

Anuario del Observatorio Astronómico 2011

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

ANUARIO
DEL
OBSERVATORIO ASTRONÓMICO
DE MADRID
PARA 2011

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: **162-09-...-.** – ISSN: **0373-...**

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

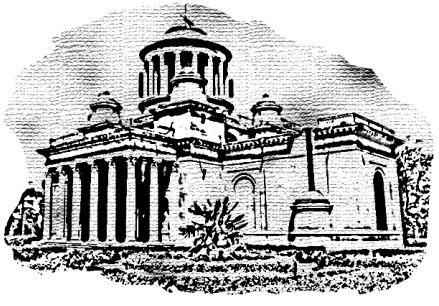
Programa editorial 2010
Depósito legal: **M. 7.390-1958**
NIPO: **162-09-...-.**
ISSN: **0373-...**

Cubierta: Imagen del Radiotelescopio de 40 metros de diámetro del Centro Astronómico de Yebes (Instituto Geográfico Nacional). La instantánea fue tomada el 23 de marzo de 2010 a las 20 horas y 8 minutos (Tiempo Universal Coordinado) durante una tormenta eléctrica. En esos momentos el radiotelescopio participaba en un proyecto de VLBI (Interferometría de Muy Larga Base) junto con otras 15 antenas de la EVN (Red Europea de VLBI) y VLBA (Red Americana de VLBI). La sesión transcurrió sin incidentes a pesar de las descargas eléctricas. Imagen tomada por Carlos Albo Castaño, ingeniero del centro.

Impreso en el INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL.
General Ibáñez de Ibero, 3. 28003 MADRID

Ministerio de Fomento
Instituto Geográfico Nacional

ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID PARA 2011



PRESENTACIÓN

Este Anuario comparece nuevamente -y ya son 152 años los transcurridos desde su primera edición- ante su público. Y lo hace con el mismo objetivo de siempre: La previsión exacta de los fenómenos astronómicos a lo largo del año, la equivalencia entre distintos calendarios, y los datos para conocer las posiciones de los astros; es decir, todo lo que hace falta para saber mirar al cielo.

La innata curiosidad de la humanidad ha sido el motor de su continuado progreso; y la Astronomía responde, mejor que ninguna otra disciplina científica, a ese ansia de saber que distingue a esta "especie avanzada de mono en un planeta menor que orbita una estrella de tamaño medio", pero -sigue Stephen Hawking- "podemos comprender el Universo y eso nos hace muy especiales".

Si llegamos a comprender el Universo (o si podemos intentarlo) es gracias al incansable trabajo realizado durante siglos en los Observatorios Astronómicos de todo el mundo. En España, el Observatorio Astronómico Nacional fue creado en 1790 como centro de investigación astronómica con funciones aplicadas tanto en Geodesia como en Geofísica; y, desde 1904, forma parte del Instituto Geográfico Nacional como emblema y referente de su capacidad científica y divulgativa.

En el campo científico, el Observatorio ha centrado su actividad en los últimos treinta años en la Radioastronomía, como muy bien refleja el magnífico artículo de Jesús Gómez González, actual Subdirector General de Astronomía, Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional y anterior Director del Observatorio Astronómico.

Y en el campo divulgativo, la visión y la capacidad personal de Jesús Gómez han cristalizado en la renovación completa de las instalaciones del Real Observatorio de Madrid: El 11 de enero de 2010, S.A.R. el Príncipe de Asturias, acompañado por el Ministro de Fomento, José Blanco López, inauguró la nueva Sala de Ciencias de la Tierra y del Universo y la reproducción, a escala real, del telescopio de 25 pies de Herschel, que ya están abiertas al público mediante visitas guiadas que muestran lo mejor de la aportación española, y los medios utilizados, en materia de Astronomía, Geodesia, Geofísica y Cartografía, las competencias básicas del Instituto Geográfico Nacional.

Herschel -músico y astrónomo- descubrió Urano y está considerado como uno de los mejores constructores de telescopios de la historia; en su propia opinión, el mejor de esos telescopios fue el inaugurado por el Rey Carlos IV en 1802... y luego destruido por las tropas napoleónicas en 1808. En el mismo lugar del Real Observatorio de Madrid se erige hoy una réplica exacta que asombra a cuantos la contemplan.

Como asombro produce el conocimiento acumulado por los Astrónomos del Instituto Geográfico y la calidad de sus trabajos y servicios; y la claridad con que los transmiten, como podrá comprobar el atento lector de este completo Anuario.

Alberto Sereno Álvarez
Director General del Instituto Geográfico Nacional

Noviembre de 2010

POSICIONES GEOGRÁFICAS

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID

(Centro del piso de la rotonda del Observatorio) [1]

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

CENTRO ASTRONÓMICO DE YEBES

(Centro del radomo del radiotelescopio)

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 del Observatorio Astronómico 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 21 de abril, el radiotelescopio de 40 metros de Yebes alcanzó un nuevo hito al realizarse con éxito una observación de VLBI (interferometría de muy larga base) en longitudes de onda milimétricas (86 GHz de frecuencia). El experimento se realizó conjuntamente con los radiotelescopios de Metsahovi (Finlandia) y Onsala (Suecia). La resolución angular alcanzada en estas observaciones fue de unos 0,24 milisegundos de arco. El radiotelescopio de 40-m continua realizando observaciones de VLBI de forma sistemática, y muy satisfactoria, en el marco de la EVN (Red Europea de VLBI), e-EVN (VLBI en tiempo real) y de la IVS (Servicio Internacional de VLBI) en diferentes frecuencias entre 2 y 22 GHz. Durante el verano y el otoño de 2010 se viene mejorando el ajuste de los paneles de la superficie utilizando técnicas de holografía. La nueva cámara anecoica ha quedado instalada en un edificio anejo al gran radiotelescopio.

Los datos proporcionados por el telescopio espacial HERSCHEL están teniendo una gran repercusión en Astronomía. Los astrónomos del Observatorio Astronómico Nacional vienen participando de manera destacada, en el marco de una intensa colaboración internacional, en su análisis e interpretación.

La construcción de Gran Interferómetro de Atacama avanza muy satisfactoriamente. En el momento de escribir estas líneas hay ya 6 antenas funcionando en el llano de Chajnantor (a 5 100 metros de altitud), otras 10 en distintas fases de aceptación en la base cerca de San Pedro (a 2 900 metros), y otras tantas en fase de integración. Los trabajos de producción de amplificadores HEMT para los receptores continúan a muy buen ritmo en Yebes.

A principios del mes de julio, el Observatorio organizó la 40 edición de la Conferencia de jóvenes Radioastrónomos Europeos (YERAC). El éxito del congreso se debió a la entusiasta asistencia de más de 50 jóvenes investigadores procedentes de países europeos, además de Rusia y Sudáfrica.

Rafael Bachiller García
Director del Observatorio Astronómico Nacional

Octubre de 2010

CAMBIOS RESPECTO DE LAS EDICIONES PRECEDENTES

En esta ocasión las principales novedades respecto de la edición anterior se han producido en el capítulo de planetas, en primer lugar hemos modificado la tabla de parámetros físicos de los planetas, añadiendo un mayor número de datos en algunos planetas, en segundo lugar hemos mejorado las figuras de las posiciones heliocéntricas y de las trayectorias de los planetas y, por último, se ha incluido una nueva figura con las orientaciones y tamaños de los planetas.

Otro cambio importante es la actualización de la tabla de estrellas dobles obtenida a partir de dos catálogos: Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars y The Washington Double Star Catalog. En esta tabla las separaciones y los ángulos de posición se han calculado para el año actual en aquellos casos en que se dispone de elementos orbitales precisos.

Además hemos actualizado otras dos tablas, la tabla de elementos orbitales de los satélites y la tabla de moléculas en el capítulo de tablas.

Un año más agradecemos al astrónomo Tomás Alonso Albi su colaboración y sus buenas ideas para la mejora de nuestro Anuario.

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://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Astronomia/. En tal dirección electrónica se encuentran sucintas descripciones de las sedes que componen el OAN y de las principales áreas de investigación científica y tecnológica, además de información al público relativa a efemérides astronómicas y visitas a las sedes del OAN. También figura información sobre el Anuario, como el índice y la fe de erratas de la última edición.

La correspondencia sobre el ANUARIO debe ser enviada a:

Anuario del Observatorio Astronómico
C/ Alfonso XII, 3
28014 Madrid

La correspondencia relativa a los artículos de divulgación debe ser enviada al autor correspondiente.

María Sánchez Ramos. Astrónoma.

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL

Astrónomos del OAN a fecha de 1 de julio de 2010:

Albo Castaño, Carlos

Alcolea Jiménez, Javier, *Jefe de servicio*

Alonso Albi, Tomás

Bachiller García, Rafael, *Director del Observatorio Astronómico Nacional*

Barbas Calvo, Laura

Barcia Cancio, Alberto, *Ingeniero Geógrafo, Jefe de área*

Bolaño González, Rubén

Bujarrabal Fernández, Valentín, *Jefe de servicio*

Colomer Sanmartín, Francisco, *Jefe de servicio*

Desmurs, Jean-François

Diez González, María del Carmen

Fuente Juan, María Asunción

Gallego Puyol, Juan Daniel, *Jefe de servicio*

García Burillo, Santiago, *Jefe de servicio*

García Espada, Susana

Gómez González, Jesús, *Subdirector General de Astronomía, Geodesia y Geofísica*

Lahulla Fornies, José Félix

López Fernández, Isaac, *Jefe de servicio*

López Fernández, José Antonio, *Jefe de área*

López Pérez, José Antonio, *Jefe de servicio*

Malo Gómez, Inmaculada

Planesas Bigas, Pere, *en servicios especiales en ALMA (ESO)*

del Río Santos, Gerardo

Rioja Capellán, María José, *en servicios especiales en SKA*

Sánchez Ramos, María

Serna Puente, José Manuel

Soria Ruiz, Rebeca

Tafalla García, Mario, *Jefe de servicio*

Tercero Martínez, Félix, *Jefe de servicio*

Usero Villanueva, Antonio

de Vicente Abad, Pablo, *Jefe de servicio*

Direcciones postales del OAN

Sede principal:

Observatorio Astronómico Nacional
Alfonso XII, 3
28014 Madrid

Sede en el campus de la Universidad de Alcalá:

Observatorio Astronómico Nacional
Apartado 112
28803 Alcalá de Henares

Gran Instalación Científica:

Centro Astronómico de Yebes
Apartado 148
19080 Guadalajara

Observatorios con participación del OAN en España:

Observatorio 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 15
- Visibilidad de los planetas 20
- Ocultaciones por la Luna 35
- Fenómenos día a día 39
- Eclipses de Sol y de Luna 65

Calendarios y tiempos:
- Calendarios 85
- Tiempos 99
  - Escalas de tiempo 100
  - Husos horarios 108
  - Tablas de tiempos 114

Efemérides astronómicas:
- El Sol:
  - Datos solares 129
  - Efemérides 134
  - Fórmulas, ortos, ocasos, etc 148
- La Luna:
  - Datos lunares 161
  - Efemérides 165
  - Fórmulas, ortos, ocasos, etc 179
- Los planetas:
  - Datos planetarios 186
  - Efemérides de los planetas 192
  - Fórmulas, ortos, ocasos, etc 208
- Satélites naturales:
  - Datos de los satélites 215
  - Satélites de Júpiter 230
  - Tabla de equivalencias para distancias 236
- Objetos menores del sistema solar:
  - Planetas enanos 238
  - Asteroides 248
  - Cometas 263
  - Meteoros y lluvias de meteoros 274
- Efemérides estelares:
  - Estrella Polar 277
  - Mínimos de Algol y β Lyr 282
  - Máximos de variables tipo Mira 283

Catálogos:
- Constelaciones 288
- Estrellas: 298
  - Brillantes 303
  - Dobles 308
  - Variables 311
- Relación entre magnitud y brillo 315
- Conversión de distancias en la Vía Láctea 316
- Vía Láctea:
  - Características de la Vía Láctea 318
  - Cúmulos estelares 320
  - Nebulosas 322
  - Catálogo de Messier de objetos difusos 327
- Objetos extragalácticos 331

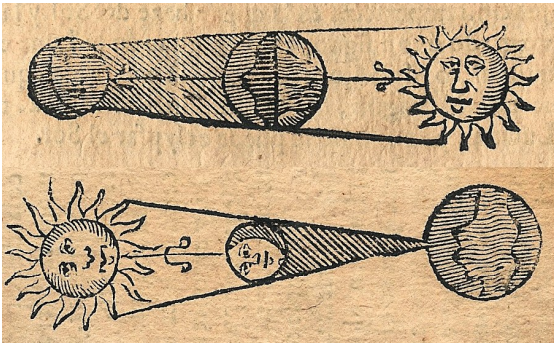
La Tierra:
- Datos terrestres 343
- Elipsoides de referencia 345
- Posiciones geográficas de ciudades 348
- Posiciones geográficas de observatorios 350

Tablas complementarias:
- Corrección de coordenadas astronómicas:
  - Tablas y fórmulas de precesión 356
  - Fórmulas de nutación y aberración 359
- Corrección de refracción atmosférica 360
- Tablas de constantes físicas y astronómicas 362
- Interpolación numérica 364
- Moléculas interestelares 368

Artículos de divulgación:
- La Medida del Tiempo
  por *Pablo de Vicente Abad* 375
- Apuntes sobre 30 años de Radioastronomía en España
  por *Jesús Gómez González* 402

Indice alfabético 443

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 $+12^{\mathrm{h}}$.

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:

$$\text{día juliano} = 2455561{,}5 + \text{día del año} + \mathrm{TU}/24^{\mathrm{h}}$$

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 2011

Inicio de las estaciones

Hemisferio boreal	Fecha y hora en Tiempo Universal (TU)	Hemisferio austral	duración en días
Primavera	20 de marzo a las 23^h21^m	Otoño	92,75
Verano	21 de junio a las 17^h16^m	Invierno	93,66
Otoño	23 de setiembre a las 09^h05^m	Primavera	89,85
Invierno	22 de diciembre a las 05^h30^m	Verano	88,99

Órbita de la Tierra

Perihelio (distan. mínima)	3 de enero a las 19^h TU	0,983340 UA
Afelio (distan. máxima)	4 de julio a las 15^h TU	1,016742 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	04 09 03	Ene	12 11 31	Ene	19 21 21	Ene	26 12 57
Feb	03 02 31	Feb	11 07 18	Feb	18 08 36	Feb	24 23 26
Mar	04 20 46	Mar	12 23 45	Mar	19 18 10	Mar	26 12 07
Abr	03 14 32	Abr	11 12 05	Abr	18 02 44	Abr	25 02 47
May	03 06 51	May	10 20 33	May	17 11 09	May	24 18 52
Jun	01 21 03	Jun	09 02 11	Jun	15 20 14	Jun	23 11 48
Jul	01 08 54	Jul	08 06 29	Jul	15 06 40	Jul	23 05 02
Jul	30 18 40	Ago	06 11 08	Ago	13 18 58	Ago	21 21 54
Ago	29 03 04	Set	04 17 39	Set	12 09 27	Set	20 13 39
Set	27 11 09	Oct	04 03 15	Oct	12 02 06	Oct	20 03 30
Oct	26 19 56	Nov	02 16 38	Nov	10 20 16	Nov	18 15 09
Nov	25 06 10	Dic	02 09 52	Dic	10 14 36	Dic	18 00 48
Dic	24 18 06						

Eclipses

Fecha	Astro	Tipo	Visibilidad
Ene 04	Sol	parcial	Europa, Norte de África y Asia central.
Jun 01	Sol	parcial	Este de Asia, Norte de Norteamérica e Islandia.
Jun 15	Luna	total	Sudamérica, Europa, África, Asia y Australia.
Jul 01	Sol	parcial	Sur Océano Índico
Nov 25	Sol	parcial	Sur de África, Antártida, Tasmania y Nueva Zelanda.
Dic 10	Luna	total	Europa, Este de África, Asia, Australia, Pacífico y Norteamérica.

En 2012 habrá dos eclipses de Sol y dos de Luna. El próximo eclipse solar visible en España tendrá lugar el día 3 de noviembre de 2013. El próximo eclipse total de Luna visible en España en todas sus fases será el de 28 de setiembre de 2015.

Mercurio

Máximas elongaciones											
Oeste			Este			Oeste			Este		
Ene	9	23°,3	Mar	23	18°,6	May	7	26°,6	Jul	20	26°,8
Set	3	18°,1	Nov	14	22°,7	Dic	23	21°,8			

Órbita	
Conjunción superior	Feb 25, Jun 12, Set 28
Estacionario	Mar 30, Ago 2, Nov 24
Conjunción inferior	Abr 9, Ago 17, Dic 4
Estacionario	Abr 22, Ago 26, Dic 14
Afelio	Ene 31, Abr 29, Jul 26, Oct 22
Perihelio	Mar 16, Jun 12, Set 8, Dic 5

Brillo máximo (magnitud V)		
Feb	26	−1,6
Jun	12	−2,2
Set	27	−1,5

El próximo tránsito de Mercurio por delante del Sol se producirá el 9 de mayo de 2016.

Venus

Órbita		
Máxima elongación Oeste	Ene 8	47°,0
Conjunción superior	Ago 16	1,731 UA
Afelio	Abr 18, Nov 29	
Perihelio	Ago 9	

Brillo máximo (magnitud V)
A principios de año

El próximo tránsito de Venus por delante del Sol se producirá el 6 de junio de 2012.

Marte

Órbita		
Conjunción	Feb 4	
Perihelio	Mar 9	1,381 UA
En nodo ascendente	Jul 8	
Estaciones en el hemisferio Norte:		
Solsticio de invierno	Abr 8	
Equinoccio de primavera	Set 13	

Brillo máximo (magnitud V)		
Feb	6	1,1

Planetas exteriores

Planeta	Conjunción	Estacionario	Oposición	Estacionario	Conjunción
Júpiter	Abr 6^d15^h	Ago 30^d17^h	Oct 29^d2^h	Dic 26^d11^h	
Saturno		Ene 27^d8^h	Abr 3^d23^h	Jun 14^d5^h	Oct 13^d20^h
Urano	Mar 21^d12^h	Jul 10^d8^h	Set 26^d0^h	Dic 10^d15^h	
Neptuno	Feb 17^d10^h	Jun 3^d15^h	Ago 22^d23^h	Nov 9^d21^h	

Planeta	Distancia media al Sol (UA)	Brillo medio en magnitudes	Constelaciones recorridas
Júpiter	4,955	−2,3	Piscis/Aries
Saturno	9,639	+0,7	Virgo
Urano	20,083	+5,8	Piscis
Neptuno	30,008	+7,9	Capricornio/Acuario

Durante el 2011 y principios de 2012 se producirá un triple paso de Urano por el Ecuador Celeste, en esos momentos su declinación será de 0°. El 9 de abril, primer paso, Urano cruza el Ecuador de sur a norte, el 16 de octubre de norte a sur y el 28 de enero de 2012 de sur a norte.

El 1 de febrero Júpiter tendrá una latitud extrema de $-1°,3$ y el 17 de marzo pasará por el perihelio de su órbita, su distancia al Sol será 4,9 UA.

Los días 3 de abril y 27 de octubre se producirán los máximos acercamientos anuales de Saturno y Júpiter a la Tierra, alcanzando unos diámetros de $19''.4$ y $49''.6$, respectivamente.

El próximo paso de la Tierra por el plano de los anillos de Saturno tendrá lugar el 23 de marzo de 2025.

