debía tener una infinidad de «estrellas oscuras» que no permiten que su luz escape. P. S. Laplace repitió este cálculo en 1796 sin mencionar a Michell, pero lo retiró de su libro cuando se descubrió la naturaleza ondulatoria de la luz.

En 1915 el físico alemán K. Schwarzschild, utilizando la relatividad general de A. Einstein obtuvo la geometría espacio-temporal del entorno de una estrella esférica sin rotación. La relatividad general de Einstein, publicada ese mismo año, considera que el espacio y el tiempo no son variables separadas y no existen independientemente de los cuerpos masivos, como las estrellas y los planetas. De hecho las distancias espacio-temporales en el entorno de un cuerpo masivo dependen de dicha masa. Para conocer la trayectoria de los rayos de luz cerca de los cuerpos masivos es necesario calcular cómo se deforma el espacio-tiempo, es decir determinar su geometría local. En dicho entorno las distancias y el discurrir del tiempo, ambos medibles a partir de la luz, son diferentes respecto de lugares alejados de las grandes masas.

La solución de Schwarzschild predice la curvatura del espacio y del tiempo, la dilatación de este último y el desplazamiento al rojo de la luz en las inmediaciones de la estrella. Dicho desplazamiento al rojo es infinito para una combinación crítica de masa y radio: un agujero negro. El radio obtenido por Schwarzschild para un agujero negro de una masa solar coincidía con el de Michell y Laplace pero los mecanismos que los explican eran diferentes: en este último se consideraba que la luz se frenaba y caía de vuelta, mientras que en el primero la luz queda atrapada en una circunferencia crítica. Este radio crítico define una superficie esférica denominada horizonte de sucesos.

En 1962 Roy Kerr, un físico neozelandés, calculó la geometría espacio-temporal para un agujero negro en rotación. Para ello empleó dos parámetros: la masa (M) y el momento angular o espín (a) relacionado con la rotación. En la solución de Kerr existe un valor máximo para el momento angular que depende de la masa del agujero negro. Actualmente

se considera que el modelo de Kerr es el que mejor representa los agujeros negros astrofísicos y por ello se les suele denominar de modo familiar como agujeros negros de Kerr. Más adelante veremos la importancia de la rotación para simular el aspecto de un agujero negro.

¿Existen los agujeros negros?

El cálculo de la geometría espacio temporal para los agujeros negros no es una prueba de su existencia en el Universo. Desde su predicción por la relatividad general y su aceptación por la comunidad científica su búsqueda ha sido incesante. Como veremos a continuación, en los últimos años se han ido acumulando evidencias de la existencia de agujeros negros supermasivos, es decir, con masas de varios millones de soles, y de agujeros negros de hasta cincuenta masas solares, pero hasta la fecha no se obtenido ninguna de agujeros negros entre cientos y decenas de miles de masas solares, lo que los astrónomos llaman masas intermedias.

Una de las evidencias de la existencia de los agujeros negros supermasivos procede de la observación de eyecciones brutales de material que se producen fundamentalmente en el centro de las galaxias. Cerca del 20% de las galaxias muestran una luminosidad más elevada en sus núcleos de lo que se estima asumiendo que esta sólo procede de estrellas en su interior. Este exceso se observa en todo el espectro electromagnético, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. Las galaxias que alojan estos núcleos se las clasifica como activas y los núcleos como Núcleos Activos de Galaxias (AGN). Actualmente se considera que la extrema luminosidad de los AGN procede de la emisión de materia en forma de chorro propagándose a velocidades cercanas a las de la luz. En el origen de estos chorros están los agujeros negros con un disco de material que cae en forma de espiral hacia ellos, un toroide de polvo que, según la geometría, oculta su interior a los observadores y un chorro relativista compuesto por materia que escapa de las cercanías del agujero negro con una energía extraordinaria. En estos lugares se cree que habitan los agujeros negros supermasivos capaces de generar los eventos más energéticos del Universo y este es precisamente el caso de la galaxia M87, también conocida como Virgo A, y su agujero negro M87*.

En la actualidad se cree que todas las galaxias alojan en su núcleo un agujero negro. En algunos casos dan lugar a fenómenos activos y en otros, como en el caso de la Vía Láctea su actividad es mínima. Ello puede depender de la materia que hay a su alrededor; en ausencia de esta los agujeros negros están “hambrientos” y no pueden eyectar chorros.

Precisamente en la Vía Láctea se ha empleado otro método indirecto para confirmar y caracterizar el agujero negro que se aloja en su centro, SgrA*. Consiste en observar el material que rota a su alrededor y estimar

la masa central que lo liga y su tamaño aproximado. La masa central genera un campo gravitatorio que determina el movimiento de las estrellas en torno a ella. Estudiando la velocidad de las estrellas en rotación y su trayectoria a lo largo del tiempo es posible calcular con gran precisión la masa del objeto central y su posición, y establecer un límite a su tamaño.

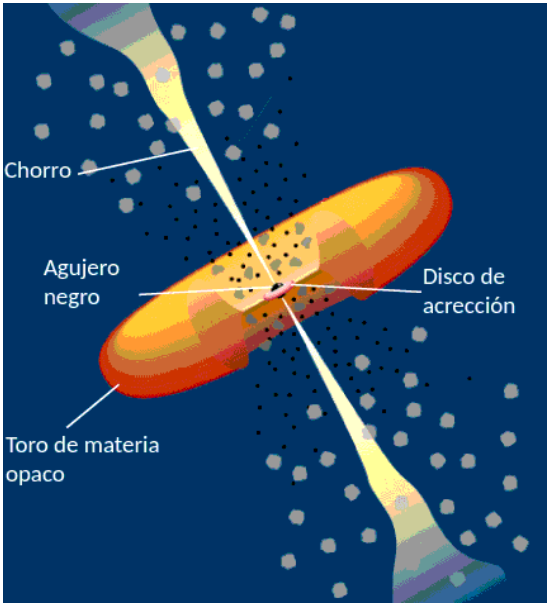


Figura 2: Modelo de un Núcleo Activo Galáctico con emisión radio intensa. Imagen de C.M. Urray y P. Padovani. Obtenida de los archivos de la NASA, 2003.

Desde hace muchos años se sabe que en el centro de la Vía Láctea existe un objeto masivo de varios millones de masas solares y que a su alrededor orbitan un cúmulo de estrellas denominadas S0 (de Sagitario). El centro de la Vía Láctea se encuentra oscurecido para la luz visible por el material, fundamentalmente polvo y moléculas, que hay en el camino de visión hasta la Tierra, por lo que la observación de estas estrellas se ha hecho en el infrarrojo cercano. Durante 16 años, de 1992 a 2008, se estudió la trayectoria de 28 estrellas S0 y como resultado se obtuvo una estimación de la masa del centro de la Vía Láctea de 4,3 millones de masas solares y una distancia a la Tierra de 8 300 parsecs. Del cúmulo de estrellas estudiadas, S0-2 es una estrella de tipo B de unas 15 masas solares que muestra el segundo periodo orbital más corto del cúmulo estelar: aproximadamente

16 años. Su periastro, máximo punto de acercamiento, en torno a SgrA* es de unas 17 horas luz (120 unidades astronómicas) y el último se produjo en mayo de 2018. La trayectoria de esta estrella se lleva estudiando desde 1995 por la Universidad de California y por el Instituto Max Planck para la Física Extraterrestre para inferir propiedades del agujero negro del centro de nuestra galaxia y los resultados de su órbita completa se han publicado muy recientemente.

Las evidencias de la existencia de agujeros negros de tipo estelar, es decir de unas pocas masas solares, también existen y proceden fundamentalmente de sistemas binarios que emiten de modo variable en rayos X. Se conocen unos 20 sistemas binarios y en 17 de ellos se cree que uno de los componentes es un agujero negro.

Sin embargo, el método indirecto más espectacular para confirmar la existencia de agujeros negros de unas decenas de masas solares y que en el futuro probablemente permitirá localizarlos en el espacio es la detección de ondas gravitacionales. Las ondas gravitacionales han sido predichas por la teoría de la relatividad general y la primera confirmación experimental mediante una observación directa se produjo en 2015. La importancia de este hallazgo fue de tal magnitud que mereció el premio Nobel de Física tan solo 2 años después, en 2017. Como ya se ha mencionado antes, según la relatividad general, el espacio-tiempo se curva de acuerdo con la masa de los objetos. Cuando los objetos masivos aceleran dan lugar a cambios en la curvatura, que se propagan a la velocidad de la luz por el espacio-tiempo en forma de ondas gravitacionales. Las ondas gravitacionales, a su paso por la Tierra pueden ser detectadas con observatorios especializados como LIGO o VIRGO.

Las detecciones de ondas gravitacionales obtenidas hasta la fecha proceden de la fusión de pares de agujeros negros y de pares de estrellas de neutrones. Todavía no se han confirmado eventos procedentes de la fusión de una estrella de neutrones y un agujero negro. En todos los casos los dos objetos orbitan el uno en torno al otro radiando energía gravitatoria, un mecanismo análogo a la emisión de energía electromagnética generada por cargas aceleradas, lo que ocasionará que se vayan acercando hasta llegar a fusionarse. En el momento de la fusión se produce un estallido final de energía que se propaga por el espacio-tiempo. El patrón temporal de la onda gravitacional que se genera depende del tipo de fusión que se realiza y permite distinguir cualquiera de los tres casos anteriores. El primer evento de ondas gravitacionales detectado, el GW150914, procedía de la fusión de dos agujeros negros de 35 y 30 masas solares que dieron lugar a un agujero negro de 62 masas solares perdiéndose en el proceso 3 masas solares que se emitieron en forma de energía gravitatoria. De los 11 eventos detectados hasta la fecha, 10 proceden de la fusión de pares de agujeros negros con masas entre 13 y 40 masas solares y el otro de una colisión de estrellas de neutrones.