Entrada del Sol en los signos del zodíaco (TU)

Acuario	Ene	20^d	10^h	19^m	Leo	Jul	23^d	04^h	12^m
Piscis	Feb	19^d	00^h	26^m	Virgo	Ago	23^d	11^h	21^m
Aries	Mar	20^d	23^h	21^m	Libra	Set	23^d	09^h	05^m
Tauro	Abr	20^d	10^h	17^m	Escorpio	Oct	23^d	18^h	31^m
Géminis	May	21^d	09^h	21^m	Sagitario	Nov	22^d	16^h	08^m
Cáncer	Jun	21^d	17^h	16^m	Capricornio	Dic	22^d	05^h	31^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 2011

Planeta	En el crepúsculo matutino			En el crepúsculo vespertino		
Mercurio	Ene 1	–	Feb 9	Mar 7	–	Abr 2
	Abr 26	–	Jun 6	Jun 20	–	Ago 1
	Ago 25	–	Set 19	Oct 14	–	Nov 28
	Dic 10	–	Dic 31		–	
Venus	Ene 1	–	Jul 11	Set 22	–	Dic 31
Marte	May 1	–	Dic 31		–	
Júpiter		–		Ene 1	–	Mar 24
	Abr 24	–	Oct 30	Oct 29	–	Dic 31
Saturno	Ene 1	–	Abr 24	Mar 27	–	Set 27
	Oct 31	–	Dic 31		–	
Urano		–		Ene 1	–	Feb 23
	May 10	–	Oct 19	Ago 11	–	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 2011 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.

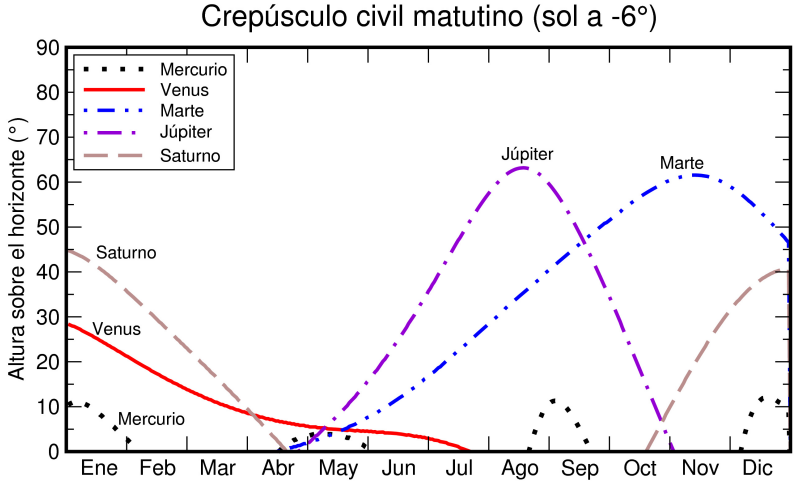
Venus se verá como lucero matutino desde principio de año hasta mediados de julio, alcanzando su máximo brillo (magnitud $-4{,}4$) al principio del año. Se le verá como astro vespertino desde finales de setiembre a final de año, alcanzando su máximo brillo al principio del periodo.

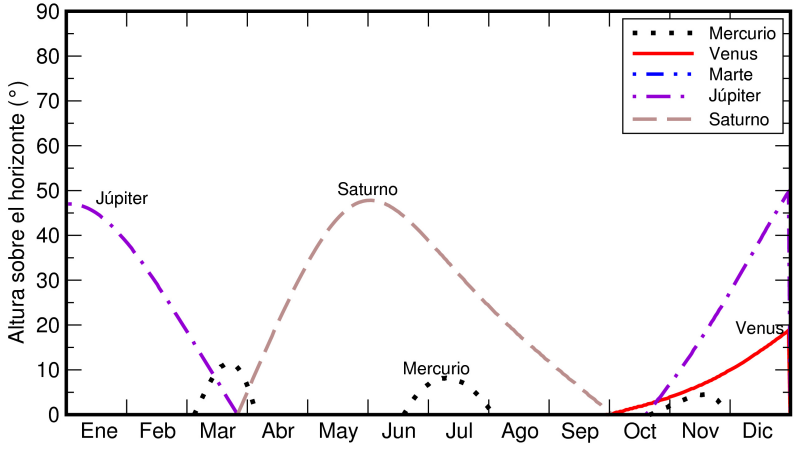
Marte no será visible en el crepúsculo vespertino durante el 2011, se verá como lucero matutino desde mayo a final de año, alcanzando su

máximo brillo (magnitud 1,1) a primeros de febrero.

Júpiter será visible al atardecer desde primeros de año hasta finales de marzo y desde noviembre a final de año. Será visible al amanecer desde finales de abril a primeros de noviembre.

Saturno será visible al amanecer desde primeros de año a finales de marzo y desde finales de octubre a final de año. En abril se verá toda la noche, pasando a verse solo al anochecer entre mayo y setiembre. La inclinación media de sus anillos será de 10°.





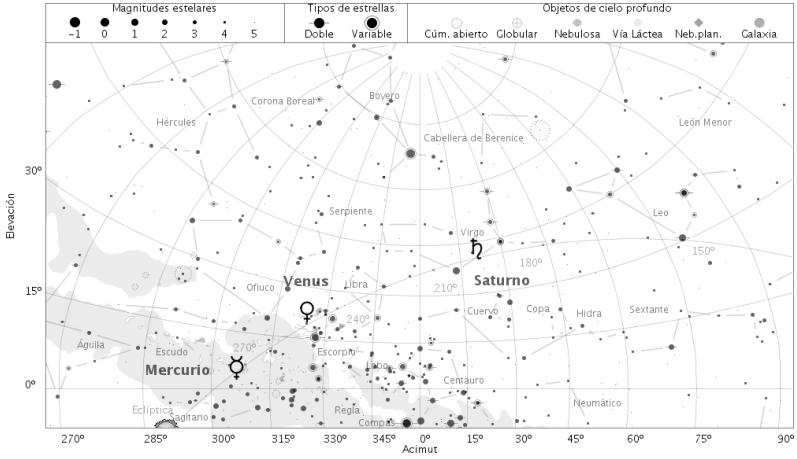
Visibilidad de los planetas mes a mes

Enero	Mercurio, Venus y Saturno son visibles al amanecer. Júpiter y Urano son los luceros vespertinos.
Febrero	Venus y Saturno siguen siendo los luceros matutinos y Júpiter y Urano los vespertinos.
Marzo	Venus y Saturno son visibles al amanecer, Júpiter al atardecer.
Abril	Saturno es visible toda la noche y al amanecer es visible Venus.
Mayo	Saturno es visible casi toda la noche hasta antes de amanecer. Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Urano son visibles al amanecer.
Junio	Saturno es visible la primera parte de la noche. Venus, Marte, Júpiter y Urano siguen siendo visibles al amanecer.
Julio	Urano es visible casi toda la noche desde después de atardecer. Marte y Júpiter son visibles al amanecer, Saturno al atardecer.
Agosto	Júpiter y Urano son visibles casi toda la noche desde después de atardecer. Marte sigue siendo visible al amanecer y Saturno al atardecer.
Septiembre	Urano es visible toda la noche y Júpiter casi toda la noche desde después de atardecer. Marte sigue siendo visible al amanecer y Saturno al atardecer.
Octubre	Urano sigue siendo visible toda la noche, Marte y Júpiter casi toda la noche desde después de atardecer. Al atardecer son visibles Venus y, desde mediados de mes, Mercurio.
Noviembre	Urano y Júpiter son visibles toda la noche hasta casi amanecer y Marte casi toda la noche desde después de atardecer. Mercurio y Venus se verán al atardecer, Saturno al amanecer.
Diciembre	Urano y Júpiter son visibles la primera parte de la noche y Marte casi toda la noche desde después de atardecer. Venus sigue siendo visible al atardecer, Mercurio y Saturno al amanecer.

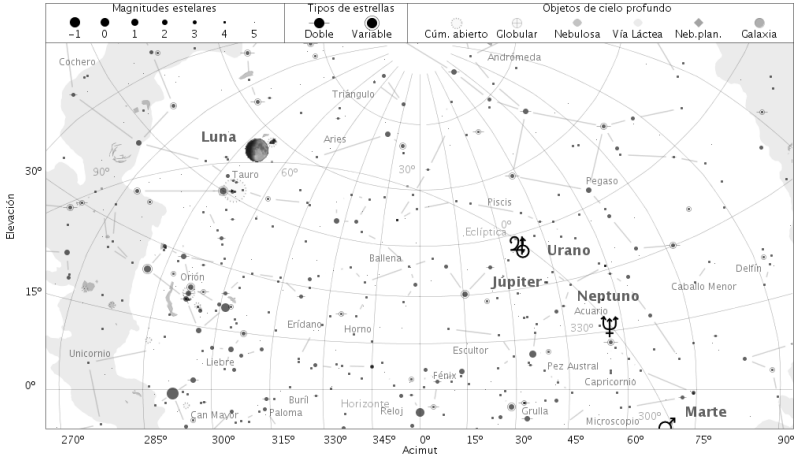
En las páginas siguientes se muestra el aspecto del cielo nocturno meridional en Madrid para el día 15 de cada mes, con indicación de la posición de los planetas visibles a la hora indicada. Esta corresponde a aproximadamente una hora antes de la salida del Sol o una hora después de la puesta del Sol, 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.