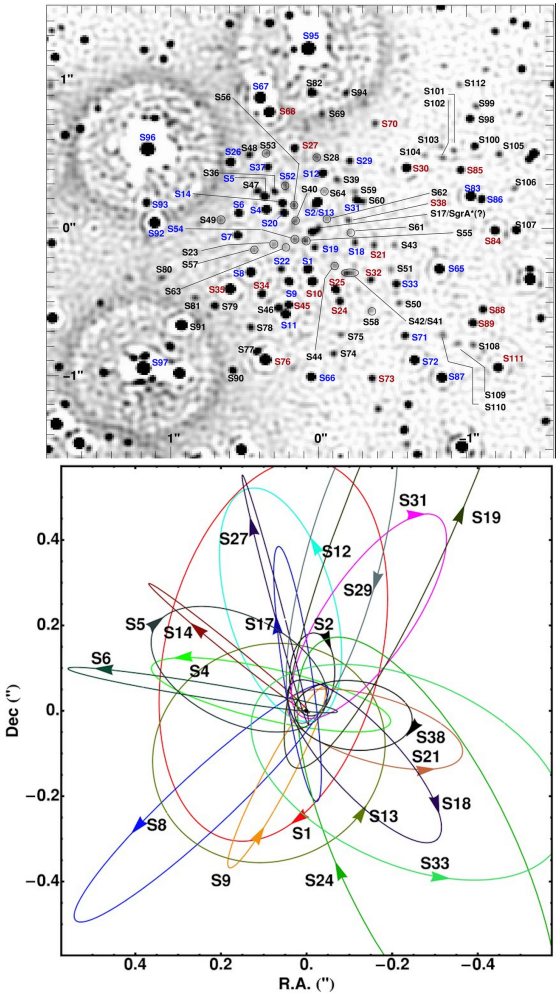


Figura 3: Panel de arriba: grupo de estrellas S0 en las inmediaciones de SgrA*. Crédito: Gillessen y cols. 2008. Panel de abajo: órbitas y trayectoria de algunas estrellas S0 en torno a SgrA*. Crédito: Kormendy y Ho, 2013.

La detección de ondas gravitacionales será una herramienta extremadamente poderosa para la identificación, caracterización y localización de agujeros negros. En este momento es posible determinar la masa y momento angular

(espín) de los pares de agujeros negros y del agujero negro final producto de la fusión pero su localización en el cielo es muy grosera (una región de miles de grados cuadrados).

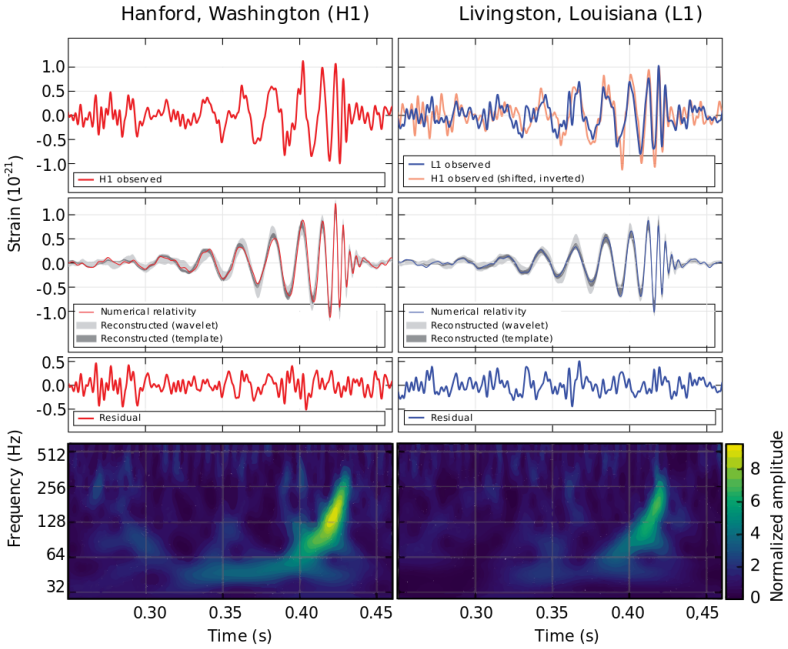


Figura 4: Patrón temporal de las ondas gravitacionales producidas por la fusión de dos agujeros negros. La detección fue en 2015 y procede de los dos observatorios que componen LIGO. Crédito: Abbott y cols., 2016.

La sombra de un agujero negro

Se puede pensar, en primera instancia, que los agujeros negros son invisibles dado que absorben la luz y no permiten que ninguna señal salga de ellos. Una fotografía en su dirección no mostrará nada, sólo oscuridad. Pero es posible capturar su silueta si se encuentran frente a una luz de fondo, como por ejemplo un campo de estrellas lejanas o materia cercana que brilla. Como explicaremos a continuación, la silueta que se obtiene para un agujero negro es muy especial debido al intenso campo gravitatorio de este.

La primera referencia conocida sobre el estudio de la trayectoria de los rayos de luz en las cercanías de un objeto masivo en estas circunstancias es de D. Hilbert en 1917. En el artículo que publicó se describe la trayectoria de los rayos procedentes de una luz de fondo situada tras el agujero negro.

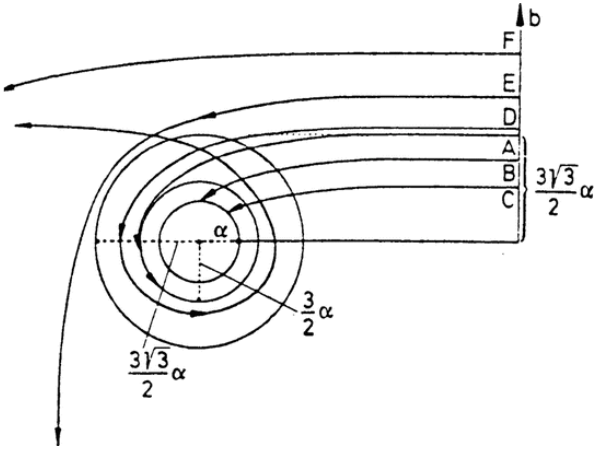


Figura 5: Trayectoria de los rayos de luz procedentes de un fondo de estrellas situado a la derecha en torno a un agujero negro sin rotación. α es el radio del horizonte de sucesos y $3\sqrt{3}\alpha/2$, el radio de la esfera de fotones. Crédito: D. Hilbert, 1917.

Para comprender mejor esta trayectoria imaginemos el agujero negro representado por un círculo en medio de una hoja de papel tal y como se muestra en la figura 5. En el lado izquierdo se encuentra el observador y en el derecho la luz de un fondo de estrellas. Los rayos de luz procedentes de la fuente de luz parten en línea recta de derecha a izquierda y en horizontal hacia el observador. Los rayos de luz más alejados del agujero negro, no se desvían, pero a medida que disminuimos el parámetro de impacto (en la imagen se denomina *b* y se corresponde con el punto de partida de los rayos de luz respecto del agujero negro), los rayos comienzan a curvarse. El grado de curvatura de la luz, para una determinada masa del agujero negro, depende por tanto del parámetro de impacto y del ángulo de incidencia, que en este caso es el mismo para todos los casos. Casi ninguno de los rayos cercanos al agujero negro podrá llegar al observador, salvo una pequeña parte que se corresponde con los rayos que están en el límite de la esfera de fotones en la que estos quedan atrapados en rotación casi indefinidamente. La esfera de fotones para un agujero de Schwarzschild, es decir sin rotación, tiene un radio de $3\sqrt{3}/2$ veces el radio del horizonte de sucesos.

La explicación anterior es muy simplificada porque, entre otras cosas, sólo muestra la trayectoria de los rayos con un sólo ángulo de incidencia, pero permite entender visualmente que el tamaño de la sombra de un agujero negro de Schwarzschild es mayor que su horizonte de sucesos y tiene simetría circular.

Como ya se mencionó anteriormente los agujeros negros astrofísicos están en rotación. En este caso el radio de la esfera de fotones depende de la orientación relativa del eje de giro y la esfera pierde su simetría circular. El agujero negro, en su rotación, arrastra el espacio-tiempo consigo y es el causante de que se produzca una deformación en la dirección en la que el lateral del agujero negro se aleja del observador. Esta falta de simetría la mostró por primera vez el estadounidense J.M. Bardeen en 1971.

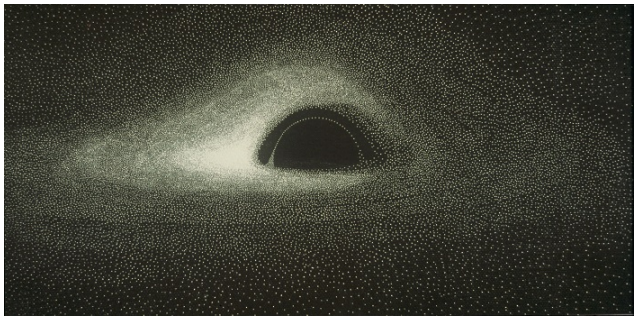


Figura 6: Aspecto de la sombra de un agujero negro rodeado por un fino disco de acreción. La parte más brillante procede de luz generada por la materia que se mueve hacia el observador. La imagen es de J. P. Luminet, 1979.

La realidad es más compleja; además de la rotación, los agujeros negros están rodeados de materia que cae a su interior a velocidades cercanas a las de la luz, en un disco de material en el que se produce una fricción enorme que da lugar a la emisión de radiación a diferentes longitudes de onda. Este disco recibe el nombre de disco de acreción. La radiación que escapa del disco se desplaza por el espacio-tiempo generando una imagen característica que depende de la orientación relativa del disco respecto del observador. La solución a la trayectoria de los rayos para este caso la obtuvo el francés J.P. Luminet en 1979. La ilustración 6 muestra el aspecto de la sombra de un agujero negro en rotación con un fino disco de acreción a su alrededor visto casi de canto. La imagen es asimétrica debido al efecto de amplificación relativista: la radiación procedente de la materia que se acerca al observador a velocidades relativistas se amplifica, mientras que

la que procede de la materia que se aleja, disminuye de luminosidad. Esa asimetría es una producto típico de la rotación de los agujeros negros.

Para poder comprender de modo cualitativo la imagen de un agujero negro cuyo disco de acreción está de canto o con un cierto ángulo respecto del observador, observemos la ilustración 7 compuesta de dos paneles. En el panel izquierdo se muestra la trayectoria de los rayos y su procedencia asumiendo que vemos el disco de acreción con un ángulo de 10 grados por encima de él. El panel de la derecha muestra la imagen que se obtendría en la placa fotográfica representada ligeramente inclinada en el panel izquierdo.

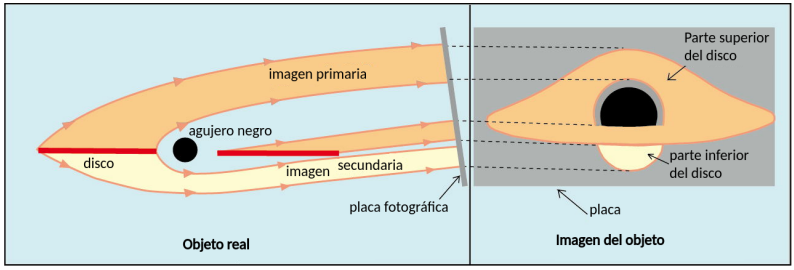


Figura 7: Panel izquierdo: diagrama esquemático de la trayectoria de los rayos de luz procedentes del entorno de un agujero negro con un disco fino de acreción (en rojo). Panel derecho: imagen recogida en la placa fotográfica que aparece en el panel izquierdo. Crédito: J. P. Luminet, 1992.

En el panel izquierdo se observa que el agujero negro actúa de lente redirigiendo la luz que procede de la parte posterior del disco hacia el observador. La imagen directa está coloreada en color salmón y se corresponde con el «capuchón» que envuelve la parte oscura del agujero negro. Los rayos de luz de la parte posterior y superior del disco se curvan hasta conseguir llegar al observador. Por otra parte la parte anterior y superior del disco genera la imagen que se encuentra por debajo de la zona oscura. La parte posterior e inferior del disco genera una imagen adicional, secundaria, que se sitúa por debajo de la imagen inferior del capuchón y en la imagen aparece coloreada en un color claro para poder distinguirla.

Una de las representaciones más vistas de un agujero negro es la que aparece en la película "Interstellar". K. Thorne, premio Nobel de física en 2017, participó en el guión de la película como asesor científico. En ella se representa un agujero negro de 100 millones de masas solares, un altísimo momento angular ($a = 0,98$) y un fino disco de acreción. La imagen que se mostró es icónica por su espectacularidad y su alto grado de difusión pero no representaba con exactitud la realidad ya que, por exigencias

del director, se eliminó la asimetría procedente del efecto amplificación relativista generada por la materia que rota moviéndose hacia el observador.

Los cálculos de la sombra del agujero negro se han repetido desde el año 2000 por diversos investigadores con mayor grado de complejidad y contemplando casos más generales. Para ello se han utilizado simulaciones modernas de relatividad general que tienen en cuenta la caída de material, su composición y temperatura, los campos magnéticos y el transporte radiativo. Las imágenes dependen, entre otras variables, de la inclinación del eje de giro, de la velocidad de rotación y del tamaño y estructura de la región de emisión. La ilustración 8 muestran una simulación de M87*. En este caso el disco de acreción se ve desde arriba y el eje de rotación casi coincide con la línea de visión. El modelo también contempla la existencia de un chorro de materia expulsado a velocidades relativistas.

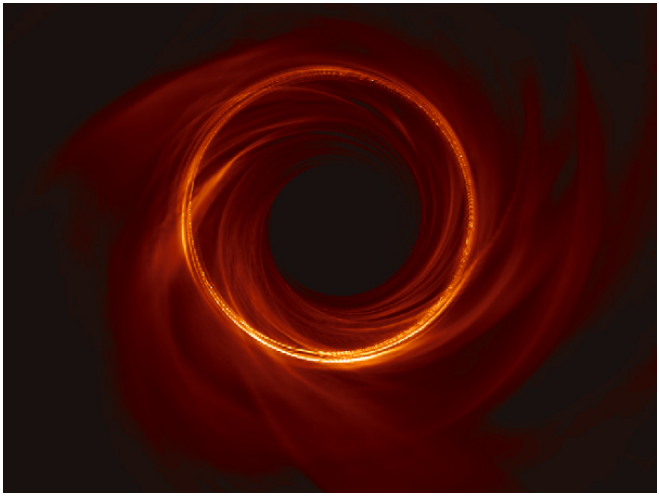


Figura 8: Simulación de M87*. En este caso el disco de acreción se ve desde arriba y el material gira en dirección de las agujas del reloj. El eje de rotación del disco forma un ángulo de 17 grados con el observador y está inclinado hacia el noreste. El material de la parte inferior del disco se acerca al observador. La imagen procede del artículo sobre la primera imagen de M87*. Crédito: colaboración EHT, 2019.

El aspecto esperado de un agujero negro es fundamental para determinar si la adquisición de una imagen real es posible y en el caso de que lo sea, elegir la técnica más adecuada para conseguirla. Como hemos visto en esta

sección el tamaño esperable de la esfera de fotones es aproximadamente tres veces el horizonte de sucesos y por lo tanto la resolución angular de la técnica observacional que se utilice debe ser capaz de proporcionar una resolución similar o inferior a ella. Pero no sólo la resolución angular es relevante, también es fundamental que la luminosidad generada por el material alrededor del agujero negro sea lo suficientemente intensa para ser detectada. Para conocer algo más sobre este extremo en la siguiente sección exploraremos algunas de las propiedades del entorno del agujero negro.

En las inmediaciones de un agujero negro

El horizonte de sucesos define la frontera a partir de la cual la luz no puede escapar de su interior, es decir delimita el agujero negro. El horizonte de sucesos en un agujero de tipo Schwarzschild es una esfera y su radio depende proporcionalmente de su masa. En un agujero negro de una masa solar el radio de la esfera es aproximadamente 3 km, y en uno de cuatro millones de masas solares, como el del centro de la Vía Láctea, el radio es casi 12 millones de kilómetros o 40 segundos luz. En un agujero negro en rotación el horizonte de sucesos es menor pero ya no tiene forma esférica por lo que no se puede caracterizar con un sólo radio.

Existe una región característica en los agujeros negros en rotación denominada ergoesfera en la que el espacio-tiempo se ve arrastrado por dicha rotación. Fuera de la ergoesfera es posible orbitar el agujero negro tanto en la dirección de la rotación como en la opuesta pero dentro de la ergoesfera las órbitas retrógradas no son posibles. La ergoesfera se encuentra fuera del horizonte de sucesos y tiene una forma achatada o elipsoidal. El mecanismo de Penrose, propuesto por el físico matemático inglés del mismo nombre, permite que las partículas y la radiación que entran en la ergoesfera escapen de ella con mayor energía de la que entraron a expensas del momento angular del agujero negro, que disminuye su valor. Este hecho es fundamental para explicar el origen de los chorros relativistas de materia.

La esfera de fotones de un agujero negro es aquel lugar en el que los fotones quedan atrapados casi indefinidamente como hemos visto antes. En un agujero negro sin rotación es aproximadamente 2,6 veces el radio de Schwarzschild por lo que la sombra de un agujero negro es mayor que la del radio del horizonte de sucesos. Por otra parte la esfera de fotones para un agujero negro en rotación deja de ser tal y se transforma en una región compuesta por varias esferas cuyo tamaño depende del sentido de rotación de los rayos. Los rayos de luz que rotan en el mismo sentido que el agujero negro se acercan más a este y definen una esfera más pequeña que la de los rayos de luz que rotan en sentido opuesto. Los tamaños para diferentes

sentidos de rotación de la luz son diversos y varían entre el tamaño mínimo y el máximo.