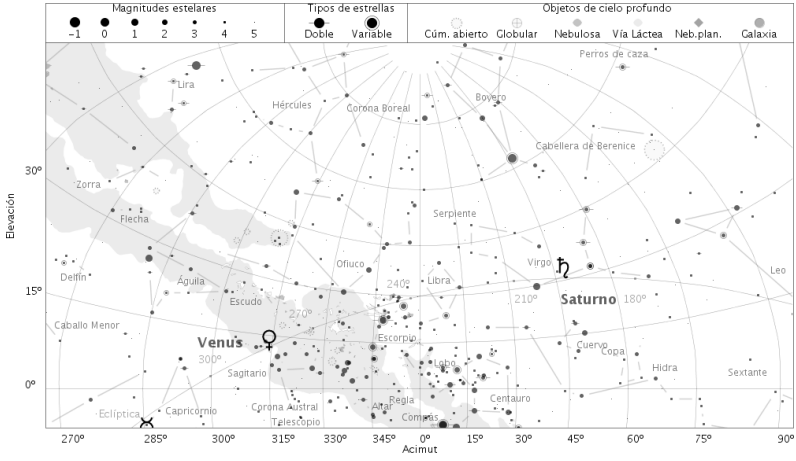
15 de enero de 2010, a las 6:45 TU



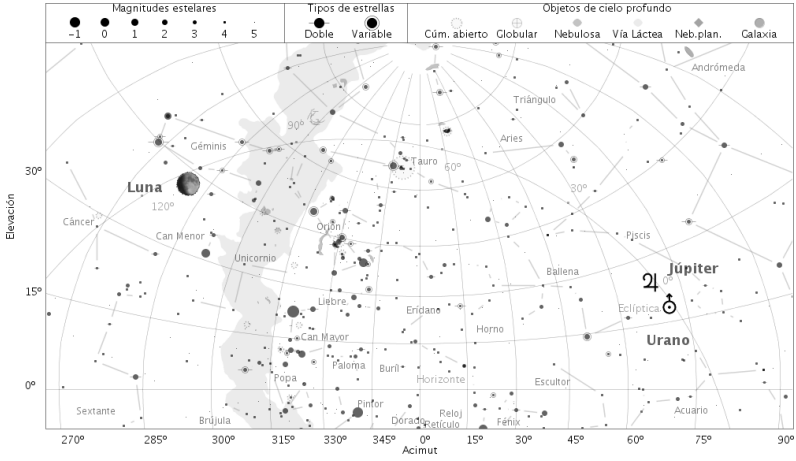
15 de enero de 2010, a las 18:15 TU



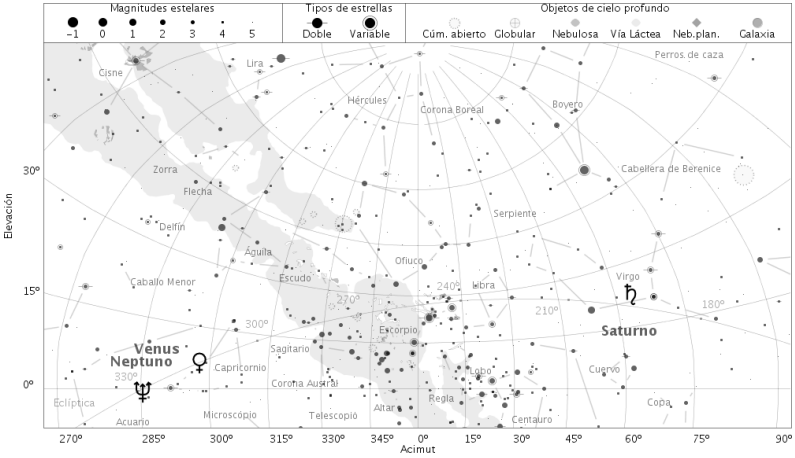
15 de febrero de 2010, a las 6:15 TU



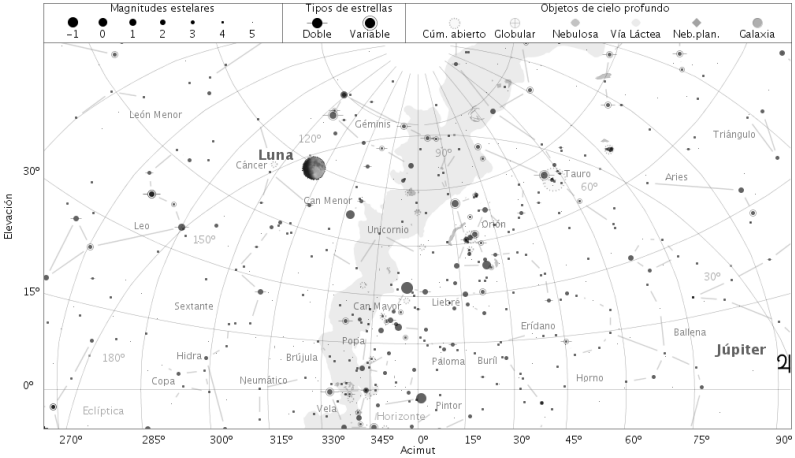
15 de febrero de 2010, a las 18:45 TU



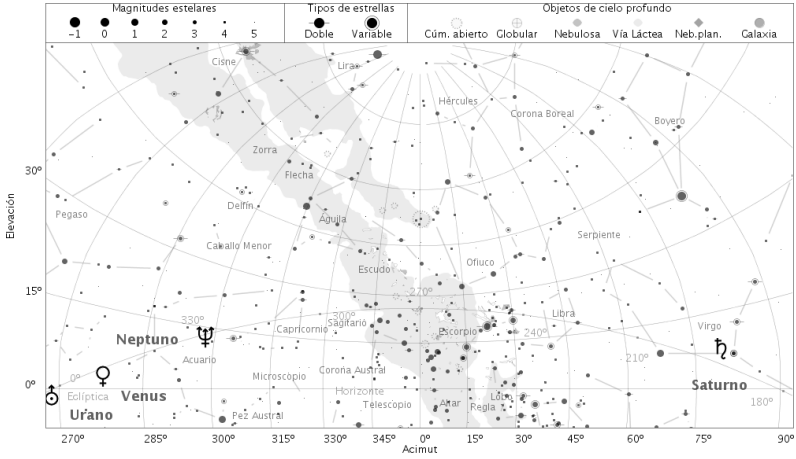
15 de marzo de 2010, a las 5:30 TU



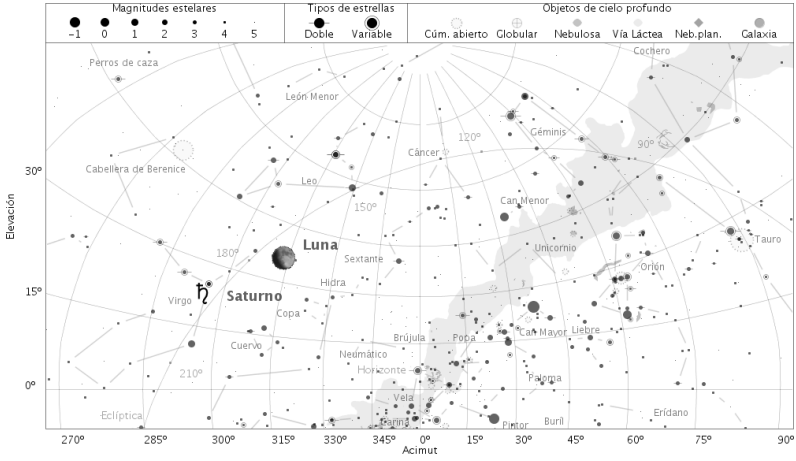
15 de marzo de 2010, a las 19:15 TU



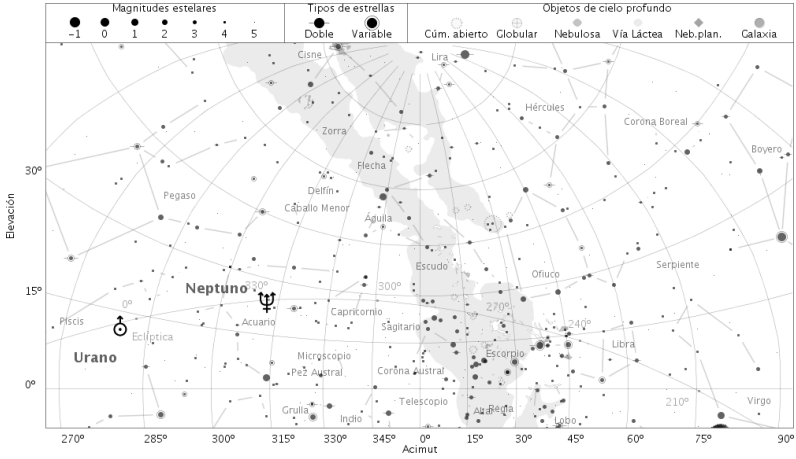
15 de abril de 2010, a las 4:45 TU



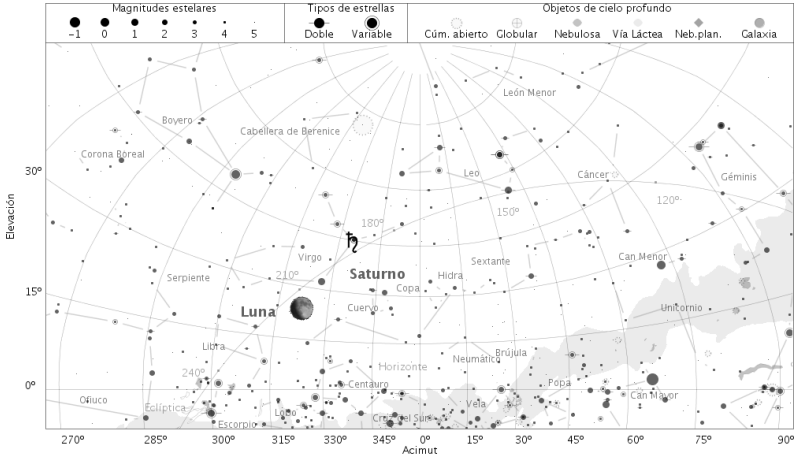
15 de abril de 2010, a las 19:45 TU



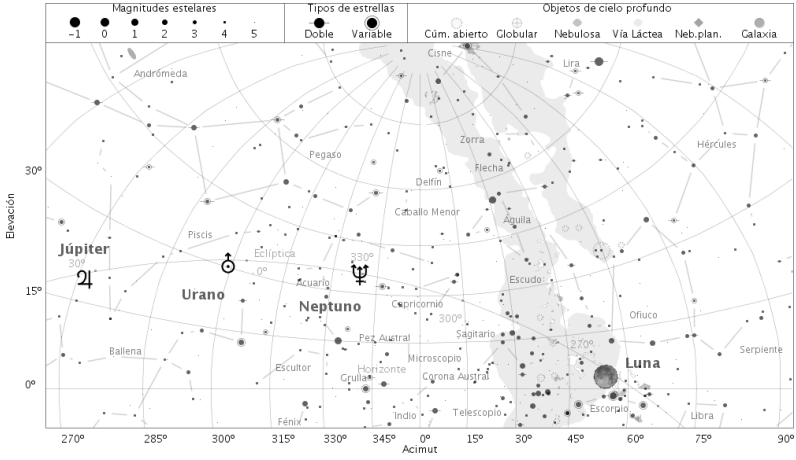
15 de mayo de 2010, a las 4:00 TU



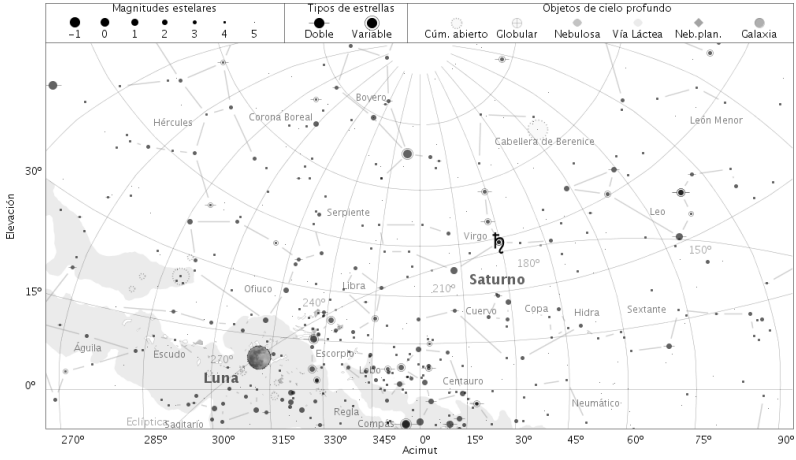
15 de mayo de 2010, a las 20:15 TU



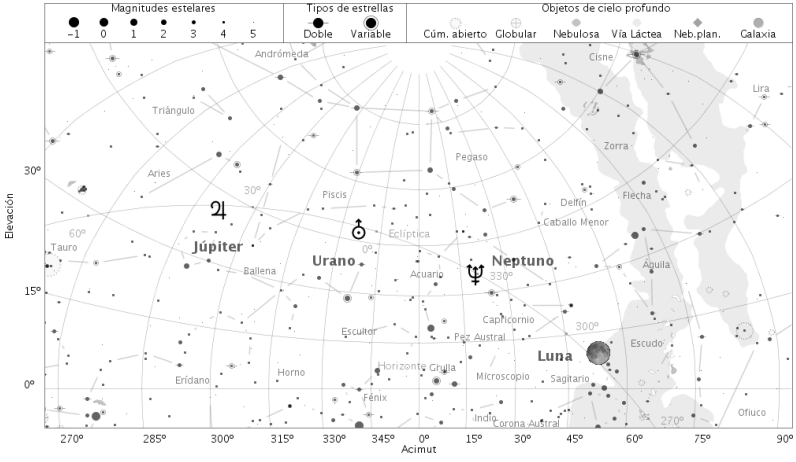
15 de junio de 2010, a las 3:45 TU



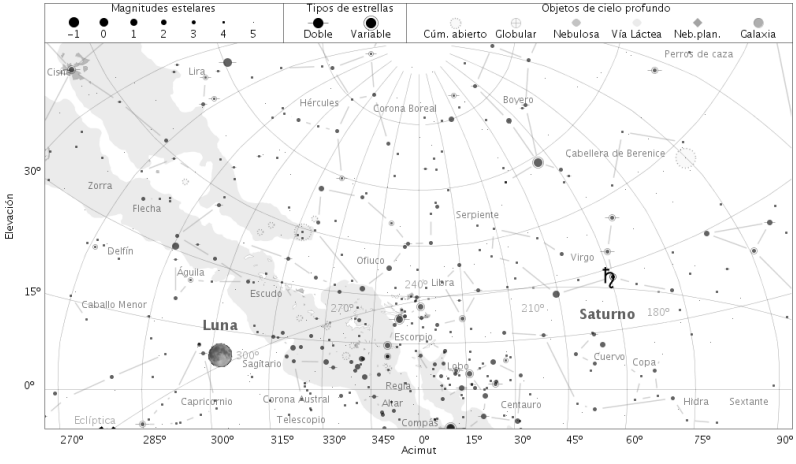
15 de junio de 2010, a las 20:45 TU



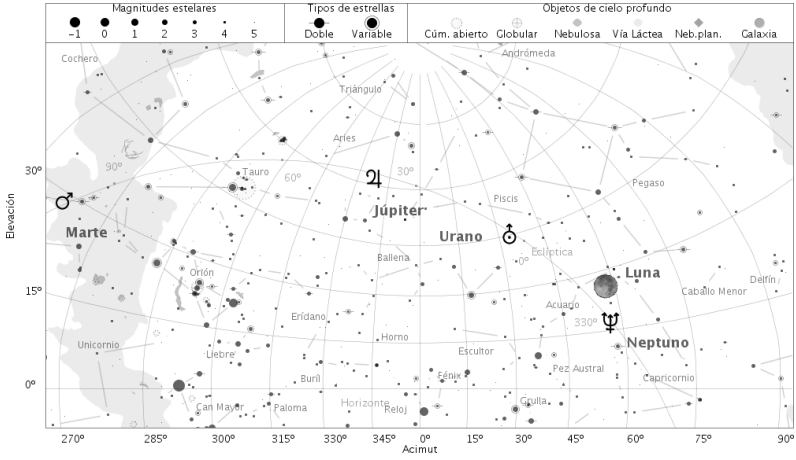
15 de julio de 2010, a las 4:00 TU



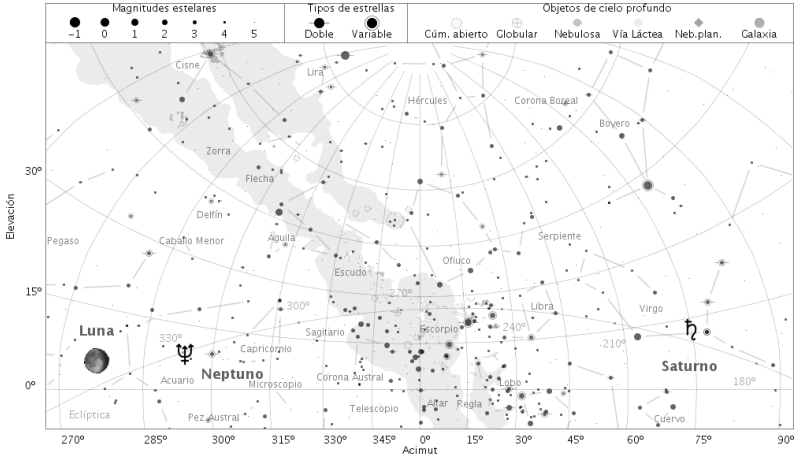
15 de julio de 2010, a las 20:45 TU



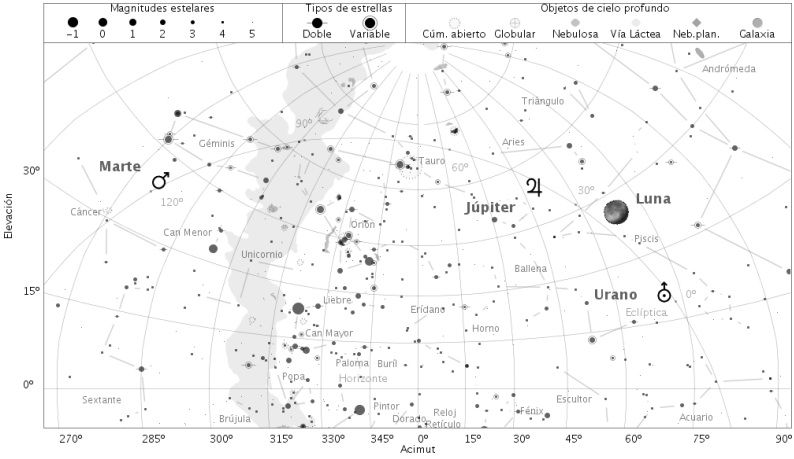
15 de agosto de 2010, a las 4:30 TU



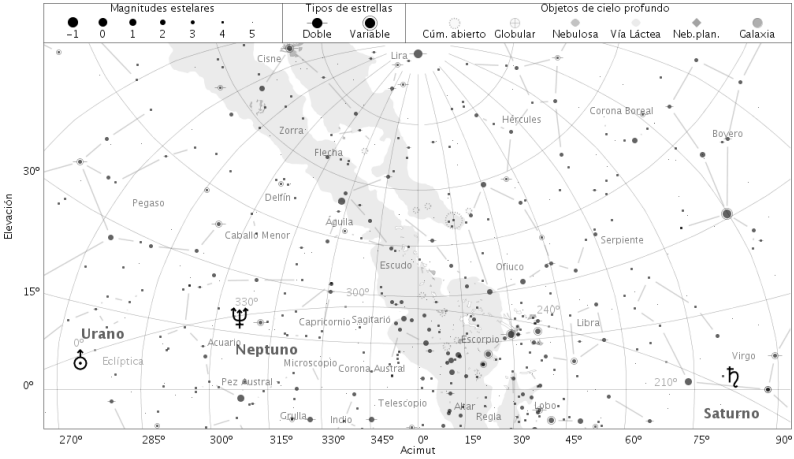
15 de agosto de 2010, a las 20:15 TU



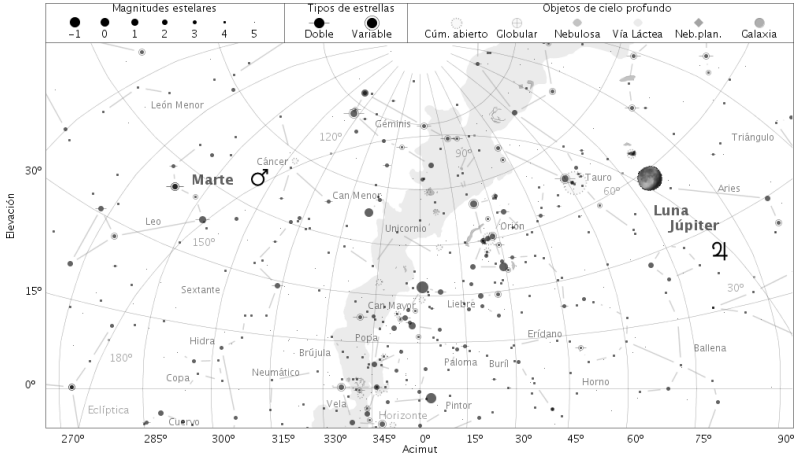
15 de setiembre de 2010, a las 5:00 TU



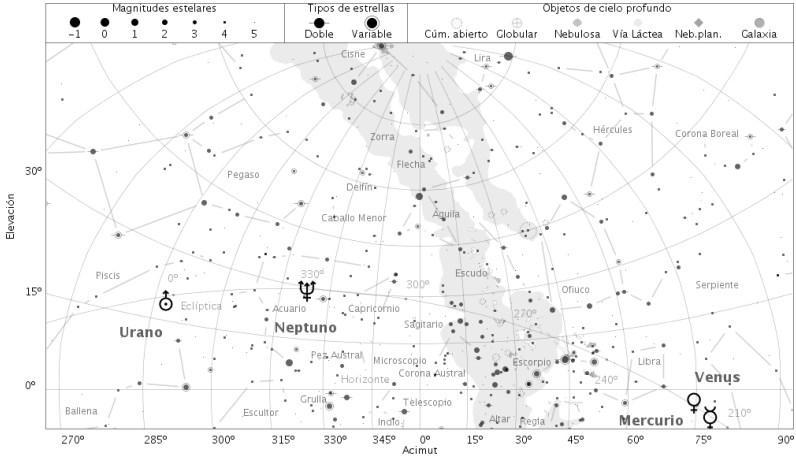
15 de setiembre de 2010, a las 19:15 TU



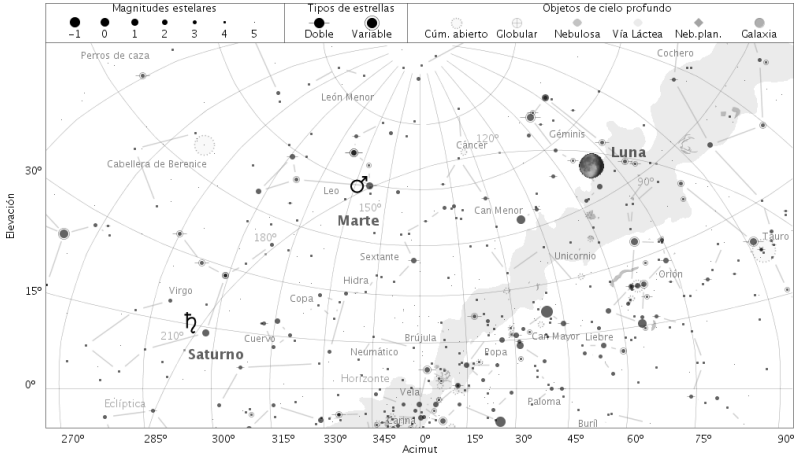
15 de octubre de 2010, a las 5:30 TU



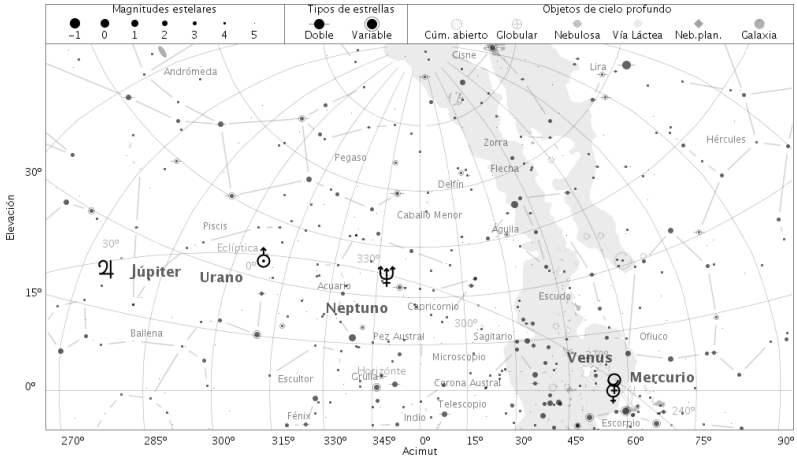
15 de octubre de 2010, a las 18:30 TU



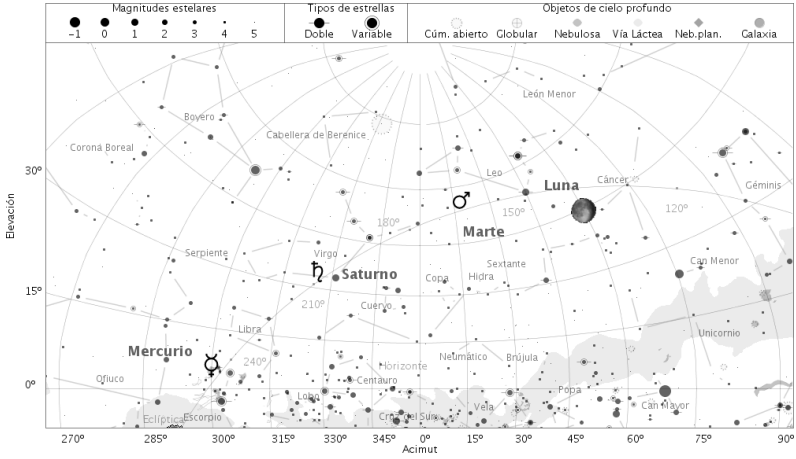
15 de noviembre de 2010, a las 6:00 TU



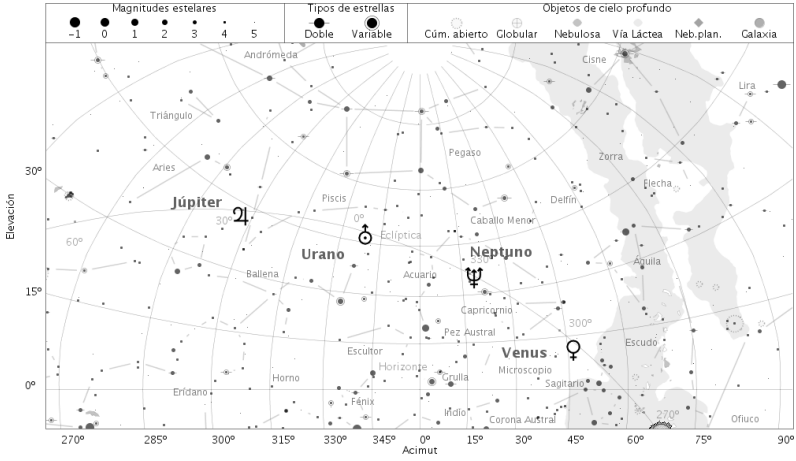
15 de noviembre de 2010, a las 18:00 TU



15 de diciembre de 2010, a las 6:30 TU



15 de diciembre de 2010, a las 17:45 TU



Ocultaciones relevantes por la Luna o el Sol en 2011

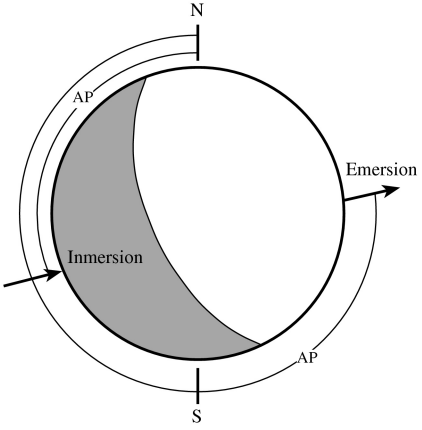
Algunas de estas ocultaciones serán visibles desde España. Las visibles desde Madrid vienen indicadas con un asterisco tras la fecha de la ocultación.

Ocultación de planetas por la Luna

Mercurio es ocultado por la Luna:	Oct 28
Venus es ocultado por la Luna:	Jun 30
Marte es ocultado por la Luna:	Jul 27

Ninguna de las ocultaciones anteriores será visible desde Madrid.

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

A lo largo de este año y el siguiente ningún planeta será ocultado por el Sol. Las próximas ocultaciones de planetas por el Sol se producirán durante el año 2013, en concreto el 11 de mayo se producirá una ocultación de Mercurio y el 19 de junio de Júpiter.

Ocultación de grandes asteroides por la Luna

Metis es ocultado por la Luna:	Ene 2
Vesta es ocultado por la Luna:	Feb 28
Flora es ocultado por la Luna:	Jun 3
Iris es ocultado por la Luna:	Jun 7, Jul 5, Ago 2, Ago 30, Set 27, Oct 25 Nov 22, Dic 20
Astraea es ocultado por la Luna:	Jul 29, Ago 26
Hebe es ocultado por la Luna:	Ago 27*

Ocultación de **Hebe** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde (|	altura	A	B
27 de agosto:						
Inmersión	$5^h52^m.6$	37°	iluminado	24°	$0{,}1^m/°$	$8{,}3^m/°$
Emersión	$6^h16^m.2$	355°	oscuro	28°	$1{,}2^m/°$	$-7{,}0^m/°$

Ocultación de estrellas brillantes por la Luna

En los próximos años no se producirán ocultaciones de Espiga (α Vir), Aldebarán (α Tau), Régulo (α Leo) y Antares (α Sco); sus próximas series comenzarán el 25 de julio de 2012, el 29 de enero de 2015, el 18 de diciembre de 2016 y el 25 de agosto de 2023, respectivamente.

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

μ Gem, NZC 976, ($V = 2,9$)	Ene 18*, Feb 14*
o Sgr, NZC 2779, ($V = 3,8$)	Mar 27*
π Sgr, NZC 2797, ($V = 2,9$)	May 21*
χ^2 Sgr, NZC 2759, ($V = 3,5$)	Oct 31*, Dic 25*

Las ocultaciones precedentes son visibles en Madrid. Por tratarse de estrellas de magnitud cercana a 4, en la tabla siguiente sólo se indica el fenómeno (inmersión o emersión) que tiene lugar por el borde oscuro de la Luna. En dicha tabla no se han considerado las ocultaciones que tienen lugar de día o muy cerca del horizonte.