En la cercanía de los agujeros negros operan unas enormes fuerzas de marea con resultados dramáticos para la materia que está cerca. La gravedad es una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa a dos objetos. Supongamos un cuerpo celeste muy masivo, como por ejemplo el Sol. La fuerza que percibe un objeto de cierto tamaño en las inmediaciones del Sol es mayor en la parte cercana al Sol que la que se encuentra más alejada de él. Esta diferencia de fuerzas se conoce con el nombre de fuerzas de marea y recibe esa denominación porque es la que explica las mareas en la Tierra. Las fuerzas de marea son inversamente proporcionales al cubo de la distancia y directamente proporcionales a la masa del cuerpo celeste. Esto significa que disminuyen muy rápidamente con la distancia. En un agujero negro las fuerzas de marea pueden ser gigantescas en su proximidad. Sin embargo, sorprendentemente, las fuerzas de marea son mucho mayores en los agujeros negros pequeños que en los grandes. La razón es sencilla de comprender y para ello usaremos un ejemplo. Supongamos que situamos un cuerpo en el horizonte de sucesos de un agujero negro. Si este es pequeño el radio hasta el centro es muy pequeño, unos 3 km en el caso de una masa solar y las fuerzas de marea son gigantescas. Ese mismo objeto situado en el horizonte de sucesos del agujero negro de la Vía Láctea sufre una fuerza de marea 16 billones de veces menor debido a que esta depende del cubo del radio aunque la masa sea 4 millones de veces mayor. La fuerza de marea en este caso puede ser tan pequeña como la que experimenta la Tierra.

Las fuerzas de marea dan lugar a lo que se llama «espaguetificación», es decir, en las cercanías de un agujero negro cualquier objeto se estira en la dirección de este hasta romperse en átomos por la diferencia de la fuerza gravitatoria entre sus partes. Este efecto puede dar lugar a la destrucción de estrellas que orbitan los agujeros negros, o simplemente de materia interestelar que se acerca a este en forma de filamentos alargados.

Chorros de materia

El gas caliente que existe en el espacio interestelar, está habitualmente ligado a campos magnéticos. En un disco de acreción en torno a un agujero negro, la materia que cae arrastra consigo al campo magnético. Este produce una fricción que ralentiza la caída del material; la fuerza centrífuga no puede compensar la gravitatoria y el material se acelera girando más rápidamente. De este modo la fricción magnética extrae energía del disco de acreción que se libera emitiendo luz.

Se piensa que en los agujeros negros supermasivos el campo magnético es arrastrado hasta la ergoesfera donde se queda «bloqueado» y se retuerce

arrastrado por la rotación del agujero negro y del espacio a su alrededor. El movimiento giratorio del campo magnético produce un campo eléctrico de dinamo que impulsa el material ionizado desde la ergosfera a lo largo de dos direcciones opuestas a velocidades próximas a las de la luz dando lugar a los chorros. A través de este mecanismo el agujero negro proporciona directamente, a expensas de su rotación, la energía tan brutal necesaria para impulsar la materia a velocidades relativistas a lo largo de dos haces finamente colimados hasta distancias gigantescas. Se cree que según este mecanismo los chorros estarían formados fundamentalmente por electrones pero también por antimateria. El grado de colimación obtenido de este modo es asombroso porque los chorros se extienden hasta distancias 10^{10} veces la distancia entre el lugar de formación del chorro y el agujero negro.

Existe una explicación alternativa a la formación de los chorros, pero en este caso la energía no se extraería directamente del agujero negro y los chorros no estarían tan colimados ni la energía disponible para acelerar la materia sería tan alta. Es posible que ambos mecanismos existan en el universo dando lugar a diferentes tipos de chorros en torno a agujeros negros. En el futuro, con mayor calidad en las observaciones será posible discernir entre ambos escenarios.

Los chorros relativistas asociados a agujeros negros supermasivos con un espín elevado son los responsables, en última instancia de los núcleos activos de las galaxias. De entre estos los más conocidos son los cuásares. Los cuásares son núcleos de galaxias con un agujero negro supermasivo que expulsa la materia, electrones relativistas, prácticamente en la dirección de la Tierra. Si la dirección del chorro coincide exactamente con la de la Tierra, reciben el nombre de blazares.

La interferometría como herramienta para tomar imágenes de alta resolución

Visto desde la Tierra la escala angular del horizonte de sucesos de los agujeros negros supermasivos más cercanos o/y más grandes, como SgrA* o M87*, es del orden de 30 microsegundos de arco. Por otra parte, como acabamos de explicar en las dos secciones anteriores, la luminosidad procedente de los chorros de materia eyectados por los agujeros negros y del disco de acreción es extremadamente elevada. Este tipo de emisión actualmente sólo puede ser observada por una técnica astronómica que se emplea a frecuencias radio, la Interferometría de Muy Larga Base también conocida por sus siglas en inglés, VLBI.

La radio interferometría es una técnica observacional astronómica de más de 70 años de antigüedad. M. Ryle, astrónomo británico y premio Nobel en 1974, construyó el primer interferómetro radio en

1946. La interferometría consiste en la observación simultánea de un mismo objeto celeste con varios radiotelescopios separados entre sí una cierta distancia. A distancias cortas, hasta de unos pocos kilómetros, los elementos del interferómetro están conectados físicamente entre sí y comparten las señales de referencia. Si los radiotelescopios que componen el interferómetro están separados centenares o miles de kilómetros el interferómetro se le considera desconectado y la técnica recibe el nombre de VLBI. Los retos tecnológicos para el VLBI son mayores que para los interferómetros conectados y la gestión de las observaciones es más compleja. La primera observación de VLBI se realizó en 1967 entre dos telescopios canadienses. Desde entonces el número de radiotelescopios capaces de observar con esta técnica ha ido creciendo y el VLBI es una técnica de observación asentada en astronomía.

La interferometría tiene como objetivo mejorar la resolución angular. La resolución angular es la capacidad que tiene un telescopio para distinguir dos objetos cercanos en el cielo, y por tanto se mide en forma de ángulo. Se trata por tanto de una medida de la nitidez de las imágenes astronómicas. Cuanto menor es el valor, se suele medir en fracciones o múltiplos de segundo de arco, mayor es la nitidez y por eso, coloquialmente, se dice que la resolución angular es mayor. La resolución angular de un telescopio no puede ser infinita porque está limitada por la difracción de la luz y es directamente proporcional a la longitud de onda e inversamente proporcional al diámetro del telescopio, o a la separación entre telescopios. Por tanto observar a frecuencias más altas, es decir con longitudes de onda menores, aumenta la resolución angular. También incrementar el tamaño de los radiotelescopios o su separación aumenta la resolución angular.

En un interferómetro con varios radiotelescopios, la señal procedente de ellos se muestrea muy rápidamente y se graba en discos magnéticos en cada una de las estaciones. Desde cada estación los datos grabados se envían después, o en tiempo real, a un centro de procesado que multiplica las señales de dos radiotelescopios y las acumula un periodo de tiempo corto, típicamente unos segundos, para obtener una señal con mayor sensibilidad. Este proceso se hace con todas las posibles parejas de radiotelescopios que forman el interferómetro y se le conoce con el nombre de correlación.

El producto final de la correlación es una función, es decir un conjunto de valores, donde cada valor depende de la distancia entre cada pareja de radiotelescopios y de su orientación respecto del objeto celeste. Cuando las observaciones duran varias horas, la orientación de los radiotelescopios con respecto al objeto celeste cambia debido a la rotación terrestre. Ello es equivalente a realizar una observación mucho más corta variando la distancia entre los telescopios. Esta forma de conseguir «mover» los radiotelescopios durante una observación empleando la rotación terrestre se le denomina síntesis de apertura y fue uno de los motivos por los que Ryle recibió el premio Nobel.

La síntesis de apertura pretende generar un radiotelescopio virtual del tamaño de la máxima distancia entre los elementos del interferómetro moviendo de modo relativo los radiotelescopios del interferómetro a lo largo del tiempo de observación. Para comprender esto utilicemos una analogía. Imaginemos un radiotelescopio virtual del tamaño de la Tierra compuesto por unos pocos paneles diminutos. Cada panel en realidad es un radiotelescopio que en lugar de redirigir la radiación a un punto central, la recoge y graba para enviarla a un lugar de procesado central. Los paneles se mueven lentamente a lo largo de la observación intentando cubrir los huecos que hay. Téngase en cuenta que prácticamente toda la superficie de este telescopio virtual está vacía. Este sistema tiene algunas pegas: carece de la sensibilidad del telescopio real equivalente porque su superficie colectora es la suma de la de los radiotelescopios del interferómetro y no la superficie de la Tierra y sólo vale para objetos celestes cuya emisión no cambie durante el tiempo que dura la observación, típicamente 24 horas máximo. Es decir, vale para objetos extremadamente brillantes y estables durante un día aproximadamente. A pesar de estas pegas el telescopio virtual tiene la resolución angular del telescopio real que simula.

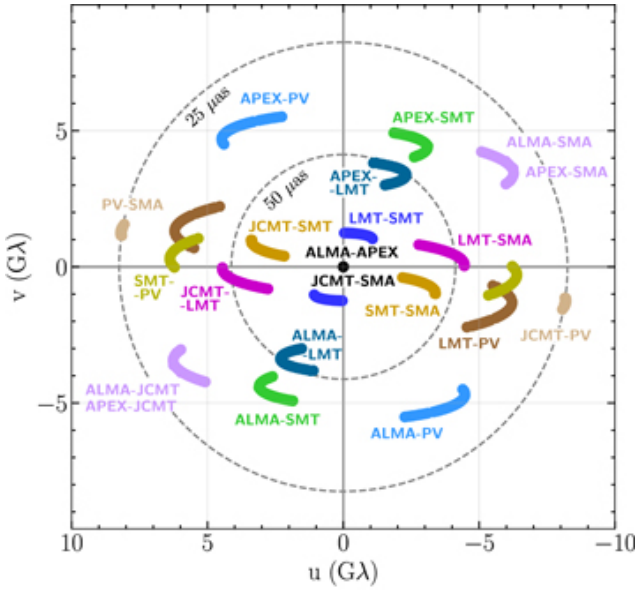


Figura 9: Ejemplo gráfico de síntesis de apertura. La imagen representa la «superficie virtual» del interferómetro en la observación de M87*. En términos astronómicos se le denomina cobertura en el plano uv. Crédito: colaboración EHT, 2019.