Características de la ocultación de otras estrellas brillantes

Fase	TU	A.P.	borde (∥	altura	A	B
Enero 18: μ Gem, ($V = 2,9$)						
Inmersión	$5^h46^m,6$	54°	oscuro	4°	$0,1^m/°$	$-0,3^m/°$
Marzo 27: o Sgr, ($V = 3,8$)						
Emersión	$6^h54^m,4$	290°	oscuro	28°	$2,5^m/°$	$-0,5^m/°$
Mayo 21: π Sgr, ($V = 2,9$)						
Emersión	$1^h0^m,2$	334°	oscuro	19°	$1,1^m/°$	$-4,3^m/°$

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 emersión de Hebe en su ocultación del 27 de agosto para un observador situado en Tarragona se procede como sigue:

$$\Delta\lambda = \lambda_{Tarragona} - \lambda_{Madrid} = (1°,3) - (-3°,7) = 5°,0$$
$$\Delta\phi = \phi_{Tarragona} - \phi_{Madrid} = 41°,1 - 40°,4 = 0°,7$$

Emersión:

TU = 6 h 16,2 min + 1,2 min/° × (5,0°) + (–0,4) min/° × (0,7°)
= 6 h 21,9 m

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 2011

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación
			Sol (UA)	Tierra(UA)	(°)
9P/Tempel 1	Ene	10	1,51	2,33	25
231P/LINEAR-NEAT	May	18	3,02	2,70	99
164P/Christensen	May	21	1,65	2,65	6
213P/Van Ness	Jun	15	2,13	1,70	100
123P/West-Hartley	Jul	7	2,13	2,92	32
27P/Crommelin	Jul	13	0,73	1,70	12
130P/McNaught-Hughes	Jul	14	2,12	1,24	139
62P/Tsuchinshan 1	Jul	25	1,49	2,50	3
228P/LINEAR	Ago	29	3,42	4,42	9
49P/Arend-Rigaux	Oct	3	1,37	1,61	58
73P/Schwassmann-Wachmann 3	Oct	4	0,93	1,51	37
45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	Oct	7	0,53	0,67	30
48P/Johnson	Oct	8	2,31	1,84	105
115P/Maury	Oct	9	2,04	2,09	73
97P/Metcalf-Brewington	Oct	22	2,61	1,81	135
41P/Tuttle-Giacobini-Kresak	Nov	15	1,05	1,97	16
69P/Taylor	Nov	18	1,95	1,50	101
37P/Forbes	Dic	7	1,57	2,47	19
71P/Clark	Dic	8	1,56	2,52	8
131P/Mueller 2	Dic	28	2,41	2,14	94

UA = Unidad Astronómica = 149 597 870 km

Estas efemérides se basan en los parámetros orbitales suministrados en `http://ssd.jpl.nasa.gov/dat/ELEMENTS.COMET` por la NASA. 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 en base a la continuada observación de un cometa dado.

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.

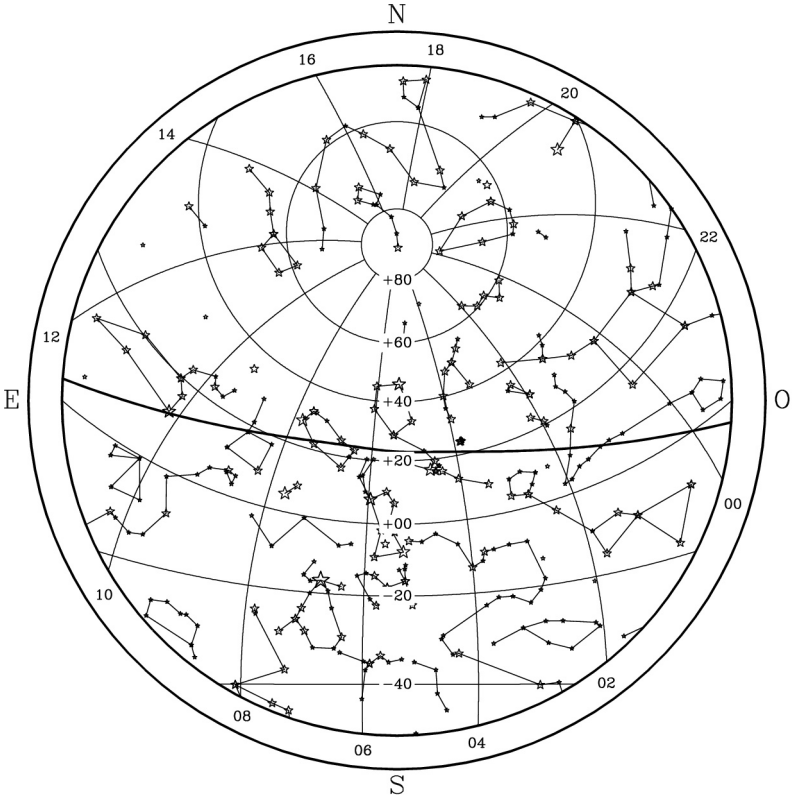
Se incluye para cada mes un mapa celeste que representa el aspecto del cielo, proyectado sobre un plano, tal como lo vería tras anochecer a mediados de mes un observador situado en la península. En tales mapas se han representado las estrellas más significativas de las constelaciones, así como trazos 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 2011

2	Júpiter 0°,6 al S de Urano
2	La Luna 4° al S de Mercurio
2	Metis 0°,1 al S de la Luna (Ocultación)
3	Tierra en el perihelio
4	Luna nueva
8	La Luna 5° al N de Neptuno
8	Máxima elongación Oeste de Venus (47°,0)
9	Máxima elongación Oeste de Mercurio (23°,3)
10	La Luna 6° al N de Urano
10	La Luna 7° al N de Júpiter
10	Luna en apogeo
10	Venus 3° al N de Graffias
12	Cuarto creciente
13	Metis 2° al S de Mercurio
15	Venus 8° al N de Antares
18	Mercurio 4° al S de Plutón
19	Luna llena
20	El Sol entra en Acuario
22	Juno estacionario en ascensión recta
22	Luna en perigeo
23	Mercurio 3° al N de Nunki
24	Iris en oposición
24	Juno 3° al N de la Luna
25	La Luna 8° al S de Saturno
26	Cuarto menguante
27	Hygiea 0°,3 al S de la Luna (Ocultación)
27	Saturno estacionario en ascensión recta
28	Euterpe en conjunción con el Sol
30	La Luna 3° al S de Venus
30	Vesta 3° al N de la Luna
31	Ceres en conjunción con el Sol
31	Mercurio en afelio
31	Metis 2° al S de la Luna

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	18	7,9	−22	34	−0,2
Venus	16	26,1	−18	17	−4,3
Marte	20	6,6	−21	19	1,1
Júpiter	23	57,0	− 1	39	−2,1
Saturno	13	6,9	− 4	26	0,7



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

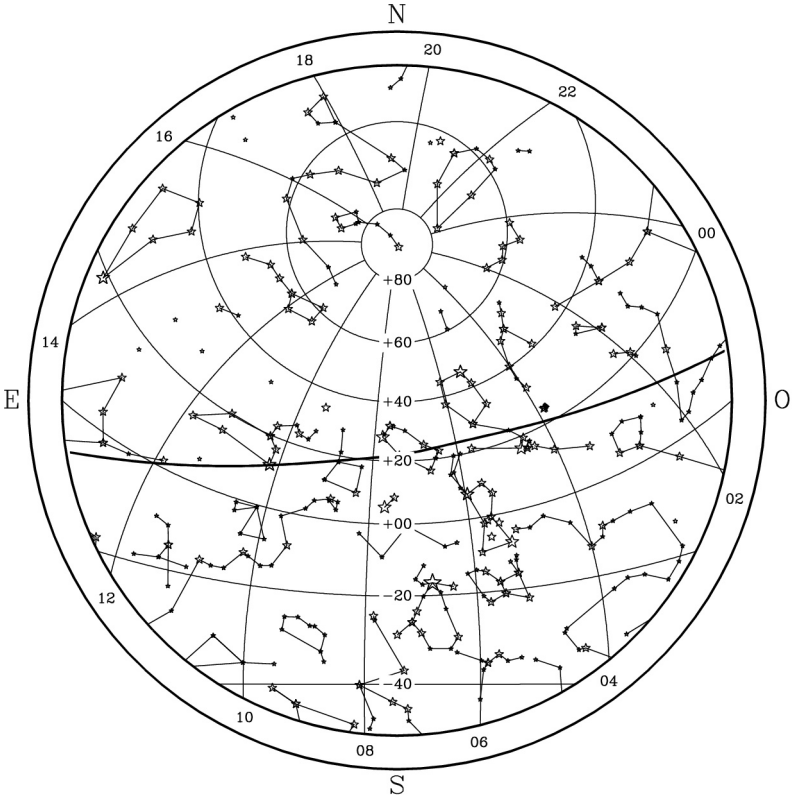
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Febrero 2011

1 La Luna 4° al N de Mercurio
2 Egeria en conjunción con el Sol
3 Luna nueva
4 Marte en conjunción con el Sol
6 Brillo máximo de Marte
6 Luna en apogeo
7 La Luna 6° al N de Urano
9 Venus 2° al S de Plutón
9 Vesta 0°,4 al N de Venus
11 Cuarto creciente
12 Harmonia en conjunción con el Sol
15 Venus 5° al N de Nunki
17 Neptuno en conjunción con el Sol
18 Luna llena
19 El Sol entra en Piscis
19 Luna en perigeo
21 La Luna 8° al S de Saturno
22 Eunomia en conjunción con el Sol
24 Cuarto menguante
24 Hygiea 1°,3 al S de la Luna
25 Amphitrite en conjunción con el Sol
25 Mercurio en conjunción superior con el Sol
26 Brillo máximo de Mercurio
28 Vesta 0°,8 al N de la Luna (Ocultación)

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	21	24,3	−17	25	−0,8
Venus	18	52,9	−21	3	−4,1
Marte	21	45,3	−14	39	1,1
Júpiter	0	18,8	0	48	−2,0
Saturno	13	6,3	− 4	13	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

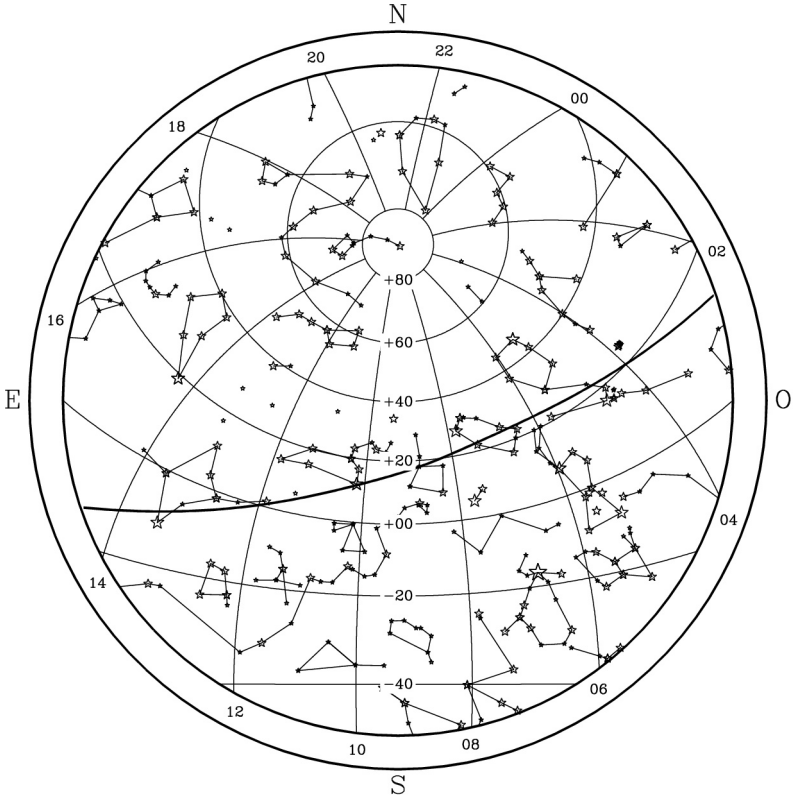
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Marzo 2011

1 La Luna 2° al N de Venus
4 Luna nueva
6 Luna en apogeo
7 La Luna 6° al N de Júpiter
9 Marte en perihelio
12 Cuarto creciente
12 Juno en oposición
14 Masalia en oposición
16 Mercurio 2° al N de Júpiter
16 Mercurio en perihelio
17 Melpomene en oposición
19 Luna en perigeo
19 Luna llena
19 Victoria en conjunción con el Sol
20 El Sol entra en Aries
20 Inicio de la Primavera en el hemisferio boreal
21 La Luna 8° al S de Saturno
21 Urano en conjunción con el Sol
23 Hygiea 2° al S de la Luna
23 Máxima elongación Este de Mercurio (18°,6)
26 Cuarto menguante
27 Venus 0°,2 al S de Neptuno
28 Vesta 1°,4 al S de la Luna
29 Irene en conjunción con el Sol
30 Mercurio estacionario en ascensión recta
31 La Luna 5° al N de Neptuno
31 La Luna 6° al N de Venus

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	0	33,9	4	24	−0,9
Venus	21	11,0	−16	14	−3,9
Marte	23	9,1	− 6	34	1,1
Júpiter	0	42,2	3	21	−1,9
Saturno	13	0,8	− 3	33	0,4



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

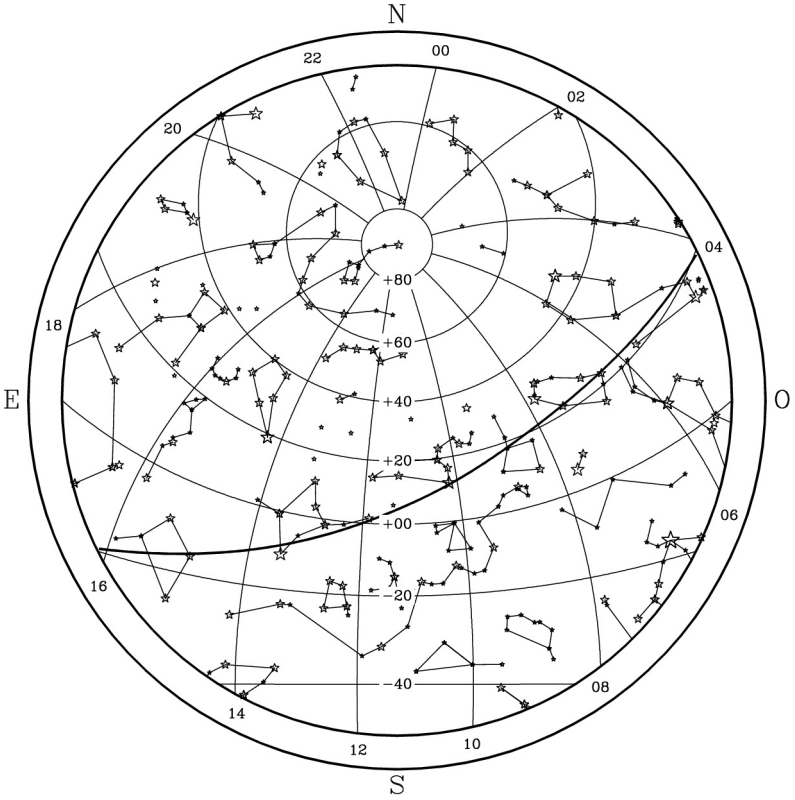
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Abril 2011

2 Luna en apogeo
3 Luna nueva
3 Saturno en oposición
5 Partenope en oposición
6 Fortuna en oposición
6 Jupiter en conjunción con el Sol
9 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
9 Plutón estacionario en ascensión recta
11 Cuarto creciente
14 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
17 La Luna 8° al S de Saturno
17 Luna en perigeo
18 Luna llena
18 Venus en afelio
19 Hygiea 2° al S de la Luna
19 Mercurio 0°,8 al N de Marte
20 El Sol entra en Tauro
22 Mercurio estacionario en ascensión recta
22 Venus 0°,9 al S de Urano
25 Cuarto menguante
27 La Luna 6° al N de Neptuno
29 Juno estacionario en ascensión recta
29 Luna en apogeo
29 Mercurio en afelio
30 La Luna 6° al N de Urano
30 La Luna 7° al N de Venus

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	0	56,5	7	13	3,6
Venus	23	34,8	− 4	14	−3,8
Marte	0	37,8	3	9	1,2
Júpiter	1	9,8	6	15	−1,9
Saturno	12	52,2	− 2	38	0,4



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

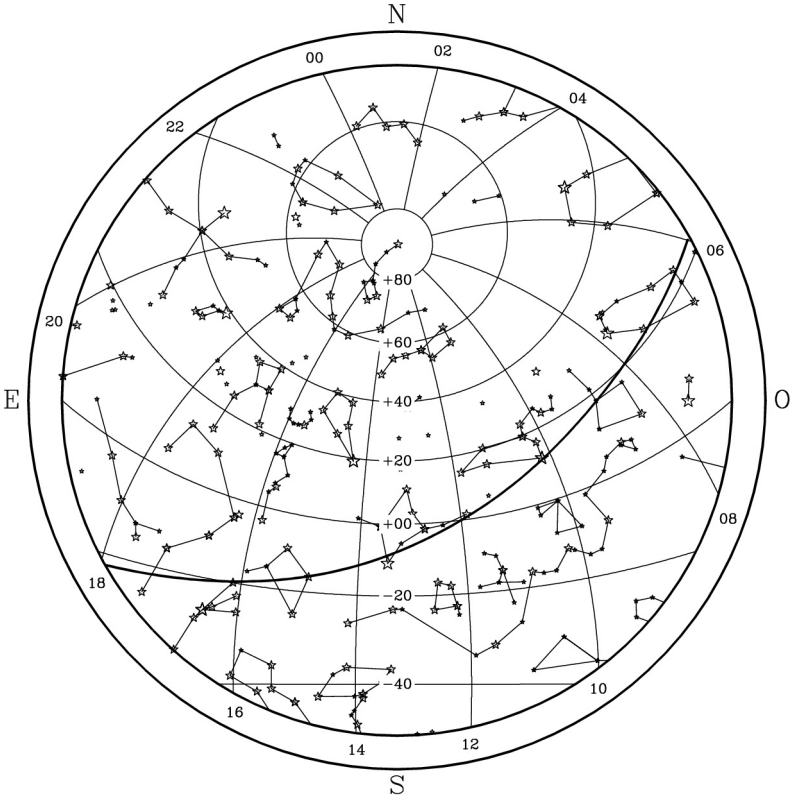
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Mayo 2011

1 La Luna 5° al N de Marte
1 La Luna 6° al N de Júpiter
1 La Luna 8° al N de Mercurio
1 Marte 0°,4 al N de Júpiter
3 Luna nueva
5 Flora 3° al S de la Luna
7 Máxima elongación Oeste de Mercurio (26°,6)
10 Cuarto creciente
10 Iris 2° al S de la Luna
10 Mercurio 2° al S de Júpiter
11 Venus 0°,6 al S de Júpiter
13 Hygiea en oposición
14 La Luna 8° al S de Saturno
15 Luna en perigeo
17 Hygiea 2° al S de la Luna
17 Luna llena
18 Laetitia en conjunción con el Sol
20 Mercurio 2° al S de Marte
21 El Sol entra en Géminis
22 Venus 1°,1 al S de Marte
24 Cuarto menguante
24 La Luna 6° al N de Neptuno
25 Pallas estacionario en ascensión recta
27 Luna en apogeo
29 La Luna 6° al N de Júpiter
30 La Luna 4° al N de Marte
31 La Luna 4° al N de Mercurio
31 La Luna 4° al N de Venus

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	1	51,2	8	8	0,2
Venus	1	49,7	9	33	−3,8
Marte	2	3,2	11	53	1,3
Júpiter	1	36,3	8	51	−1,9
Saturno	12	45,1	− 1	57	0,6



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

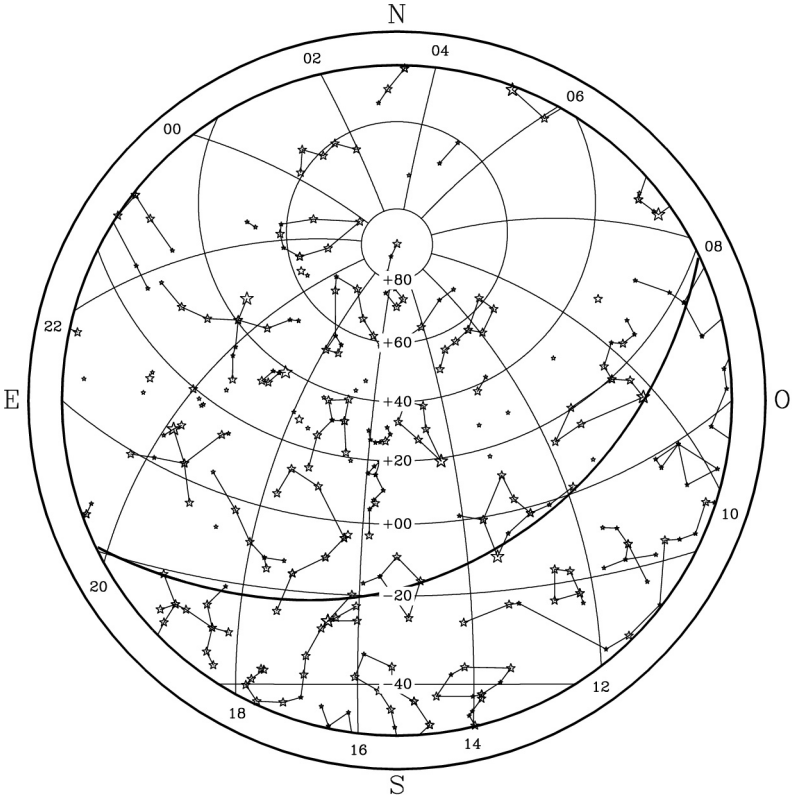
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Junio 2011

1 Luna nueva
2 Mercurio 5° al S de Alcíone
3 Flora 0°,5 al S de la Luna (Ocultación)
3 Neptuno estacionario en ascensión recta
7 Iris 0°,5 al S de la Luna (Ocultación)
8 Astraea en conjunción con el Sol
8 Venus 5° al S de Alcíone
9 Cuarto creciente
10 La Luna 8° al S de Saturno
12 Brillo máximo de Mercurio
12 Luna en perigeo
12 Mercurio en perihelio
13 Hygiea 0°,9 al S de la Luna (Ocultación)
13 Mercurio en conjunción superior con el Sol
14 Saturno estacionario en ascensión recta
15 Luna llena
18 Venus 5° al N de Aldebarán
20 Marte 4° al S de Alcíone
21 El Sol entra en Cáncer
21 Inicio del Verano en el hemisferio boreal
21 La Luna 6° al N de Neptuno
23 Cuarto menguante
24 Luna en apogeo
24 Vesta estacionario en ascensión recta
26 La Luna 5° al N de Júpiter
27 Venus 6° al S de Elnath
28 La Luna 2° al N de Marte
28 Mercurio 5° al S de Pólux
30 La Luna 0°,1 al S de Venus (Ocultación)

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	5	42,8	24	34	−1,9
Venus	4	19,5	20	34	−3,8
Marte	3	33,4	18	54	1,4
Júpiter	2	1,2	11	7	−2,0
Saturno	12	42,4	− 1	47	0,8



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

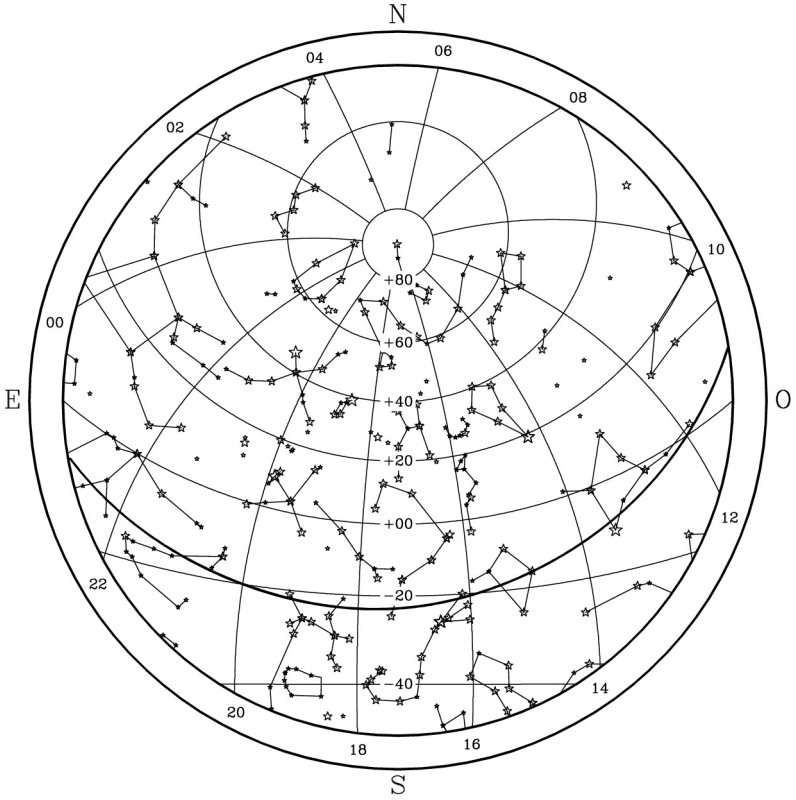
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Julio 2011

1 Luna nueva
3 La Luna 5° al S de Mercurio
4 Tierra en el afelio
5 Iris 0°,4 al N de la Luna (Ocultación)
6 Marte 5° al N de Aldebarán
7 Hebe en conjunción con el Sol
7 Luna en perigeo
8 Cuarto creciente
8 La Luna 8° al S de Saturno
10 Hygiea 0°,1 al S de la Luna (Ocultación)
10 Urano estacionario en ascensión recta
11 Flora en conjunción con el Sol (Ocultación)
15 Luna llena
18 La Luna 6° al N de Neptuno
20 Máxima elongación Este de Mercurio (26°,8)
21 La Luna 6° al N de Urano
21 Luna en apogeo
23 Cuarto menguante
23 El Sol entra en Leo
23 Marte 5° al S de Elnath
24 La Luna 5° al N de Júpiter
26 Mercurio en afelio
27 La Luna 0°,6 al S de Marte (Ocultación)
27 Metis en oposición
28 Psyche en conjunción con el Sol
29 Astraea 1°,0 al S de la Luna (Ocultación)
29 Hebe 2° al S de la Luna
29 Pallas en oposición
30 Luna nueva
31 Ceres estacionario en ascensión recta

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	9	23,5	15	28	0,3
Venus	6	57,8	23	7	−3,8
Marte	5	2,6	22	52	1,4
Júpiter	2	20,4	12	42	−2,2
Saturno	12	45,3	− 2	13	0,9



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

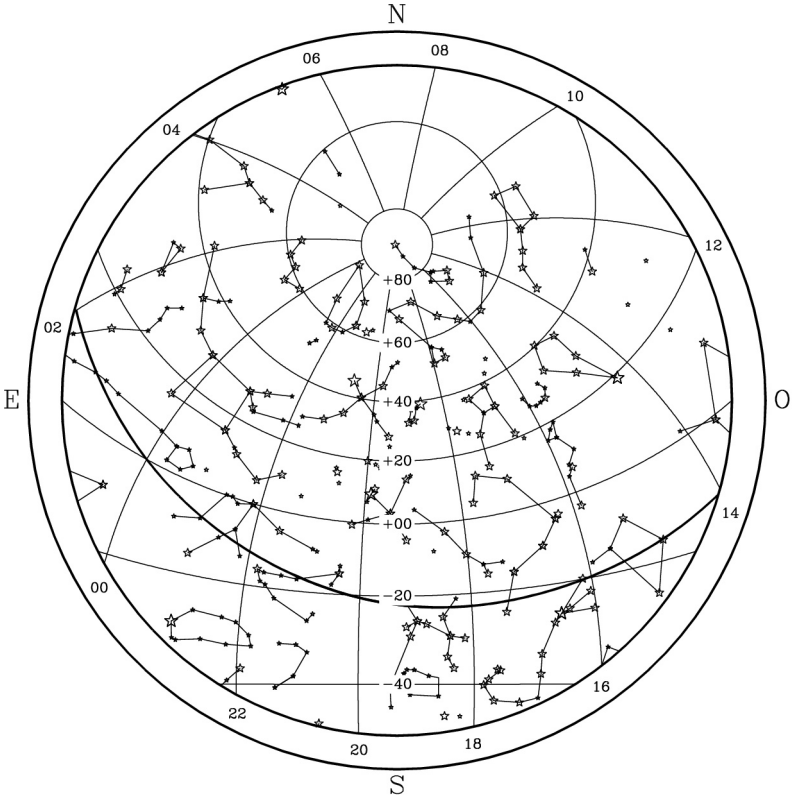
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Agosto 2011

1 La Luna 2° al S de Mercurio
2 Iris 0°,9 al N de la Luna (Ocultación)
2 Luna en perigeo
2 Mercurio estacionario en ascensión recta
4 La Luna 8° al S de Saturno
5 Vesta en oposición
6 Cuarto creciente
6 Hygiea 0°,4 al N de la Luna (Ocultación)
9 Venus en perihelio
13 Luna llena
14 La Luna 6° al N de Neptuno
14 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
16 Venus en conjunción superior con el Sol
17 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
18 Luna en apogeo
20 La Luna 5° al N de Júpiter
21 Cuarto menguante
22 Neptuno en oposición
23 El Sol entra en Virgo
25 La Luna 3° al S de Marte
26 Astraea 0°,7 al N de la Luna (Ocultación)
26 Mercurio estacionario en ascensión recta
27 Hebe 0°,1 al N de la Luna (Ocultación)
28 La Luna 3° al S de Mercurio
29 Luna nueva
30 Iris 1°,1 al N de la Luna (Ocultación)
30 Júpiter estacionario en ascensión recta
30 Luna en perigeo
31 La Luna 7° al S de Saturno

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	9	44,7	8	30	4,5
Venus	9	36,9	15	33	−3,8
Marte	6	33,7	23	41	1,4
Júpiter	2	31,9	13	33	−2,4
Saturno	12	53,3	− 3	11	0,9



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

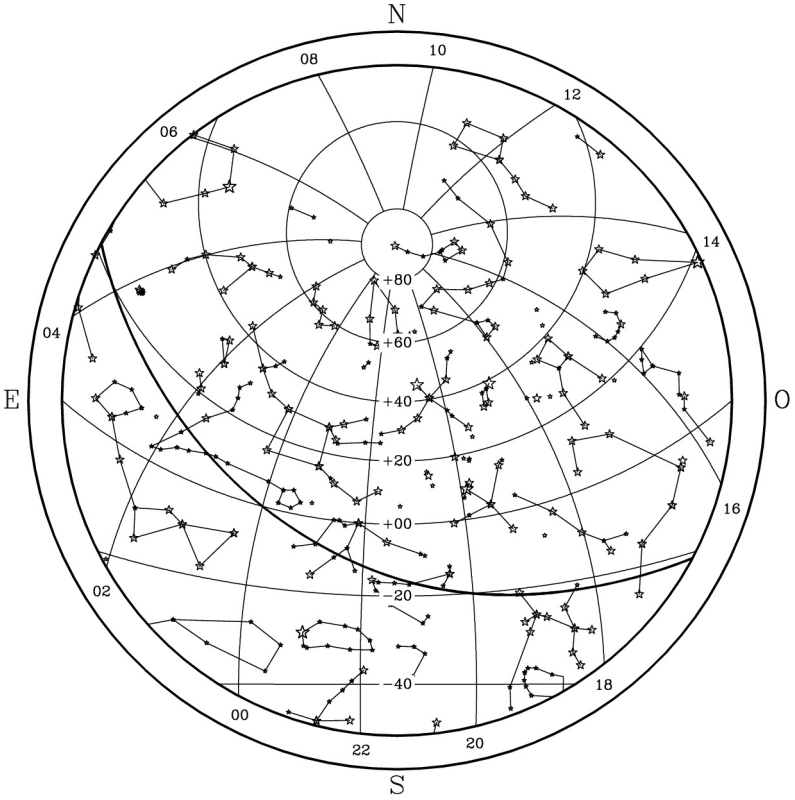
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Setiembre 2011

3 Hygiea 0°,2 al N de la Luna (Ocultación)
3 Máxima elongación Oeste de Mercurio (18°,1)
4 Cuarto creciente
8 Mercurio en perihelio
9 Mercurio 0°,7 al N de Régulo
10 La Luna 6° al N de Neptuno
10 Marte 6° al S de Pólux
12 Luna llena
15 Luna en apogeo
16 Ceres en oposición
16 La Luna 5° al N de Júpiter
16 Pallas estacionario en ascensión recta
16 Plutón estacionario en ascensión recta
17 Vesta estacionario en ascensión recta
20 Cuarto menguante
23 El Sol entra en Libra
23 Inicio del Otoñno en el hemisferio boreal
23 La Luna 5° al S de Marte
24 Astraea 2° al N de la Luna
24 Hebe 2° al N de la Luna
25 Urano en oposición
27 Brillo máximo de Mercurio
27 Egeria en oposición
27 Luna nueva
28 Iris en conjunción con el Sol
28 La Luna 6° al S de Venus
28 Luna en perigeo
28 Mercurio en conjunción superior con el Sol

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	10	48,1	9	29	−1,2
Venus	12	1,6	1	15	−3,8
Marte	7	59,0	21	32	1,4
Júpiter	2	32,0	13	26	−2,6
Saturno	13	5,2	− 4	29	0,8



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

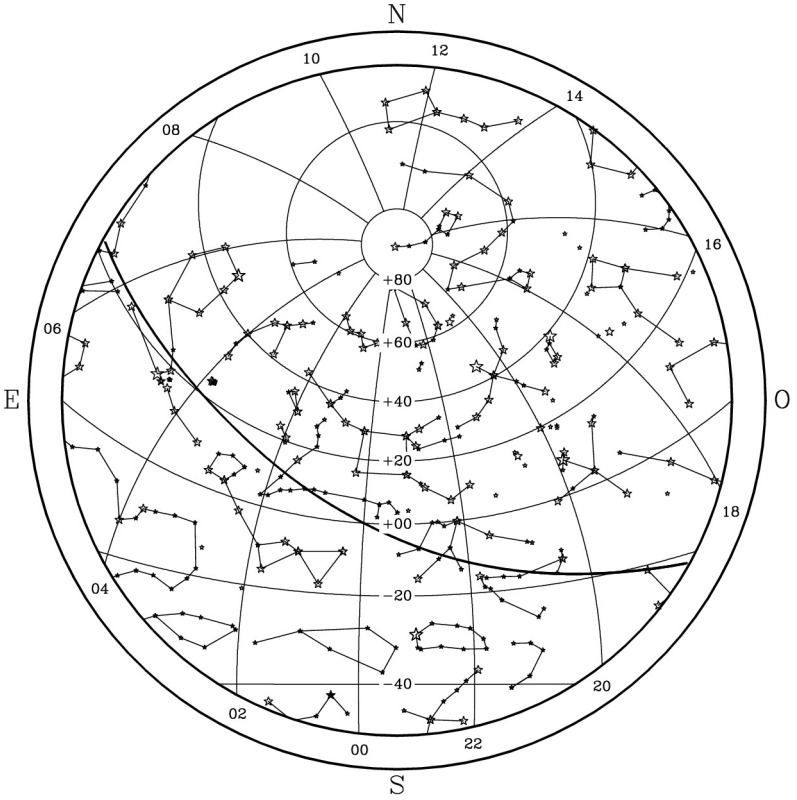
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Octubre 2011

1 Hygiea 0°,4 al S de la Luna (Ocultación)
3 Venus 3° al N de Espiga
4 Cuarto creciente
4 Euterpe en oposición
8 La Luna 6° al N de Neptuno
12 Luna en apogeo
12 Luna llena
13 La Luna 5° al N de Júpiter
13 Saturno en conjunción con el Sol
20 Cuarto menguante
21 La Luna 6° al S de Marte
21 Venus 0°,1 al S de Zuben el Genubi
22 Mercurio en afelio
23 El Sol entra en Escorpio
23 Juno en conjunción con el Sol
23 Mercurio 2° al S de Zuben el Genubi
25 Iris 0°,5 al N de la Luna (Ocultación)
26 Luna en perigeo
26 Luna nueva
28 La Luna 0°,2 al S de Mercurio (Ocultación)
28 La Luna 2° al S de Venus
29 Hygiea 1°,0 al S de la Luna (Ocultación)
29 Jupiter en oposición
31 Saturno 5° al N de Espiga

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	14	0,5	−12	39	−0,5
Venus	14	19,9	−13	28	−3,8
Marte	9	12,9	17	30	1,2
Júpiter	2	21,2	12	30	−2,7
Saturno	13	18,5	− 5	51	0,7



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

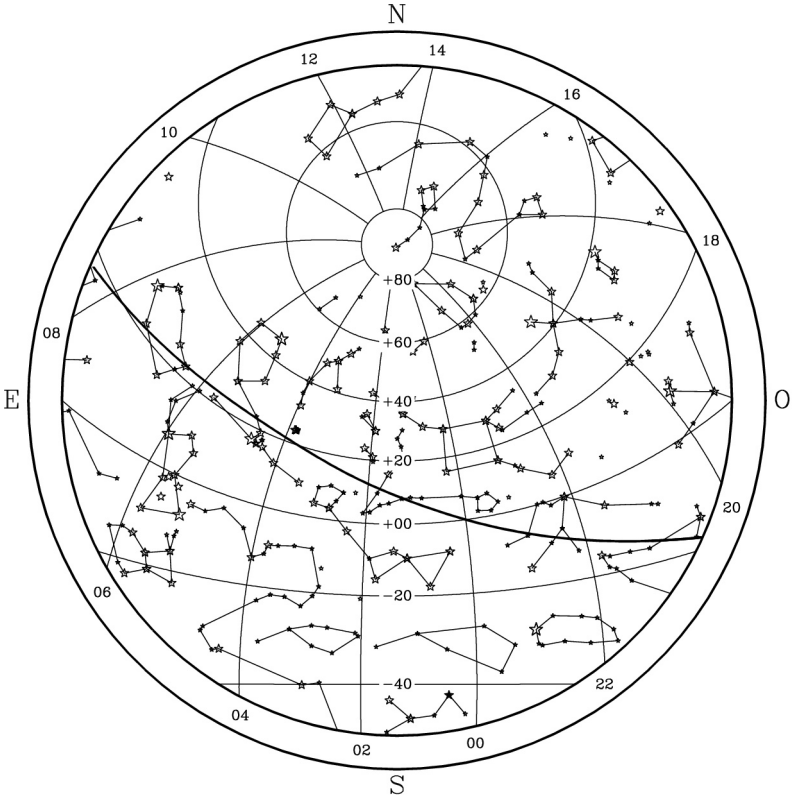
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Noviembre 2011

2 Cuarto creciente
3 Melpomene en conjunción con el Sol
4 La Luna 6° al N de Neptuno
5 Mercurio 4° al S de Graffias
5 Venus 1° al S de Graffias
6 Amphitrite en oposición
7 La Luna 6° al N de Urano
8 Luna en apogeo
9 La Luna 5° al N de Júpiter
9 Neptuno estacionario en ascensión recta
9 Venus 4° al N de Antares
10 Luna llena
10 Marte 1°,4 al N de Régulo
10 Mercurio 2° al N de Antares
12 Ceres estacionario en ascensión recta
12 Harmonia en oposición
12 Irene en oposición
14 Máxima elongación Este de Mercurio (22°,7)
18 Cuarto menguante
19 La Luna 8° al S de Marte
20 Masalia en conjunción con el Sol (Ocultación)
22 El Sol entra en Sagitario
22 Iris 0°,1 al S de la Luna (Ocultación)
22 La Luna 7° al S de Saturno
23 Fortuna en conjunción con el Sol
23 Luna en perigeo
24 Hygiea 0°,8 al N de Venus
24 Mercurio estacionario en ascensión recta
25 Luna nueva
26 La Luna 2° al N de Mercurio
27 Hygiea 2° al S de la Luna
27 La Luna 3° al N de Venus
28 Eunomia en oposición
29 Venus en afelio

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)	Declin. (° ′)	Magnitud
Mercurio	16 52,9	−25 14	−0,2
Venus	16 57,5	−23 31	−3,8
Marte	10 18,4	12 32	1,0
Júpiter	2 5,5	11 11	−2,7
Saturno	13 32,3	− 7 11	0,8