Si se pudiera muestrear toda la superficie del radiotelescopio virtual moviendo los radiotelescopios o aumentando su número, la función de correlación que se obtendría sería, matemáticamente, proporcional a la transformada de Fourier de la imagen del objeto que se desea "fotografiar". Es decir, disponiendo de la función de correlación completa es posible aplicar una operación matemática inversa que nos devuelve la imagen del objeto celeste que se está observando.

La red de radiotelescopios que se utilizó para observar M87* se constituyó deliberadamente para conseguir la máxima sensibilidad posible y una resolución angular de unos 25 microsegundos de arco.

El Event Horizon Telescope

El Event Horizon Telescope (Telescopio del Horizonte de Sucesos), conocido habitualmente como EHT, es un consorcio internacional para la observación de los agujeros negros supermasivos que se encuentran en el centro de la Vía Láctea y en el interior de los núcleos activos más cercanos y brillantes de galaxias. Está constituido por más de 200 personas de 60 instituciones diferentes en 20 países. Existen equipos de trabajo para la observación, el análisis de los datos, la simulación de las condiciones físicas en el entorno de los agujeros negros y el tratamiento de imágenes.

Los radiotelescopios que forman parte de EHT ya existían antes del proyecto y están distribuidos a lo largo del globo terrestre. El EHT les ha dotado de sistemas de adquisición y grabación de datos de última generación para formar una red de VLBI con una resolución angular similar a la del horizonte de sucesos de los agujeros negros que quiere estudiar. Para obtener estas resoluciones angulares los radiotelescopios observan a 230 GHz (1,3 mm), la frecuencia más alta utilizada hasta la fecha en observaciones de VLBI. Estas frecuencias introducen mayor complejidad técnica que las tradicionales frecuencias en el rango centimétrico.

El elemento más importante de la red de observación del EHT es el interferómetro ALMA debido a que su gran sensibilidad permite detectar con mayor fidelidad la estructura de las fuentes estudiadas. ALMA es un interferómetro compuesto por 64 antenas situadas en Chile a una altitud de unos 5000 m, que trabaja a longitudes de onda milimétricas y submilimétricas. Es, sin ninguna duda, el mejor instrumento astronómico existente en estas longitudes de onda y es fruto de una colaboración internacional entre Europa, Estados Unidos, Japón y Chile. Los datos procedentes de ALMA se deben combinar de un modo especial para presentarlos al resto de la red EHT como si procediesen de un sólo gran radiotelescopio.

El EHT funciona solamente unos pocos días al año, habitualmente dos semanas en abril, ya que los radiotelescopios están, cada uno de ellos,

dedicados a muchos otros proyectos de astronomía. La primera campaña de observación comenzó en 2017 y, como ya se mencionó en la introducción, fue un gran éxito. Desde entonces se ha participado en dos campañas más y el número de radiotelescopios participantes ha aumentado. También se prevé el aumento de la frecuencia de observación a 320 GHz en breve.

Los primeros candidatos elegidos para ser observados fueron SgrA* y M87*. Como ya hemos mencionado al comienzo de forma extensa, SgrA* se encuentra en el centro de nuestra galaxia y es el agujero negro masivo más cercano a la Tierra. M87* es un agujero negro supermasivo alojado en el centro de la galaxia elíptica M87 que se encuentra a una distancia de 53 millones de años luz, unas 22 veces la distancia de la Tierra a la Galaxia de Andrómeda una de las más cercanas a la Vía Láctea. Se trata de un núcleo activo de galaxia y desde hace años se conoce la existencia de un chorro de materia colimado que apunta casi en la dirección de la Tierra como se observa en la figura 10.

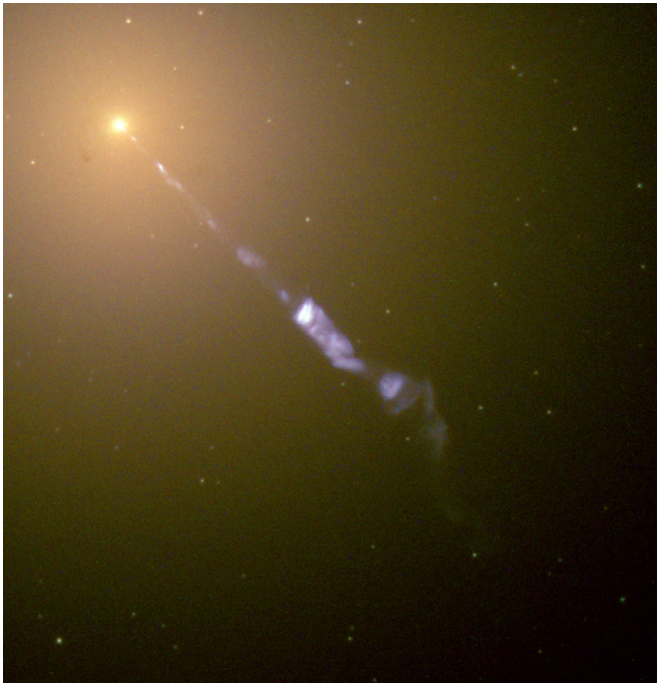


Figura 10: Galaxia Virgo A con su chorro relativista casi en dirección a la Tierra.

Las observaciones de M87*

Las observaciones de M87* y SgrA* se hicieron entre el 5 y el 11 de abril de 2017 y en ellas participaron 8 radiotelescopios cuya localización se muestra en la figura 11. Los telescopios se sitúan en Europa, Norteamérica, Sudamérica, la Antártida y las islas Hawái. El telescopio europeo se encuentra en Pico Veleta, Granada y es operado por el Instituto de Radioastronomía Milimétrica, cuyo socio en España es el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

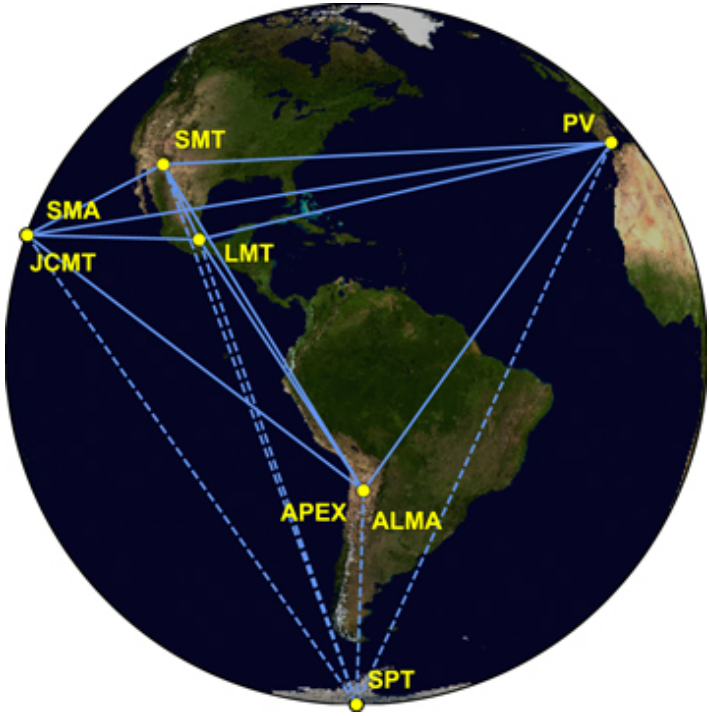


Figura 11: Telescopios que participaron en la observación de M87* y SgrA* en abril de 2017. Las líneas indican las líneas de base del interferómetro EHT. Crédito: colaboración EHT, 2019.

Las líneas de base del interferómetro tienen longitudes que oscilan entre 160 m y 10 700 km. Como resultado la resolución angular teórica del telescopio virtual sintetizado fue de 25 microsegundos de arco. Los radiotelescopios estaban equipados con instrumentación que les permitió

registrar las dos polarizaciones de la luz y un ancho de banda en frecuencia de 2 GHz, un valor superior al habitual en la observaciones tradicionales de VLBI, que permite recoger más energía de la fuente y por tanto detectarla más fácilmente.

Las observaciones se hicieron a una frecuencia de 230 GHz, correspondiente a una longitud de onda de 1,3 mm, con un tiempo excelente en todos los lugares. La atmósfera terrestre tiene una gran influencia cuando se observa a longitudes de onda milimétricas y submilimétricas, ya que su opacidad (falta de transparencia) depende de la cantidad de vapor de agua que contiene. Por ello todos los radiotelescopios del EHT se encuentran en lugares secos a gran altitud o/y en lugares muy fríos como la Antártida.

Los datos recogidos y grabados se enviaron a dos centros de análisis diferentes situados en Estados Unidos y en Alemania donde se correlaron, integraron y calibraron. Los datos así preprocesados se distribuyeron a diferentes grupos del consorcio EHT para la obtención independiente de las imágenes de los objetos que se observaron. La fuente astronómica en la que se trabajó en primer lugar fue M87*.