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

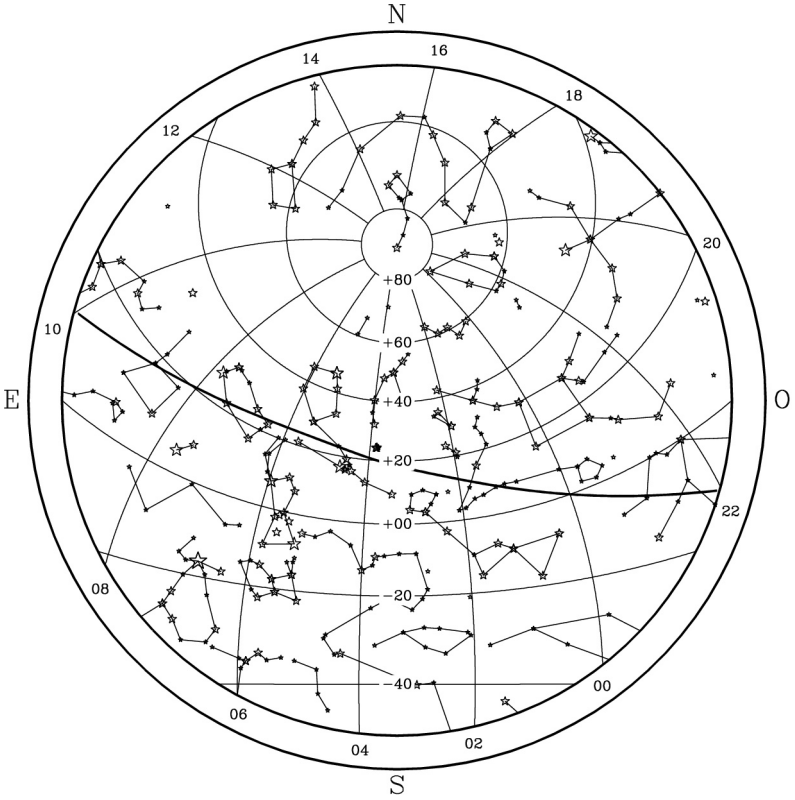
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

Diciembre 2011

1 La Luna 6° al N de Neptuno
1 Venus 5° al S de Plutón
2 Cuarto creciente
4 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
5 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
5 Mercurio en perihelio
6 La Luna 5° al N de Júpiter
6 Luna en apogeo
6 Venus 2° al N de Nunki
6 Victoria en oposición
10 Luna llena
10 Urano estacionario en ascensión recta
12 Partenope en conjunción con el Sol
14 Hebe 1°,1 al S de Marte
14 Mercurio estacionario en ascensión recta
18 Cuarto menguante
20 Iris 0°,9 al S de la Luna (Ocultación)
20 La Luna 6° al S de Saturno
22 El Sol entra en Capricornio
22 Inicio del Invierno en el hemisferio boreal
22 Luna en perigeo
22 Mercurio 7° al N de Antares
23 La Luna 2° al S de Mercurio
23 Máxima elongación Oeste de Mercurio (21°,8)
24 Luna nueva
26 Júpiter estacionario en ascensión recta
27 La Luna 7° al N de Venus
28 Venus en perihelio
29 La Luna 6° al N de Neptuno
30 Pallas 2° al S de la Luna
30 Hebe 0°,8 al N de Marte

Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta (h m)		Declin. (° ′)		Magnitud
Mercurio	16	9,9	−18	10	0,3
Venus	19	40,1	−23	14	−3,8
Marte	11	8,4	8	15	0,5
Júpiter	1	55,7	10	26	−2,6
Saturno	13	43,7	− 8	13	0,7



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 4	parcial de Sol
Junio 1	parcial de Sol
Junio 15	total de Luna
Julio 1	parcial de Sol
Noviembre 25	parcial de Sol
Diciembre 10	total de Luna

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 2011

Se producirán cuatro eclipses parciales de Sol, el 4 de enero, el 1 de junio, el 1 julio y el 25 de noviembre, el primero de ellos será visible desde España.

Se describen en detalle en páginas siguientes.

Eclipses de Sol durante el año próximo

En 2012 habrá dos eclipses de Sol, uno de ellos anular y otro total, ninguno de ellos será visible desde España.

El eclipse anular del 20/21 de mayo será visible en Asia, el Océano Pacífico y el extremo septentrional de Norteamérica, alcanzando una magnitud de 0,94. La anularidad podrá contemplarse en China, Japón, Pacífico y oeste de Estados Unidos.

El eclipse total del 13/14 de noviembre se verá en Australia, Nueva Zelanda, Pacífico sur, Antártida y el extremo más meridional de Sudamérica, alcanzando una magnitud de 1,05. La totalidad podrá contemplarse en el norte de Australia, concretamente en el Territorio Norte y Queensland.

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

Eclipses de Luna

Eclipses de Luna en 2011

Se producirán dos eclipses totales de Luna. El eclipse total del 15 de junio será visible desde España, mientras que el eclipse total del 10 de diciembre será visible en Asia y el Océano Pacífico, siendo el final de su fase de penumbra visible desde España. Se describen en detalle en páginas siguientes.

Eclipses de Luna durante el año próximo

En 2012 habrá dos eclipses de Luna, uno parcial y otro penumbral. El eclipse parcial del 4 de junio será visible en el Océano Pacífico y el eclipse penumbral del 28 de noviembre será visible en el noreste de España.

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 parcial de Sol del día 4 de enero (Saros 151)

Este eclipse es el número 14 de los 72 eclipses del ciclo Saros 151 y será visible desde España.

El eclipse será visible en Europa, norte de África y Asia central. Se iniciará a las 6^h40^m TU (Tiempo Universal) a una latitud de $+28,8°$ en la provincia de Ouargla (Argelia) y el fin del eclipse se producirá a las 11^h1^m TU a una latitud de $+48,7°$ en la provincia de Kazajastán Oriental (Kazajastán). La duración total del fenómeno será de 261 minutos (algo más de cuatro horas y veinte minutos).

El máximo del eclipse parcial se dará a las 8^h51^m en Skelleftea (Suecia), momento en que la magnitud del eclipse será 0,86.

En España el eclipse superará la magnitud de 0,2 en las Islas Canarias, la magnitud 0,5 en la península y la magnitud 0,6 en las Islas Baleares, alcanzando un valor de 0,62 en Mahó (Menorca).

En Madrid el eclipse se iniciará a las 6^h46^m TU y finalizará a las 9^h6^m TU, siendo su duración total de 140 minutos (dos horas y veinte minutos). El máximo del eclipse parcial se dará a las 7^h52^m momento en que la magnitud del eclipse será 0,58.

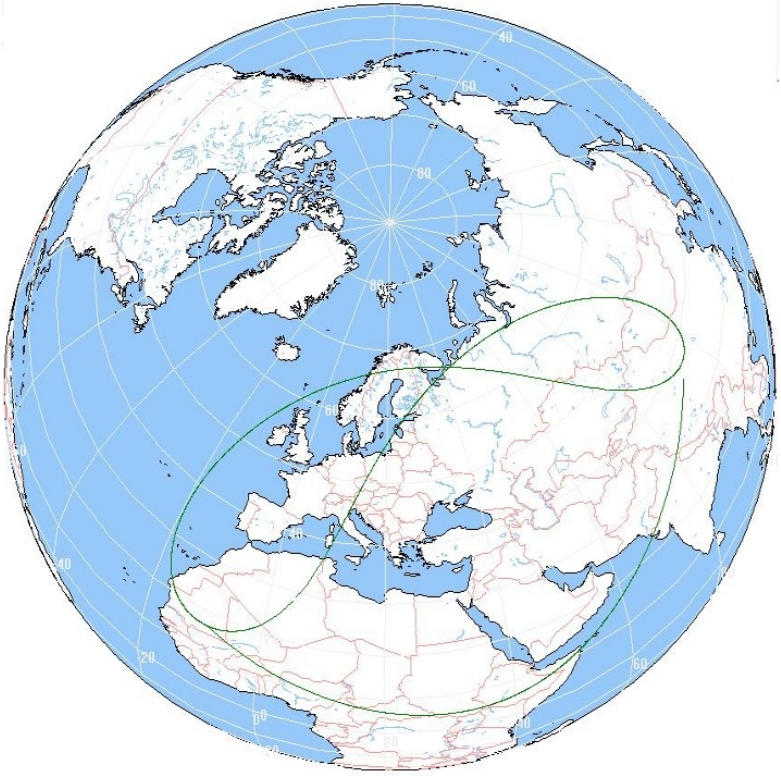
Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	06^h40^m	$28°49'$	$4°29'$
Máximo del eclipse	08^h51^m	$64°41'$	$20°56'$
Conjunción en Asc. Recta	09^h15^m		
Fin del eclipse general	11^h01^m	$48°43'$	$77°28'$

Características del eclipse en el máximo

Magnitud del eclipse parcial	0,857
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	1,063

Eclipse parcial de 4 de enero de 2011



Eclipse parcial de Sol del día 1 de junio (Saros 118)

Este eclipse es el número 68 de los 72 eclipses del ciclo Saros 118 y no es visible desde España.

El eclipse será visible en Islandia, este y norte de Asia y en los extremos más septentrionales de Norteamérica y Europa. Se iniciará a las $19^{h}25^{m}$ TU (Tiempo Universal) a una latitud de $+44,4^{\circ}$ en el territorio Primorie de Rusia y el fin del eclipse se producirá a las $23^{h}7^{m}$ TU en un punto del Océano Atlántico de latitud $+48,4^{\circ}$ y longitud $-50,0^{\circ}$, cercano a la costa de la Isla de Terranova. La duración total del fenómeno será de 222 minutos (algo más de tres horas y media).

El máximo del eclipse parcial se dará a las $21^{h}16^{m}$ en el mar de Barents, junto a la costa de la península de Kanin (Rusia), momento en que la magnitud del eclipse será 0,60.

Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	$19^{h}25^{m}$	$44^{\circ}22'$	$134^{\circ}47'$
Máximo del eclipse	$21^{h}16^{m}$	$67^{\circ}47'$	$46^{\circ}47'$
Conjunción en Asc. Recta	$21^{h}22^{m}$		
Fin del eclipse general	$23^{h}07^{m}$	$48^{\circ}25'$	$-50^{\circ}01'$

Características del eclipse en el máximo

Magnitud del eclipse parcial	0,601
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	1,213

Eclipse total de 1 de junio de 2011



Eclipse parcial de Sol del día 1 de julio (Saros 156)

Este eclipse es el número 1 de los 69 eclipses del ciclo Saros 156 y no es visible desde España.

El eclipse será visible en el sur del Océano Índico y en la Tierra de Enderby (Antártida). Se iniciará a las 7^h54^m TU (Tiempo Universal) en el Océano Índico a una latitud de $-57°$ y una longitud de $13,5°$ y el fin del eclipse se producirá a las 9^h22^m TU a una latitud de $-66°$ en la Tierra de Enderby (Antártida). La duración total del fenómeno será de 88 minutos (algo menos de 1 hora y media).

El máximo del eclipse parcial se dará a las 8^h38^m, momento en que la magnitud del eclipse será 0,097.

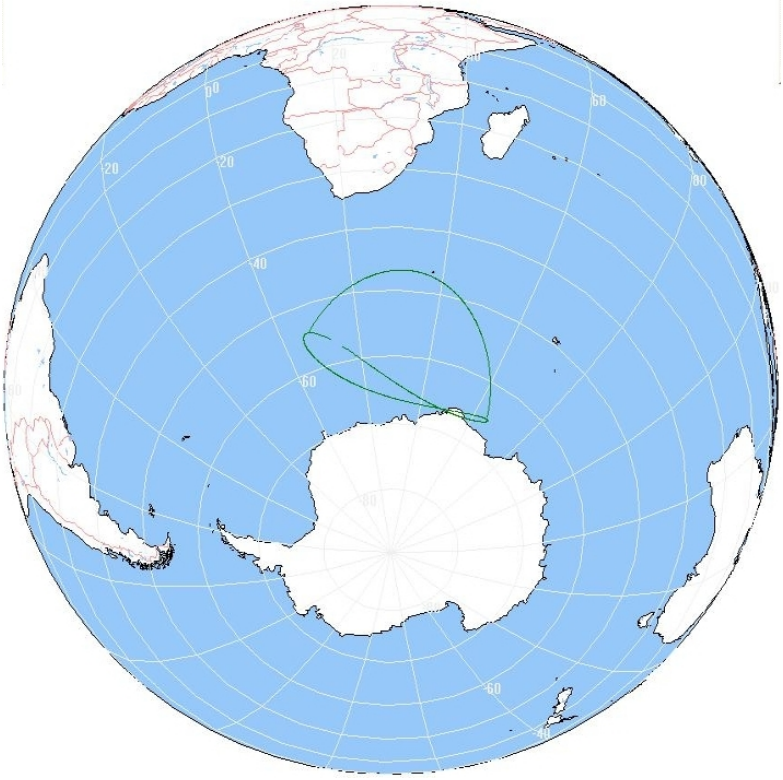
Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	07^h54^m	–56°53′	13°26′
Máximo del eclipse	08^h38^m	–65°11′	28°46′
Conjunción en Asc. Recta	09^h06^m		
Fin del eclipse general	09^h22^m	–66°14′	54°29′

Características del eclipse en el máximo

Magnitud del eclipse parcial	0,097
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	1,492

Eclipse parcial de 1 de julio de 2011



Eclipse parcial de Sol del día 25 de noviembre (Saros 123)

Este eclipse es el número 53 de los 70 eclipses del ciclo Saros 123 y no será visible desde España.

El eclipse será visible en el sur de África, la Antártida, Tasmania y Nueva Zelanda. Se iniciará a las 4^h23^m TU (Tiempo Universal) a una latitud de $-34,8°$ en un punto del Océano Atlántico al oeste de Sudáfrica y el fin del eclipse se producirá a las 8^h17^m TU a una latitud de $-45,0°$ en el Mar de Tasmania, al oeste de la Isla Sur de Nueva Zelanda. La duración total del fenómeno será de 234 minutos (algo menos de cuatro horas).

El máximo del eclipse parcial se dará a las 6^h20^m a una latitud de $-68,6°$ en el Océano Pacífico Sur, al oeste de la Península Antártica, momento en que la magnitud del eclipse será 0,91.

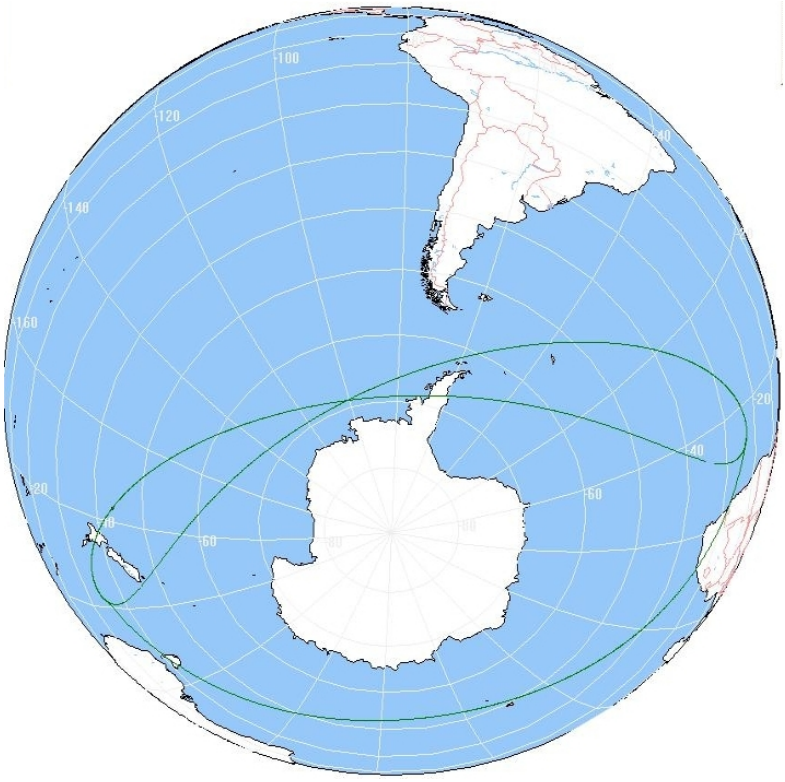
Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	04^h23^m	–34°47′	5°41′
Máximo del eclipse	06^h20^m	–68°35′	–82°30′
Conjunción en Asc. Recta	06^h31^m		
Fin del eclipse general	08^h17^m	–44°59′	164°33′

Características del eclipse en el máximo

Magnitud del eclipse parcial	0,905
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	1,054

Eclipse parcial de 25 de noviembre de 2011



Eclipse total de Luna del día 15 de junio (Saros 130)

Este eclipse es el número 34 de los 72 eclipses del ciclo Saros 130. El eclipse total será completamente visible en el extremo más oriental de España (costa mediterránea e Islas Baleares), en el resto de la península e Islas Canarias se verá casi todo el eclipse total, excepto su comienzo.

El inicio del eclipse de penumbra tendrá lugar a las 17^h25^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 la mitad oriental de África, Asia y Oceanía. El eclipse parcial (**iS**) es visible a partir de las 18^h23^m y el eclipse total (**iT**) a partir de las 19^h22^m. Este será visible en Europa, África, Asia y Oceanía. El eclipse total (**fT**) finaliza a las 21^h03^m, el de sombra (**fS**) a las 22^h00^m y y el de penumbra a las 23^h01^m TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en Sudamérica, Europa, África y el extremo más occidental de Asia y Oceanía según delimita la curva **fP**.

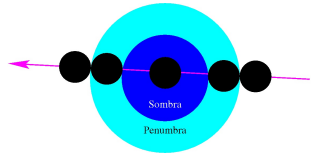
Características generales del eclipse

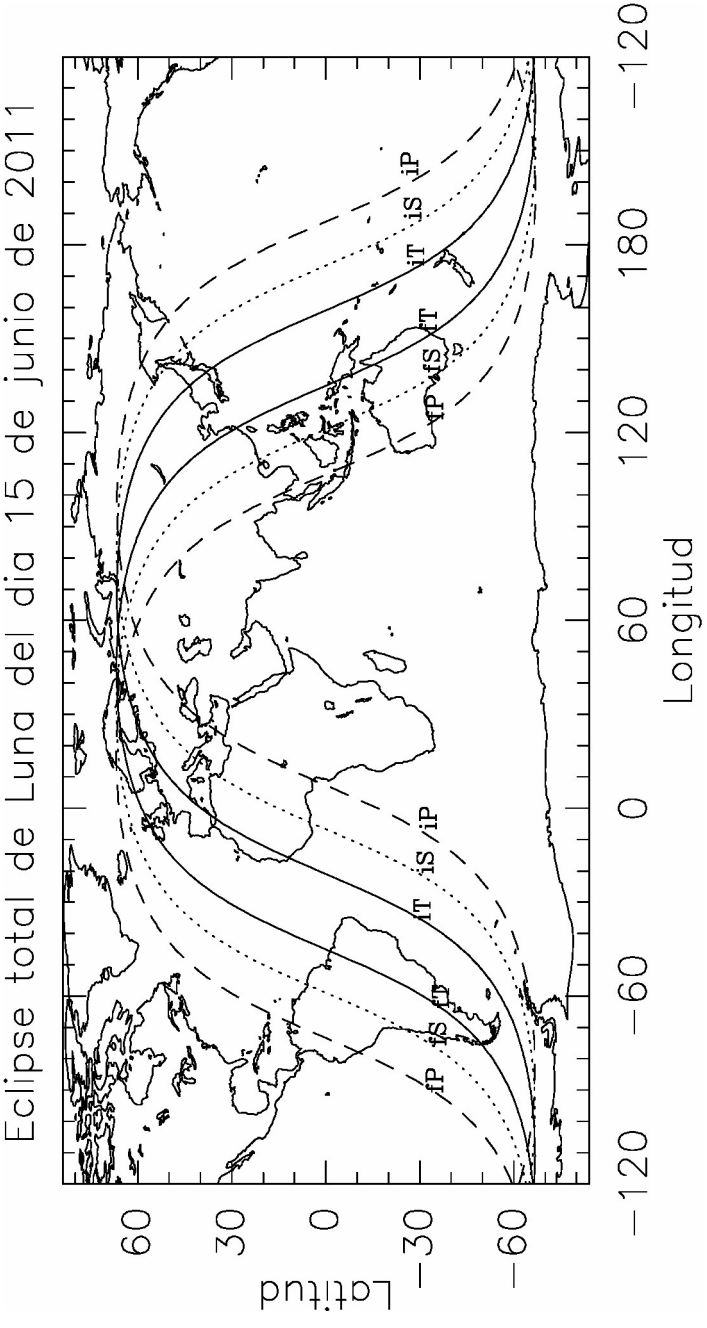
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	17^h25^m	$-23°18'$	$97°19'$	91°
Primer contacto con la sombra	18^h23^m	$-23°17'$	$83°18'$	92°
Inicio de la totalidad	19^h22^m	$-23°15'$	$69°00'$	98°
Máximo del eclipse	20^h14^m	$-23°14'$	$56°42'$	177°
Fin de la totalidad	21^h03^m	$-23°12'$	$44°56'$	105°
Ultimo contacto con la sombra	22^h00^m	$-23°11'$	$31°05'$	99°
Ultimo contacto con la penumbra	23^h01^m	$-23°08'$	$16°36'$	97°
Duración del eclipse penumbral	5^h36^m			
Duración del eclipse parcial	3^h37^m			
Duración del eclipse total	1^h40^m			
Magnitud del eclipse de penumbra	2,69			
Magnitud del eclipse de sombra	1,70			

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	269 %
Fracción de diámetro lunar inmersa en la sombra	170 %
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	0,09




Eclipse total de Luna del dia 15 de junio de 2011
Latitud
Longitud
60
30
0
−30
−60
−120
−60
0
60
120
180
−120
fP
fS
fT
T
iS
iP

Eclipse total de Luna del día 21 de diciembre (Saros 135)

Este eclipse es el número 23 de los 71 eclipses del ciclo Saros 135. El eclipse total no será visible España, será visible el final del eclipse penumbral.