Obteniendo la imagen de M87*

La reconstrucción de la imagen de M87* y de cualquier fuente observada con VLBI no es sencilla. Como dijimos más arriba la imagen se obtiene haciendo una operación matemática, la transformada de Fourier inversa, sobre la función de correlación completa. Sin embargo dado que tenemos un número limitado de radiotelescopios, sólo disponemos de una función de correlación incompleta. Esto quiere decir que existen infinitas imágenes diferentes que producen los mismos datos que se han observado. Existen técnicas en radioastronomía para poder obtener imágenes correctas a partir de datos incompletos. El consorcio EHT empleó dos tipos de algoritmos diferentes que reconstruyen la imagen empleando múltiples iteraciones en las que se aplican restricciones que limitan las posible soluciones. La principal restricción es que la imagen que se obtenga tenga sentido físico; por ejemplo que sea compacta.

Para evitar sesgos en la obtención de las imágenes, se crearon 4 grupos de trabajo independientes para que cada uno de ellos produjera una imagen a partir de datos parcialmente calibrados. En este primer paso todos los grupos obtuvieron una imagen con fuertes coincidencias: un anillo de luz de unos 40 microsegundos de arco de diámetro, más brillante en su parte sur. En un segundo paso se utilizaron tres sistemas diferentes de procesado de imagen que utilizaban de partida varios modelos geométricos teóricos compatibles con los datos. Se jugó con varios parámetros libres y se crearon unas 70 000 imágenes diferentes. De entre ellas se seleccionaron aquellas que se ajustaban mejor a los datos. Dado que los diferentes algoritmos

producen resoluciones angulares ligeramente diferentes, las imágenes se difuminaron a una resolución angular común de 20 segundos de arco, que es aproximadamente la del telescopio virtual sintetizado.

La imagen final, promedio de las que se obtuvieron con los diferentes métodos, se muestra en el panel superior de la ilustración 12 y corresponde a la observación del 11 de abril, pero también se incluyen las de los días 5, 6 y 10 de abril en el panel inferior. Como se puede apreciar todas son muy similares y presentan diferencias muy leves entre ellas. La imagen 12 es la que se mostró al mundo el 10 de abril de 2019, dos años después de su observación.

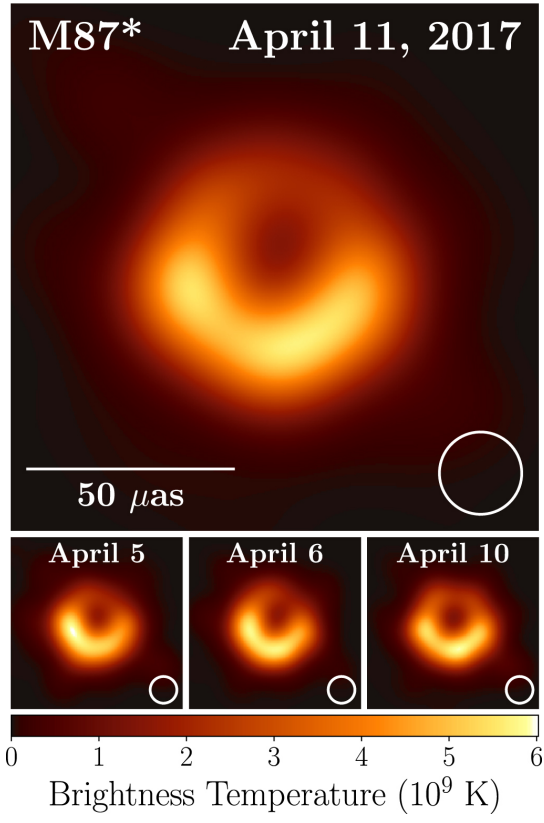


Figura 12: Primera imagen de un agujero negro. Se muestra la imagen de M87 en el día 11 de abril en el panel superior y de los días 5, 6 y 10 en el inferior. La escala angular se muestra con un segmento lineal y la resolución del interferómetro con una elipse. Crédito: colaboración EHT. 2019.

Esta imagen es la primera evidencia directa y gráfica de la existencia de los agujeros negros jamás obtenida.

Interpretando la imagen

La interpretación de la imagen requirió un trabajo teórico paralelo a los de análisis y construcción de imágenes por un grupo dedicado del EHT que se ocupa de la modelización. Este grupo desarrolló un modelo con varios escenarios para un disco de acreción en torno a un agujero negro en rotación. Se asumió que el material del disco es turbulento, está magnetizado y es caliente. El modelo produjo un chorro energético, una sombra y un anillo asimétrico. Empleando varios centenares de escenarios físicos diferentes con varios parámetros cada uno de ellos, se generó una colección de más de 62 000 imágenes, que se compararon con la imagen final.

A partir de dicha comparación se puede concluir que el anillo de luz procede de emisión que se genera en un disco en rotación que gira en el sentido de las agujas del reloj. El eje de giro forma un ángulo de unos 17 grados aproximadamente en dirección noreste con la línea de mira, es decir en dirección hacia la Tierra. La zona más brillante del disco corresponde a materia que se acerca a la Tierra en su rotación y cuya intensidad se amplifica por efecto relativista. El diámetro del disco muestra el diámetro de la esfera de fotones y a partir de él se puede inferir que la masa del agujero negro es de 6 500 millones de masas solares. El agujero negro gira en el mismo sentido que el disco de acreción e imprime dicha rotación al chorro de materia que se origina en la ergoesfera. Es decir el agujero negro está alimentando directamente el chorro relativista. Todas estas conclusiones son compatibles con lo que se conocía anteriormente de M87* por observaciones anteriores y por tanto refuerzan la interpretación de la imagen.

Las observaciones de M87* se publicaron en abril de 2019 en la revista de astronomía Astrophysical Journal en seis artículos diferentes que cubren diferentes aspectos del trabajo realizado: observaciones, análisis y calibración, simulación, creación de imágenes e interpretación física, así como un artículo resumen que incluye todas las demás. Algunas de las imágenes de este artículo están tomadas de allí.

¿Y el centro de nuestra galaxia?

El EHT también observó SgrA*, pero su imagen todavía no se ha publicado. SgrA* es un agujero supermasivo que tiene 1000 veces menos masa que M87* pero se encuentra a una distancia 2000 veces más cercana a

la Tierra. Su tamaño aparente es por tanto, similar a M87* pero su actividad es menor.

Hay dos razones fundamentales por las que la imagen de SgrA* todavía no está disponible. La presencia de material interestelar con movimiento turbulento entre el centro de nuestra galaxia y la Tierra, afecta a la luz que procede de allí, emborronando la imagen que se podría obtener. Se cree que aunque este emborronamiento decrece a medida que la frecuencia de observación aumenta, es variable en el tiempo. Por otra parte la variabilidad de la emisión de la luz de SgrA* impide la obtención de una imagen estática. SgrA* emite radiación variable con un periodo de minutos y esto hace prácticamente imposible aplicar la síntesis de apertura a esta fuente porque su estructura cambia a medida que pasa el tiempo. Para poder obtener imágenes fiables será necesario aumentar el número de radiotelescopios, fundamentalmente en el hemisferio sur de la Tierra, y aplicar técnicas de análisis de datos que tengan en cuenta esta variabilidad.

SgrA* todavía oculta su sombra a los astrónomos pero será cuestión de tiempo desvelar su estructura. En el futuro no sólo veremos una imagen, sino una película con diferentes fotogramas con SgrA* como protagonista.

El futuro

El futuro de la observación de los agujeros negros pasa por aumentar la fidelidad de las imágenes y la resolución angular. La fidelidad mejorará con un mayor número de radiotelescopios, pero la resolución angular a 230 GHz se encuentra limitada a 25 segundos de arco debido al tamaño de la Tierra. Esta sólo permite observar dos agujeros negros: M87* y SgrA*. Para obtener mejores resoluciones angulares con las actuales líneas de base es necesario aumentar la frecuencia de observación, aunque ello no es trivial ya que la atmósfera es más opaca y más ruidosa a medida que la frecuencia crece.

Otro modo de incrementar la resolución angular es el uso de radiotelescopios en el espacio. En estos momentos ya se discute la posibilidad de usar telescopios espaciales en órbitas bajas o medias. La observación en el espacio además permitirá el uso de frecuencias de observación de hasta 700 GHz en combinación con ALMA, pues al hallarse a 5.000 m de altura puede observarse eficientemente hasta tan altas frecuencias.

La combinación de un mayor número de radiotelescopios en tierra y en el espacio y el aumento de frecuencia permitirá la observación de una veintena de agujeros negros con resoluciones angulares de unos pocos microsegundos de arco. Seremos capaces de obtener secuencias temporales en el entorno de su horizonte de sucesos e incluso observar pares de agujeros negros supermasivos en rotación uno en torno al otro. Puede que

incluso sea posible observar agujeros negros de baja masa con discos de acreción en la Vía Láctea si conseguimos encontrar su localización.

Todo ello servirá para comprobar el funcionamiento de las actuales leyes físicas, en particular de la Relatividad General, en los lugares más extremos del Universo.

Para saber más

Los artículos del consorcio EHT sobre la imagen del agujero negro están publicados en el Astrophysical Journal y son de acceso libre pero también se pueden encontrar en ArXiv. El primer artículo es un resumen del trabajo realizado y constituye un ejemplo de cómo se debe escribir un artículo científico, con una prosa elegante, ágil y precisa. Se puede extraer información de calidad de dicho artículo y de los cinco siguientes que detallan aspectos de la observación de M87*. En ellos figura un arsenal de referencias bibliográficas para quien desee saber mucho más.