El inicio del eclipse de penumbra tendrá lugar a las 11^h34^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 el norte y este de Asia, Oceanía, Océano Pacífico y Norteamérica. El eclipse parcial (**iS**) es visible a partir de las 12^h46^m y el eclipse total (**iT**) a partir de las 14^h06^m. Este será visible en Asia, Oceanía, Océano Pacífico y noroeste de Norteamérica. El eclipse total (**fT**) finaliza a las 14^h57^m, el de sombra (**fS**) a las 16^h18^m y el de penumbra a las 17^h30^m TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en Europa, África oriental, Asia, Oceanía y el extremo más septentrional de Norteamérica según delimita la curva **fP**.

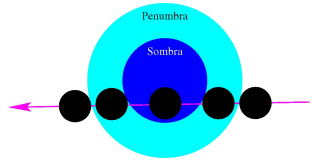
Características generales del eclipse

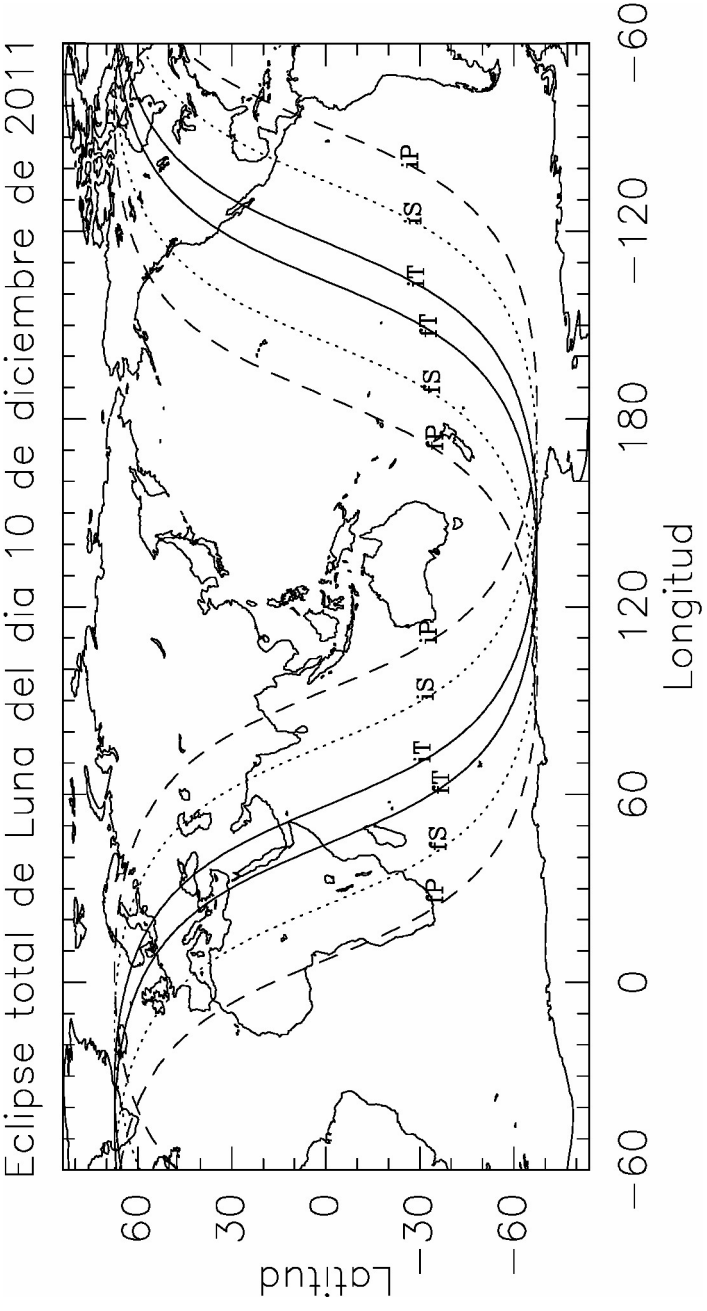
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	11^h34^m	22°33′	–176°46′	76°
Primer contacto con la sombra	12^h46^m	22°33′	165°49′	67°
Inicio de la totalidad	14^h06^m	22°33′	146°23′	31°
Máximo del eclipse	14^h33^m	22°33′	139°56′	1°
Fin de la totalidad	14^h57^m	22°33′	134°02′	–28°
Ultimo contacto con la sombra	16^h18^m	22°33′	114°35′	–66°
Ultimo contacto con la penumbra	17^h30^m	22°32′	97°13′	–74°
Duración del eclipse penumbral	5^h56^m			
Duración del eclipse parcial	3^h32^m			
Duración del eclipse total	0^h51^m			
Magnitud del eclipse de penumbra	2,19			
Magnitud del eclipse de sombra	1,11			

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	219 %
Fracción de diámetro lunar inmersa en la sombra	111 %
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	0,39




Eclipse total de Luna del dia 10 de diciembre de 2011
Latitud
60
30
0
−30
−60
−60
0
60
120
180
−120
−60
Longitud
fP
fS
fT
iT
iS
iP
fP
fS
fT
iT
iS
iP

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
2011 enero 4	parcial		0,86	Europa, África y Asia central
2011 junio 1	parcial		0,60	E. Asia y costas Ártico
2011 julio 1	parcial		0,10	Sur Océano Índico
2011 noviembre 25	parcial		0,91	Antártida y Nueva Zelanda
2012 mayo 20/21	anular	5 46	0,94	Asia y Norteamérica
2012 noviem. 13/14	total	4 02	1,05	Oceanía y Pacífico
2013 mayo 9/10	anular	6 03	0,95	Oceanía y Pacífico
2013 noviembre 3	mixto	1 40	1,02	S. Europa, África y E.América
2014 abril 29	anular		0,99	Antártida y Australia
2014 octubre 23	parcial		0,81	Norteamérica
2015 marzo 20	total	2 47	1,04	Europa, N. de África y Asia
2015 septiembre 13	parcial		0,79	Antártida, S. de África
2016 marzo 9	total	4 09	1,05	Sumatra, Borneo, Pacífico
2016 setiembre 1	anular	3 06	0,97	Atlántico, África e Índico
2017 febrero 26	anular	0 44	0,99	S. Sudamérica y África
2017 agosto 21	total	2 40	1,03	Noteamérica y N. Sudamérica
2018 febrero 15	parcial		0,60	Antártida y S. Sudamérica
2018 julio 13	parcial		0,34	S. Australia
2018 agosto 11	parcial		0,74	N. Europa y Asia, Ártico
2019 enero 5/6	parcial		0,72	NE. Asia y N. Pacífico
2019 julio 2	total	4 33	1,05	S. Pacífico y Sudamérica
2019 diciembre 26	anular	3 39	0,97	Asia y Australia
2020 junio 21	anular	0 38	0,99	África, SE. Europa y Asia
2020 diciembre 14	total	2 10	1,03	Pacífico y Sudamérica

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.

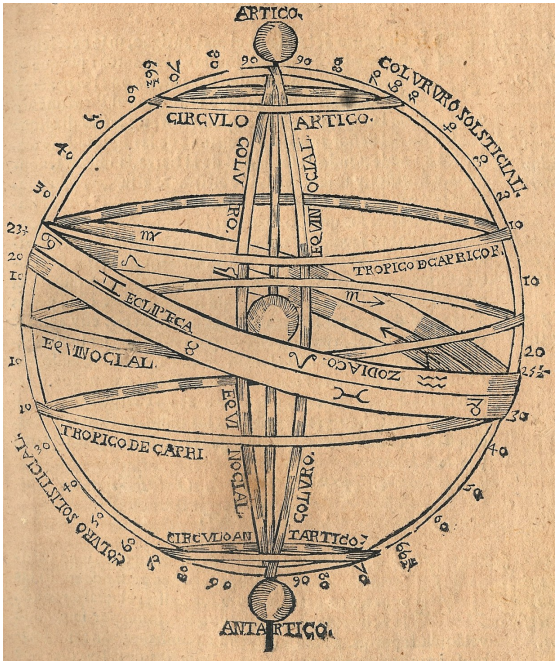
Eclipses de Luna en los próximos años

Fecha	Tipo	Duración (en min)	Dur. totalidad (en min)	Magnitud
2011 junio 15	total	220	100	1,71
2011 diciembre 10	total	212	52	1,11
2012 junio 4	parcial	128		0,38
2012 noviembre 28	penumbral			
2013 abril 25	parcial	32		0,02
2013 mayo 25	penumbral			
2013 octubre 18/19	penumbral			
2014 abril 15	total	216	78	1,30
2014 octubre 8	total	200	60	1,17
2015 abril 4	total	210	12	1,01
2015 setiembre 28	total	200	72	1,28
2016 marzo 23	penumbral			
2016 setiembre 16	penumbral			
2017 febrero 10/11	penumbral			
2017 agosto 7	parcial	116		0,25
2018 enero 31	total	204	76	1,32
2018 julio 27	total	236	104	1,61
2019 enero 21	total	197	62	1,20
2019 julio 16/17	parcial	178		0,65
2020 enero 10	penumbral			
2020 junio 5	penumbral			
2020 julio 5	penumbral			
2020 noviembre 30	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 28 de setiembre de 2015.

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 eclesiástico de católicos y protestantes. La unidad de este calendario es el **día**, definido como 86 400 segundos de Tiempo Atómico Internacional (TAI).

Para facilitar los cambios 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 2011 se escribe como 2011-02-28 o bien 20110228.

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 ha dado consiste en dar el **número de 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 número de 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. El número de día juliano facilita la realización de transformaciones entre fechas expresadas en distintos calendarios, así como la determinación del tiempo transcurrido entre dos determinadas fechas o el cálculo del día de la semana en que cae una determinada fecha.

En su forma actual, el número de día juliano se refiere al Meridiano de Greenwich y en la escala de Tiempo Universal (TU). Se considera que el día juliano número cero se inició a las 12 horas al día 1 de enero del año −4712 (del calendario juliano 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 26 de octubre de 2011 es 2 455 860,5.

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
2011 Ene 0	2 455 561,5	2011 Jul 0	2 455 742,5
2011 Feb 0	2 455 592,5	2011 Ago 0	2 455 773,5
2011 Mar 0	2 455 620,5	2011 Set 0	2 455 804,5
2011 Abr 0	2 455 651,5	2011 Oct 0	2 455 834,5
2011 May 0	2 455 681,5	2011 Nov 0	2 455 865,5
2011 Jun 0	2 455 712,5	2011 Dic 0	2 455 895,5

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

2001	2451909,5	2006	2453735,5	2011	2455561,5
2002	2452274,5	2007	2454100,5	2012	2455926,5
2003	2452639,5	2008	2454465,5	2013	2456292,5
2004	2453004,5	2009	2454831,5	2014	2456657,5
2005	2453370,5	2010	2455196,5	2015	2457022,5

A continuación se indican algunos días julianos a los que se refieren sistemas de coordenadas 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
J1991.25	=	2448349,0625	=	1991 Abr 2,5625
J2000	=	2451545,0	=	2000 Ene 1,500

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 26 de octubre de 2011 a las 0^h TU son:

$DJC(2000)$=2 451 544,5
$DJF(11) = 365 * 11 + int[11/4] = 4017$
$DJM(\text{Octubre}) = 273$

Por consiguiente, el día juliano es: $DJC + DJF + DJM + día = 2451544{,}5 + 4017 + 273 + 26 = 2455860{,}5$. Tal día será miércoles.

Conocido el día juliano correspondiente a una fecha, el **día de la semana** se determina sumando 0,5 al día juliano, realizando 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, y a pesar de la recomendación en contra de la *Unión Astronómica Internacional*, se usa el **día juliano modificado**, 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 26 de octubre de 2011 a las 0^{h} de TU es 2 455 860,5; el día juliano modificado correspondiente es 55 860.

Calendario gregoriano

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 2011

Cómputo eclesiástico		
Número áureo	17	(ciclo lunar de 19 años)
Epacta	25 II	(edad de la Luna al 1 de enero)
Ciclo solar	4	(ciclo de 28 años)
Letra dominical	B	(ciclo de 28 años)
Indicción romana	4	(ciclo de 15 años)

Principales fiestas movibles		
Septuagésima	Feb	20
Miércoles de Ceniza	Mar	9
Primer domingo de Cuaresma	Mar	13
Viernes Santo	Abr	22
Pascua	Abr	24
Ascensión	Jun	2
Pentecostés	Jun	12
La Santísima Trinidad	Jun	19
Corpus Christi	Jun	23
El Sagrado Corazón de Jesús	Jul	1
Primer domingo de Adviento	Nov	27

Témporas	
I	Mar 16, 18, 19
II	Jun 15, 17, 18
III	Set 21, 23, 24
IV	Dic 14, 16, 17

Velaciones

Se cierran:
Mar 8 y Nov 26
Se abren:
Abr 26 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", 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.

La designación del año aproximado del nacimiento de Cristo como año 1 del calendario juliano se realizó en el siglo 6. Otro instante inicial distinto para contabilizar años julianos se debe a Scaliger (siglo 16), 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*.

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 2011

Pascua	11 de abril (juliano) 24 de abril (gregoriano)
Epacta	4
Letra dominical	C

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 dos 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 2011 ($G = 2011,00$) corresponde a $M = 1432,08$, o sea a principios del año musulmán 1432. Este es un año común pues es el vigésimo segundo año del ciclo 48.

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

1432	Muḥarram	1	2010	Dic	8
1432	Ṣafar	1	2011	Ene	7
1432	Rabī‘ al-awwal	1	2011	Feb	5
1432	Rabī‘ al-ṯānī	1	2011	Mar	7
1432	Ŷumādà al-ūlà	1	2011	Abr	5
1432	Ŷumādà al-ājira	1	2011	May	5
1432	Raŷab	1	2011	Jun	3
1432	Ša‘bān	1	2011	Jul	3
1432	Ramaḍān	1	2011	Ago	1
1432	Šawwāl	1	2011	Ago	31
1432	Ḏū-l-qa‘da	1	2011	Set	29
1432	Ḏū-l-ḥiŷŷa	1	2011	Oct	29
1433	Muḥarram	1	2011	Nov	27
1433	Ṣafar	1	2011	Dic	27

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

Fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario musulmán:

Huida del Profeta (*Hégira*)	2011	Feb	5
Nacimiento del Profeta	2011	Feb	16
Ascensión del Profeta	2011	Jun	29
Primer día del Ramadán	2011	Ago	1
Conquista de la Meca	2011	Ago	20
Revelación del Corán	2011	Ago	27
Ultimo día del Ramadán	2011	Ago	30
Pascua postayuno	2011	Ago	31
Pascua de Inmolación	2011	Nov	7
Primer día del año	2011	Nov	27
‘Āshūrā’	2011	Dic	6

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 dos 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 del sol del día que figura ella.

Visibilidad del creciente lunar en Madrid tras la puesta de Sol de la fecha indicada					
1432	Muḥarram	1	2010	Dic	7
1432	Ṣafar	1	2011	Ene	5
1432	Rabī‘ al-awwal	1	2011	Feb	4
1432	Rabī‘ al-ṯānī	1	2011	Mar	5
1432	Ŷumādà al-ūlà	1	2011	Abr	4
1432	Ŷumādà al-ājira	1	2011	May	4
1432	Raŷab	1	2011	Jun	3
1432	Ša‘bān	1	2011	Jul	2
1432	Ramaḍān	1	2011	Ago	1
1432	Šawwāl	1	2011	Ago	30
1432	Ḏū-l-qa‘da	1	2011	Set	29
1432	Ḏū-l-ḥiŷŷa	1	2011	Oct	28
1433	Muḥarram	1	2011	Nov	26
1433	Ṣafar	1	2011	Dic	25

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 (365,2468 días = $365^{d}\ 5^{h}\ 55^{m}$) 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
5766	2005 Oct 4	354 días
5767	2006 Set 23	355 días
5768	2007 Set 13	383 días
5769	2008 Set 30	354 días
5770	2009 Set 19	355 días
5771	2010 Set 9	385 días
5772	2011 Set 29	354 días
5773	2012 Set 17	353 días
5774	2013 Set 5	385 días
5775	2014 Set 25	354 días
5776	2015 Set 14	385 días

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

5771	Šebāṭ	1	2011	Ene	6
5771	Adār	1	2011	Feb	5
5771	ve-Adār	1	2011	Mar	7
5771	Nisan	1	2011	Abr	5
5771	Iyyār	1	2011	May	5
5771	Siwān	1	2011	Jun	3
5771	Tammūz	1	2011	Jul	3
5771	Ab	1	2011	Ago	1
5771	Elūl	1	2011	Ago	31
5772	Tišrī	1	2011	Set	29
5772	Ḥešwān	1	2011	Oct	29
5772	Ḳislew	1	2011	Nov	27
5772	Ṭebēt	1	2011	Dic	27

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

Esta forma del calendario fue establecida en el siglo 4 de la era cristiana (año 358/359), sustituyendo un calendario lunar anterior en que los meses se iniciaban con la visibilidad del creciente lunar. En su forma actual, es el calendario litúrgico de los judios y el oficial de Israel. El primer día de la

semana se inicia a la puesta del 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. Sábado es el último día de la semana.

Fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario israelita:

Año nuevo de los árboles	2011	Ene	20
Ayuno de Ester	2011	Mar	17
Suertes (*Purim*)	2011	Mar	20
Pascua (*Pesaḥ*)	2011	Abr	19
Lag B'Omer	2011	May	22
Pentecostés (*Shavuot*)	2011	Jun	8
Ayuno del mes de Tammūz	2011	Jul	19
Ayuno. Destrucción de Jerusalén	2011	Ago	9
Año nuevo (*Rosh-hashana*)	2011	Set	29
Ayuno de Guedaliah	2011	Oct	2
Expiación (*Yom Kippur*)	2011	Oct	8
Tabernáculos (*Sukkot*)	2011	Oct	13
Alegría de la Ley	2011	Oct	21
Dedicación del Templo (*Ḥanukka*)	2011	Dic	21

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 *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: 1 de diciembre de 2011: a 20⊔⊔ le corresponde el índice 7; a ⊔⊔11, el índice 5; a octubre, el índice 7; y al día 26, el índice 5. La suma es: $7+5+7+5=24$. Restándole tres veces 7 se obtiene 3, índice que corresponde a miércoles.

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 **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 2011

Días desde el inicio de siglo = 3652 + día del año
Días hasta el fin de siglo = 32872 − día del año
Día juliano = 2455561,5 + día del año + $TU/24^{\mathrm{h}}$
Día juliano modificado = 55561 + día del año + $TU/24^{\mathrm{h}}$
Siglos julianos desde la mitad del año hasta la época J2000:
$\mathrm{T} = (J2011{,}5 - J2000{,}0)/36525 = 0{,}115$
Tiempo sidéreo local en el día d, instante TU y longitud λ_E:
$\theta_{med} = 6^{\mathrm{h}}{,}620\,885 + 0^{\mathrm{h}}{,}065\,709\,825\,d + 1{,}002\,737\,91\,TU + \lambda_E$
$\theta_{ver} = \theta_{med}$ + ecuación de los equinoccios
Ecuación de los equinoccios $= 1^{\mathrm{s}}{,}10 - 0^{\mathrm{s}}{,}00034\,d$ (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* (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 una determinada fracción de la duración del año trópico 1900,0).