Si desea leer divulgación de calidad sobre agujeros negros, Kip Thorne, premio nobel de Física en 2017, ha escrito dos libros muy recomendables. *Agujeros negros y tiempo curvo*, escrito en 1994, es un libro excelente, que le mostrará el desarrollo de algunos aspectos de la Física del siglo XX relacionados con los agujeros negros. Para los cinéfilos que hayan visto la película *Interstellar*, K. Thorne escribió un libro del mismo nombre con ilustraciones en color, que desentraña los detalles de la película desde el punto de vista de un físico.

Agradecimientos

Deseo agradecer a Fernando Barbero, Pere Planesas, María Sánchez y Javier González la lectura crítica de este artículo y sus comentarios que han servido para mejorar la versión original.

ÍNDICE ALFABÉTICO DE MATERIAS

Index

Año
    duración, 128
Aberración
    ánua, 357
Achatamiento
    de la Tierra, 343
    de los planetas, 188
Acimut
    de la estrella Polar, 274–275
Albedo
    de satélites naturales, 225–230
    geométrico y de Bond, 187
Año
    duración del año juliano, 120
    duración media de distintos tipos de año, 119
Asteroides
    datos físicos, 250
    datos fotométricos, 250
    efemérides, 253–262
    elementos orbitales, 249
    magnitud, V, 251
    número de conocidos, 249
    oposición, 252
    rotación, 250

Calendario
    católico, 88–89
    domingo de Pascua, 88
    escritura numérica de fechas, 84
    explicación general, 84
    gregoriano, 87
    israelita, 92–94
    juliano, 89–90
    musulmán, 90–92
    perpetuo, 94–95
    reforma gregoriana, 87
Ceres
    datos fotométricos, 242
    descubrimiento, 243
    efemérides, 244
    elementos orbitales, 241
    masa, tamaño, 243
    traslación, 242
Cometas
    de corto periodo, 265–268
    de largo periodo, 264
    elementos orbitales, 264–267
    que pasan por el perihelio este año, 36, 263
Composición
    abundancia solar de elementos químicos, 131
    moléculas en el medio interestelar, 366
Constantes
    astronómicas, 361
    astronómicas para J2000, 131
    atómicas y espectroscópicas, 360
    cosmológicas, 361
    electromagnéticas, 360
    equivalencias útiles, 184, 310, 361
    factores de conversión, 361
    fundamentales, 360
    prefijos del SI, 362
Constelaciones

del cielo mes a mes, 38–61
esquemas, 286–291
posición y tamaño, 283–285
Coordenadas
aparentes (aberración), 357
geográficas, *see* Posiciones geográficas
medias (precesión), 354–356
verdaderas (nutación), 357
Corrección de las coordenadas
por aberración ánua, 357
por nutación, 357
por precesión, 354–356
por refracción atmosférica, 358–359
Crepúsculo
civil, náutico y astron., 154
visibilidad de los planetas, 18–20
Cúmulos estelares
abiertos o galácticos, 316
cerrados o globulares, 314

Día juliano, *DJ*
fórmula para este año, 13
Día
día de la semana, 87, 94–95
de la semana, 112–123
definición, 84, 98
del año, 112–123
durac. media del día sidéreo, 118
durac. media del día solar, 118
duración del día, 156
solar medio en los planetas, 187
Día juliano, *DJ*
DJ y día de la semana, 87
día a día, 112–123
día juliano modificado, 114
días julianos notables, 86, 113
descripción, 85, 114
durante una década, 86
mes a mes, 85
modificado, 87
para diversas épocas, 86
para una fecha gregoriana, 86
Distancia
angular y luminosa, 337
en el sistema solar, 238
en la Vía Láctea, 310
ley de Hubble, 337

Eclipses
de Luna durante el año, 70–78
de Luna futuros, 80
de Sol durante este año, 66–69
de Sol futuros, 79
durante el año próximo, 64, 65
durante este año, 15, 63
durante este siglo, 64
interpretación de las tablas, 78
Ecuación de los equinoccios
día a día, 112–123
definición, 102, 117
fórmula aproximada, 97, 103, 117
Ecuación de tiempo
día a día, 112–123
definición, 104, 121
fórmula aproximada, 104, 122
figura, 104
valores extremos y nulos, 123
Elipsoide terrestre, *see* Tierra
Enanos, planetas
datos fotométricos, 242
descubrimiento, 243
efemérides, 244
elementos orbitales, 241
masa, tamaño, 243
satélites, 243
traslación, 242

Equinoccios
de primavera y de otoño, 14
ecuación de los equinoccios, *see* id. id.
para este año, 15
Eris
datos fotométricos, 242
descubrimiento, 243
efemérides, 248
elementos orbitales, 241
masa, tamaño, 243
satélites, 243
traslación, 242
Escalas de tiempos, *see* Tiempo
convenio para el ANUARIO, 13
Estaciones
duración, 14, 15
fechas extremas de inicio, 14
inicio para este año, 15
Estrellas
brillantes, 297–302
cálculo de coordenadas aparentes, 354–359
cercanas, 297
constelaciones, *see* Constelaciones
de gran mov. propio, 297
dobles, 302–305
equivalencias en distancias, 310
magnitud y brillo, 308
nombres usuales, 293–294
ocultación por la Luna, 35
Pléyades, 294
Polar, *see* Polar
variables, 305–308
variables tipo Mira, 278

Fases de la Luna, 14
Fecha
escritura normalizada, 84
juliana, 85
Fenómenos astronómicos
día a día, 37–61
resumen anual, 14–36

Galaxias
brillantes, 333
cúmulos de galaxias, 334
cuásares, 333
del Grupo Local, 329
en catálogo de Messier, 321–323
infrarrojas, 334
ley de Hubble, 337
nombres usuales, 329–331
radiogalaxias, 333
tabla de distancias, 337

Haumea
datos fotométricos, 242
descubrimiento, 243
efemérides, 246
elementos orbitales, 241
masa, tamaño, 243
satélites, 243
traslación, 242

Interpolación
directa, 362–364
inversa, 364

Júpiter
conjunción y oposición, 17
constelaciones recorridas, 17
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189
efemérides, 199
efemérides orbitales, 17
efemérides para observaciones físicas, 200
posición de los satélites galileanos, 232–237
satélites, 216–230
visibilidad (en 2020), 18–20

Luna
apogeo y perigeo, 182
comparación con otros satélites, 216–230

coord. topocéntricas, 162
datos físicos, 161
distancia a la Tierra, 160, 181
eclipses, *see* Eclipses
edad, 181
elementos medios de la órbita, 160
fases
definición, 14, 181
en este año, 15, 181
libraciones, 161
meses, 161
ocultaciones, 33–36
órbita, 160
orto y ocaso en cualquier lugar, 177–179
paralaje, 180–181
paso por el meridiano, 179
semidiámetro, 179–181
unidades lunares, 159

Magnitud
de asteroides brillantes, 250
de cúmulos estelares, 314–316
de estrellas, 293–310
de galaxias brillantes, 333
de galaxias del Grupo Local, 329
de los planetas cada 20 días, 193–206
de objetos Messier, 321–323
de planetas en oposición, 187
de satélites en oposición, 225–230
definición, 308
del Sol: absolutas, aparentes, 129
diferencia de magnitudes y razón de brillos, 308
máxima de Mercurio, Venus y Marte, 16
media de Júpiter,. . . Neptuno, 17

Makemake
datos fotométricos, 242
descubrimiento, 243
efemérides, 247
elementos orbitales, 241
masa, tamaño, 243
traslación, 242
Marte
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189
efemérides, 197
efemérides orbitales, 16
efemérides para observaciones físicas, 198
fenómenos en este año, 16
satélites, 216–230
visibilidad (en 2020), 18–20
Mercurio
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189
efemérides, 192
efemérides orbitales, 16
efemérides para observaciones físicas, 193
fenómenos para este año, 16
tránsito, 16
visibilidad (en 2020), 18–20
Meteoroides
lluvias de meteoros, 269
meteoros, 268

Nebulosas, *see* Vía Láctea
de emisión, 319
de reflexión, 319
en catálogo de Messier, 321–323
observación, 318–320
planetarias, 320
restos de supernova, 320
tipos, 316–318
Neptuno
conjunción y oposición, 17
constelaciones recorridas, 17
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189

descubrimiento, 190
efemérides, 205
efemérides orbitales, 17
efemérides para observaciones físicas, 206
satélites, 216–230
Nutación
paso de coordenadas medias a verdaderas, 357

Oblicuidad de la eclíptica
durante el año, 128
Observaciones físicas
de los planetas, 193–206
del Sol, 134–145
Observatorios
en el mundo, 349
en España, 348
Ocultaciones
de asteroides por la Luna, 34
de estrellas por la Luna, 35
de planetas por el Sol, 34
de planetas por la Luna, 33
Orbita de la Tierra
afelio y perihelio extremos, 14
afelio y perihelio para este año, 15
datos orbitales, 185–187, 208
Ortos y ocasos
de la Luna, 177–179
de los planetas, 207
del Sol, 134–145, 148–151

Parsec, año luz, Unidad Astronómica
equival., múltiplos, 310, 361
Planetas
órbita, 184–186, 208
atmósfera, 189
datos físicos, 188
declinación durante el año, 190
descubrimiento, 190
efemérides, 192–207
elementos orbitales, 186, 208
fórmulas, 208
fenómenos en este año, 16–17
fotometría, albedo, 187
magnetosfera, 189
masa, tamaño, 188
ocultación por la Luna, 33
ortos y ocasos en cualquier lugar, 207
paso por el meridiano, 208
posiciones geocéntricas y heliocéntricas, 208–210
rotación, 187
satélites, *see* Satélites
sistema planetario, *see* Sistema solar
traslación, 186
visibilidad en este año, 18–20
Plutón
datos fotométricos, 242
descubrimiento, 243
efemérides, 245
elementos orbitales, 241
masa, tamaño, 243
satélites, 243
traslación, 242
Polar (estrella)
coord. ecuat. aparentes, 274–275
coord. ecuatoriales J2000, 271, 273
coord. horizontales, 272
determinación de la latitud, 272
Polo Norte
de la Vía Láctea, 312
del sistema solar, 184
del Sol, 129
Posiciones geográficas
ciudades españolas, 346–347
convenios, 13
observatorios españoles, 348
observatorios mundiales, 349
Precesión

cálculo aproximado, 354
cálculo exacto, 356
efecto sobre las coordenadas ecuatoriales, 354–356

Refracción
corrección de la altura observada, 358–359
fórmula aproximada, 358

Satélites
datos físicos, 225–230
descubrimiento, 220–225
elementos orbitales, 216–220
fotometría, 225–230
nombres, 216–220
periodos, 220–225
posición de los satélites galileanos, 232–237
Saturno
conjunción y oposición, 17
constelaciones recorridas, 17
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189
efemérides, 201
efemérides orbitales, 17
efemérides para observaciones físicas, 202
inclinación de los anillos, 17
satélites, 216–230
visibilidad (en 2020), 18–20
Semana
día de la semana corresp. a un día juliano, 87
día de la semana corresp. a una fecha, 94–95
numeración, 84
Sistema solar
asteroides, *see* Asteroides, *see* Asteroides
cometas, *see* Cometas
equivalencia en distancias, 238
meteoroides, *see* Meteoroides
sistema planetario, 184, 240
unidades, 184
Sol
abundancia de elementos químicos, 131
afelio y perihelio, 15
azimut de orto y ocaso, 152
cálculos aproximados, 146
coord. ecuatoriales, 134–145
coord. ecuatoriales aprox., 147
coord. heliográficas, 134–145
crepúsculos, 154–155
culminación, orto y ocaso en Madrid, 134–145
datos físicos, 128
distancia a la Tierra, 146–147
duración del día, 155–156
eclipses, *see* Eclipses
eje de rotación, *P*, 134–145
entrada en signos del zodíaco, 17
luminosidad, 129
manchas solares, 158
movimiento diario, 146–147
movimiento en el espacio, 130
ocultaciones, 34
órbita, 128
orto y ocaso en otro lugar, 148–150
ortos y ocasos extremos en Madrid, 156
paralaje horizontal, 146–147
paso por el meridiano, 157
paso por el primer vertical, 153
rotación, 129
rotaciones sinódicas, 157
semidiámetro, 146–147
tiempo de paso del semidiámetro, 146–147
unidades solares, 127
viento solar, 130
Solsticios

de verano y de invierno, 14
para este año, 15

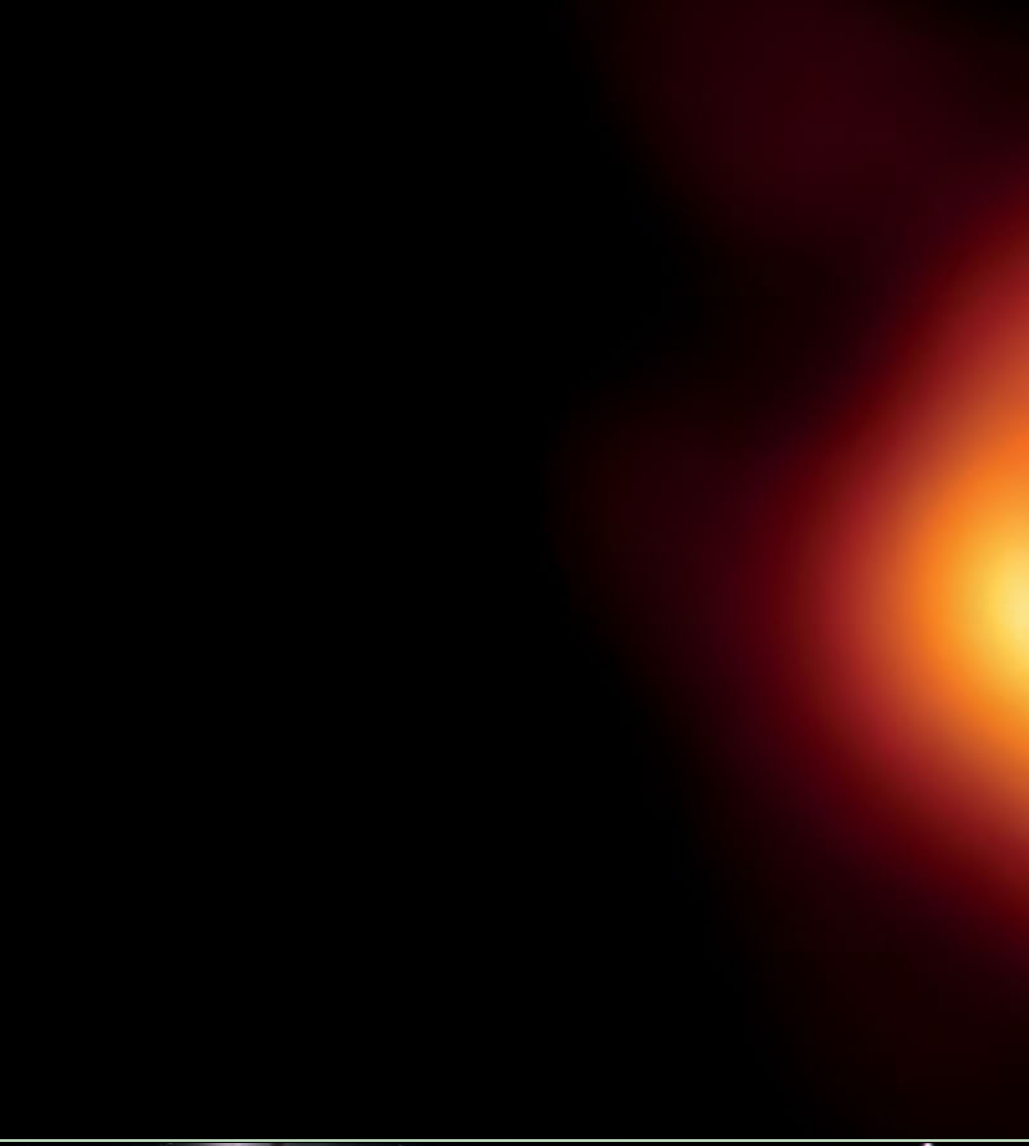
Tiempo
DUT1, 101
civil, 104
de efemérides, *TE*, 98
ecuación de los equinoccios, *see* id. id.
ecuación de tiempo, *see* id. id.
emisores de señales de tiempo, 105–106
escala atómica, *TAI*, 98
escalas de tiempo, 98–104
horario adelantado, 107–108, 111
husos horarios, 106
meses (calendario), 112–123
meses (Luna), 161
oficial
en los paises del mundo, 106–110
explicación, 106
oficial en España, 111
sidéreo, 102–103, 116
sidéreo local, fórmula, 97, 103
sidéreo verdadero en Greenwich día a día, 112–123
siglo, milenio, 85
solar medio y verdadero, 103–104, 115
Tiempo Atómico Internacional, 98
tiempos dinámicos, 98–99
Universal Coordinado, *UTC*, 100–101, 105–106
Universal, *TU, UT1*, 99
Tierra
comparación con otros planetas, *see* Planetas
distancia al Sol, 146–147
elipsoides de referencia, 343–345
masa, tamaño, 342
órbita, *see* Orbita de la Tierra
periodo de rotación, 118
rotación, 343
satélites, 216–230
unidades terrestres, 341

Unidades
astronómicas, 310, 361
día, 98
equivalencias útiles, 184, 310
factores de conversión, 361
segundo, 98
Urano
conjunción y oposición, 17
constelaciones recorridas, 17
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189
descubrimiento, 190
efemérides, 203
efemérides orbitales, 17
efemérides para observaciones físicas, 204
satélites, 216–230
visibilidad (en 2020), 18

Vía Láctea
cúmulos, *see* Cúmulos estelares
características cerca del Sol, 313
características globales, 312
nebulosas, *see* Nebulosas
nubes moleculares, 318
Venus
datos orbitales, físicos y fotométricos, 185–189
efemérides, 194
efemérides orbitales, 16
efemérides para observaciones físicas, 195
fenómenos en este año, 16
tránsitos, 16
visibilidad (en 2020), 18–20

Zodíaco

definición, 17
entrada del Sol en signos, 17



02020

8 423434 365200

ISSN 977037351200402020

EDITA:
Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)
General Ibáñez de Ibero, 3 - 28003 Madrid
Teléfono: + 34 91 597 94 53 - FAX: + 34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es

Precio (incluido IVA): 10 euros

www.ign.es — www.cnig.es — www.oan.es