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 unos trescientos relojes atómicos (de cesio y máseres de hidrógeno) distribuidos 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 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 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 de cesio.

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 de 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 aumenta casi un segundo por año. De una manera aproximada, para el año (incluyendo fracción) A se puede calcular:

$$TT - UT1 = 66^{s},0 + 0^{s},31\,(A - 2010) + 0^{s},011\,(A - 2010)^2$$

expresión válida entre 2000 y 2011.

El Servicio Internacional de la Rotación Terrestre (IERS) proporciona periódicamente los valores medidos y 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 medio solar 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 unos $0^{s},8$ por año, cada 12, 18, 24 o 30 meses resulta necesario retocar la escala del UTC en exactamente 1^{s}; ello suele hacerse "repitiendo" el último segundo (*intercalar*) del 30 de junio o 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 dos 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 $T_{GPS} = TAI - 19^s$.

Fecha	TT–UT1
1997 Ene 1	$62^s.29$
1998 Ene 1	$62^s.97$
1999 Ene 1	$63^s.47$
2000 Ene 1	$63^s.83$
2001 Ene 1	$64^s.09$
2002 Ene 1	$64^s.30$
2003 Ene 1	$64^s.47$
2004 Ene 1	$64^s.57$
2005 Ene 1	$64^s.69$
2006 Ene 1	$64^s.85$
2007 Ene 1	$65^s.15$
2008 Ene 1	$65^s.46$
2009 Ene 1	$65^s.78$
2010 Ene 1	$66^s.07$
2011 Ene 1 (pred.)	$66^s.33$
2012 Ene 1 (pred.)	$66^s.6$

Fecha	TAI–UTC
1997 Jul 1	31^s
1999 Ene 1	32^s
2006 Ene 1	33^s
2009 Ene 1	34^s

En las tablas anteriores se indican la diferencia TT–UT1 para el primer día del año y las fechas en que se ha producido un salto de 1^s en la diferencia DTA=TAI–UTC, desde 1997 hasta 2011.

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 UT1 pues es de 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 de la distancia a la Luna y a satélites artificiales efectuadas con láser (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:

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

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 (Este) λ_E en el día juliano DJ se obtiene mediante:

$$\begin{aligned} \theta_v = {} & 6^h\!,697\,375 + 0^h\!,065\,709\,824\,(DJ_{0^h} - 2\,451\,545) + EcEq + \\ & + 1,002\,737\,9093\, UT1 + \lambda_E \end{aligned}$$

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 1995 y el 2015. 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 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.

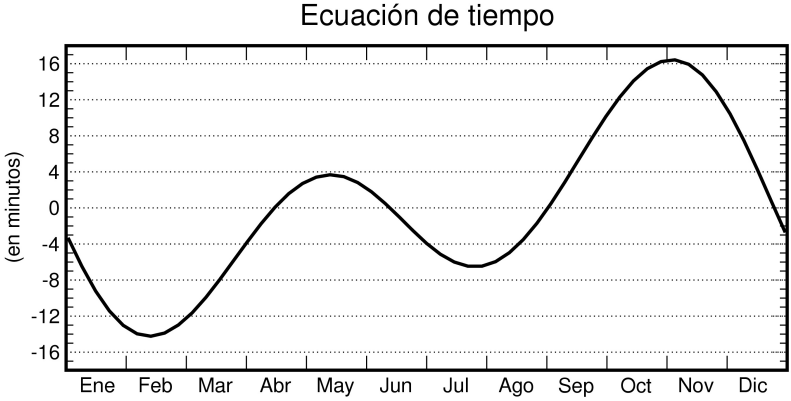
El *tiempo solar (local) verdadero* se define como el ángulo horario del Sol (o sea, la diferencia entre el tiempo sidéreo local verdadero θ_v y la ascensión recta del Sol $\alpha_\odot$). Este tiempo no es uniforme debido a la elipticidad de la órbita de la Tierra, a la inclinación relativa entre el 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 19, 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:

$$\begin{aligned} Ec.Tiempo &= tiempo\ solar\ verdadero\ -\ tiempo\ solar\ medio \\ &= 595^{\mathrm{s}}\ \mathrm{sen}(198^\circ + 1{,}^\circ 9713\ d) + 442^{\mathrm{s}}\ \mathrm{sen}(176^\circ + 0{,}^\circ 9856\ d) \end{aligned}$$

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 el GPS, que está sustituyendo al Transit) 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 (modo A_3J) desde las 10^h29^m a las 10^h55^m TUC a la frecuencia de 4,998 MHz y desde las 9^h59^m a las 10^h25^m TUC a 15,006 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 local. 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 local*, 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 todos los puntos del país se utilice la misma hora y que ésta sea fácilmente convertible en la de otro país. Para facilitar el establecimiento de los tiempos oficiales, en 1887 se adoptó un sistema por el cual sólo se retiene el tiempo solar medio local 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 completa con una *línea internacional de cambio de fecha*, que zigzaguea alrededor del meridiano 180°. Al cruzarla 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 70 países 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 de 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 ($TU + 1^{\mathrm{h}} + 0^{\mathrm{h}}$), mientras que en Chile lo está el de verano ($TU - 4^{\mathrm{h}} + 1^{\mathrm{h}}$).

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.

Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO−TU	Países o regiones
	EUROPA
-1^{h}	I. Azores* (Portugal)
$+0^{\mathrm{h}}$	I. Canarias* (España); I. Feroe* (Dinamarca); Irlanda*; Islandia; I. Madeira* (Portugal); Portugal*; Reino Unido*
$+1^{\mathrm{h}}$	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*
$+2^{\mathrm{h}}$	Belarús*; Bulgaria*; Estonia*; Finlandia*; Grecia*; Kaliningrado* (Rusia); Letonia*; Lituania*; R. Moldova*; Rumania*; Ucrania*
$+3^{\mathrm{h}}$	Rusia* (europea, salvo alguna zona)
$+4^{\mathrm{h}}$	Rusia* (algunas regiones con $\lambda \sim 50^{\circ}$)
	ÁFRICA
-1^{h}	I. Cabo Verde
$+0^{\mathrm{h}}$	I. Ascensión (RU); Burkina Faso; Costa de Marfil; Gambia; Ghana; Guinea; Guinea Bissau; Liberia; Malí; Marruecos; Mauritania; I. Santa Elena (RU); Santo Tomé y Príncipe; Senegal; Sierra Leona; Togo
$+1^{\mathrm{h}}$	Angola; Argelia; Benin; Camerún; R. Centroafricana; Congo; Chad; Gabón; Guinea Ecuatorial; Namibia*; Níger; Nigeria; Túnez*; R.D. Congo: Bajo Zaire, Bandundu, Ecuador
$+2^{\mathrm{h}}$	Botswana; Burundi; Egipto*; Libia; Lesotho; Malawi; Mozambique; Ruanda; R. Sudáfrica; R.D. Congo: Alto Zaire, Kasai, Kivu, Shaba; Swazilandia; Zambia; Zimbabwe
$+3^{\mathrm{h}}$	Comoras; Djibouti; Eritrea; Etiopía; Kenia; Madagascar; I. Mayotte (Fr.); Somalia; Sudán; Tanzania; Uganda
$+4^{\mathrm{h}}$	Mauricio*; I. Reunión (Fr.); I. Seychelles

Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO−TU	Países o regiones
	ASIA
$+2^{h}$	Chipre*; Israel*; Jordania*; Líbano*; Siria*; Turquía*
$+3^{h}$	Arabia Saudí; Bahrein; Iraq; Kuwait; Qatar; Yemen
$+3^{h}30^{m}$	Irán*
$+4^{h}$	Armenia*; Azerbaiyán*; Emiratos Arabes Unidos; Georgia; Omán
$+4^{h}30^{m}$	Afganistán
$+5^{h}$	Kazajastán (Aqtau, Aqtobe); I. Maldivas; Pakistán; Rusia* ($52^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 68^{\circ}$); 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; Rusia* ($68^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 82^{\circ}$)
$+6^{h}30^{m}$	Myanmar; I. Cocos (Australia)
$+7^{h}$	Camboya; Indonesia: Java, Madura y Sumatra; Laos; Mongolia (Hovd); Rusia* ($82^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 98^{\circ}$); 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* ($98^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 112^{\circ}$); Singapur; Taiwán
$+9^{h}$	Corea del Norte; Corea del Sur; Indonesia: Irian Jaya, I. Molucas; Japón (excepto Bonin); Rusia* ($112^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 132^{\circ}$); Timor-Leste
$+10^{h}$	I. Bonin (Japón); Guam (EEUU); Rusia* ($132^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 142^{\circ}$)
$+11^{h}$	Rusia* ($142^{\circ} \lesssim \lambda \lesssim 157^{\circ}$)
$+12^{h}$	Rusia* (al este de aprox. 157°)
	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; Nueva Caledonia (Fr.); I. Salomón; Vanuatu
$+11^{h}30^{m}$	I. Banaba (Kiribati); I. Norfolk (Australia)
$+12^{h}$	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)
$-4^{h}30^{m}$	Venezuela
-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; I. Malvinas* (RU); 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)
$-3^{h}30^{m}$	I. Terranova* (Canadá)
-3^{h}	Argentina; Brasil: Bahia, Goiás*, Brasilia*, costa sudeste*, costa noroeste, este de Pará; Groenlandia*; Guayana francesa; I. 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 2009.

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.

Los próximos cambios de horario tendrán lugar en las siguientes fechas:

2011 Domingos 27 de marzo y 30 de octubre.

2012 Domingos 25 de marzo y 28 de octubre.

2013 Domingos 31 de marzo y 27 de octubre.

2014 Domingos 30 de marzo y 26 de octubre.

2015 Domingos 29 de marzo y 25 de octubre.

Señales horarias UTC del Observatorio

Diversas cadenas de radiodifusión tienen conexión telefónica con los relojes del gabinete de la hora del Observatorio Astronómico de Madrid, lo que les permite emitir cada media hora las señales horarias de tiempo oficial. Dichos relojes están sincronizados con el sistema GPS. Hay que resaltar, sin embargo, que las señales emitidas por las emisoras sufren un pequeño retraso por propagación, en especial cuando la emisión tiene lugar vía satélite.

Enero 2011

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	1	2455562,5	06	41	12,809	+1,069	−03	11
2	D	2	2455563,5	06	45	09,373	+1,078	−03	39
3	L	3	2455564,5	06	49	05,938	+1,087	−04	07
4	M	4	2455565,5	06	53	02,502	+1,096	−04	35
5	M	5	2455566,5	06	56	59,065	+1,103	−05	02
6	J	6	2455567,5	07	00	55,625	+1,108	−05	29
7	V	7	2455568,5	07	04	52,183	+1,110	−05	56
8	S	8	2455569,5	07	08	48,737	+1,110	−06	22
9	D	9	2455570,5	07	12	45,290	+1,107	−06	47
10	L	10	2455571,5	07	16	41,842	+1,103	−07	12
11	M	11	2455572,5	07	20	38,393	+1,099	−07	36
12	M	12	2455573,5	07	24	34,945	+1,096	−08	00
13	J	13	2455574,5	07	28	31,499	+1,094	−08	23
14	V	14	2455575,5	07	32	28,054	+1,094	−08	46
15	S	15	2455576,5	07	36	24,613	+1,097	−09	08
16	D	16	2455577,5	07	40	21,174	+1,103	−09	29
17	L	17	2455578,5	07	44	17,737	+1,111	−09	49
18	M	18	2455579,5	07	48	14,302	+1,121	−10	09
19	M	19	2455580,5	07	52	10,866	+1,129	−10	28
20	J	20	2455581,5	07	56	07,428	+1,136	−10	46
21	V	21	2455582,5	08	00	03,987	+1,139	−11	04
22	S	22	2455583,5	08	04	00,541	+1,139	−11	21
23	D	23	2455584,5	08	07	57,093	+1,135	−11	37
24	L	24	2455585,5	08	11	53,643	+1,129	−11	52
25	M	25	2455586,5	08	15	50,193	+1,125	−12	07
26	M	26	2455587,5	08	19	46,746	+1,122	−12	21
27	J	27	2455588,5	08	23	43,302	+1,122	−12	34
28	V	28	2455589,5	08	27	39,861	+1,126	−12	46
29	S	29	2455590,5	08	31	36,422	+1,132	−12	57
30	D	30	2455591,5	08	35	32,984	+1,139	−13	08
31	L	31	2455592,5	08	39	29,547	+1,145	−13	18

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

Febrero 2011

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	32	2455593,5	08	43	26,107	+1,151	−13	27
2	M	33	2455594,5	08	47	22,666	+1,154	−13	35
3	J	34	2455595,5	08	51	19,222	+1,154	−13	43
4	V	35	2455596,5	08	55	15,775	+1,152	−13	49
5	S	36	2455597,5	08	59	12,326	+1,148	−13	55
6	D	37	2455598,5	09	03	08,875	+1,142	−14	00
7	L	38	2455599,5	09	07	05,424	+1,135	−14	04
8	M	39	2455600,5	09	11	01,973	+1,129	−14	08
9	M	40	2455601,5	09	14	58,523	+1,124	−14	10
10	J	41	2455602,5	09	18	55,076	+1,121	−14	12
11	V	42	2455603,5	09	22	51,630	+1,120	−14	13
12	S	43	2455604,5	09	26	48,187	+1,122	−14	13
13	D	44	2455605,5	09	30	44,747	+1,126	−14	12
14	L	45	2455606,5	09	34	41,308	+1,132	−14	11
15	M	46	2455607,5	09	38	37,870	+1,138	−14	09
16	M	47	2455608,5	09	42	34,430	+1,143	−14	06
17	J	48	2455609,5	09	46	30,988	+1,145	−14	02
18	V	49	2455610,5	09	50	27,541	+1,143	−13	58
19	S	50	2455611,5	09	54	24,091	+1,138	−13	53
20	D	51	2455612,5	09	58	20,639	+1,130	−13	47
21	L	52	2455613,5	10	02	17,186	+1,122	−13	41
22	M	53	2455614,5	10	06	13,735	+1,116	−13	34
23	M	54	2455615,5	10	10	10,288	+1,113	−13	26
24	J	55	2455616,5	10	14	06,844	+1,114	−13	18
25	V	56	2455617,5	10	18	03,402	+1,117	−13	09
26	S	57	2455618,5	10	21	59,962	+1,121	−13	00
27	D	58	2455619,5	10	25	56,521	+1,125	−12	50
28	L	59	2455620,5	10	29	53,080	+1,128	−12	40

Algunas fechas julianas notables son:

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 2011

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	60	2455621,5	10	33	49,636	+1,130	−12	29
2	M	61	2455622,5	10	37	46,190	+1,128	−12	17
3	J	62	2455623,5	10	41	42,742	+1,124	−12	05
4	V	63	2455624,5	10	45	39,291	+1,118	−11	53
5	S	64	2455625,5	10	49	35,838	+1,110	−11	40
6	D	65	2455626,5	10	53	32,385	+1,101	−11	27
7	L	66	2455627,5	10	57	28,931	+1,092	−11	13
8	M	67	2455628,5	11	01	25,479	+1,085	−10	59
9	M	68	2455629,5	11	05	22,029	+1,079	−10	44
10	J	69	2455630,5	11	09	18,580	+1,075	−10	29
11	V	70	2455631,5	11	13	15,135	+1,074	−10	14
12	S	71	2455632,5	11	17	11,691	+1,075	−09	58
13	D	72	2455633,5	11	21	08,249	+1,078	−09	42
14	L	73	2455634,5	11	25	04,808	+1,082	−09	26
15	M	74	2455635,5	11	29	01,367	+1,085	−09	09
16	M	75	2455636,5	11	32	57,924	+1,087	−08	52
17	J	76	2455637,5	11	36	54,478	+1,085	−08	35
18	V	77	2455638,5	11	40	51,028	+1,080	−08	18
19	S	78	2455639,5	11	44	47,575	+1,071	−08	01
20	D	79	2455640,5	11	48	44,121	+1,062	−07	43
21	L	80	2455641,5	11	52	40,668	+1,053	−07	25
22	M	81	2455642,5	11	56	37,217	+1,048	−07	07
23	M	82	2455643,5	12	00	33,771	+1,046	−06	49
24	J	83	2455644,5	12	04	30,328	+1,048	−06	31
25	V	84	2455645,5	12	08	26,887	+1,051	−06	13
26	S	85	2455646,5	12	12	23,447	+1,055	−05	55
27	D	86	2455647,5	12	16	20,005	+1,059	−05	37
28	L	87	2455648,5	12	20	16,562	+1,060	−05	19
29	M	88	2455649,5	12	24	13,116	+1,058	−05	01
30	M	89	2455650,5	12	28	09,667	+1,054	−04	43
31	J	90	2455651,5	12	32	06,216	+1,048	−04	25

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.

Abril 2011

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	91	2455652,5	12	36	02,764	+1,040	−04	07
2	S	92	2455653,5	12	39	59,310	+1,031	−03	49
3	D	93	2455654,5	12	43	55,857	+1,023	−03	31
4	L	94	2455655,5	12	47	52,404	+1,015	−03	14
5	M	95	2455656,5	12	51	48,953	+1,008	−02	56
6	M	96	2455657,5	12	55	45,504	+1,004	−02	39
7	J	97	2455658,5	12	59	42,058	+1,003	−02	22
8	V	98	2455659,5	13	03	38,614	+1,003	−02	05
9	S	99	2455660,5	13	07	35,172	+1,006	−01	49
10	D	100	2455661,5	13	11	31,731	+1,010	−01	33
11	L	101	2455662,5	13	15	28,290	+1,013	−01	16
12	M	102	2455663,5	13	19	24,848	+1,015	−01	01
13	M	103	2455664,5	13	23	21,403	+1,015	−00	45
14	J	104	2455665,5	13	27	17,955	+1,012	−00	30
15	V	105	2455666,5	13	31	14,504	+1,005	−00	15
16	S	106	2455667,5	13	35	11,051	+0,997	−00	00
17	D	107	2455668,5	13	39	07,598	+0,989	+00	14
18	L	108	2455669,5	13	43	04,148	+0,983	+00	28
19	M	109	2455670,5	13	47	00,701	+0,981	+00	42
20	M	110	2455671,5	13	50	57,258	+0,983	+00	55
21	J	111	2455672,5	13	54	53,818	+0,987	+01	07
22	V	112	2455673,5	13	58	50,379	+0,993	+01	20
23	S	113	2455674,5	14	02	46,940	+0,999	+01	32
24	D	114	2455675,5	14	06	43,499	+1,003	+01	43
25	L	115	2455676,5	14	10	40,056	+1,004	+01	54
26	M	116	2455677,5	14	14	36,610	+1,002	+02	04
27	M	117	2455678,5	14	18	33,161	+0,998	+02	14
28	J	118	2455679,5	14	22	29,711	+0,993	+02	23
29	V	119	2455680,5	14	26	26,259	+0,986	+02	32
30	S	120	2455681,5	14	30	22,808	+0,979	+02	40

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 2011

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	121	2455682,5	14	34	19,357	+0,972	+02	48
2	L	122	2455683,5	14	38	15,907	+0,967	+02	55
3	M	123	2455684,5	14	42	12,460	+0,965	+03	02
4	M	124	2455685,5	14	46	09,015	+0,965	+03	08
5	J	125	2455686,5	14	50	05,573	+0,967	+03	14
6	V	126	2455687,5	14	54	02,133	+0,971	+03	19
7	S	127	2455688,5	14	57	58,694	+0,977	+03	23
8	D	128	2455689,5	15	01	55,255	+0,983	+03	27
9	L	129	2455690,5	15	05	51,815	+0,987	+03	31
10	M	130	2455691,5	15	09	48,372	+0,990	+03	33
11	M	131	2455692,5	15	13	44,927	+0,989	+03	36
12	J	132	2455693,5	15	17	41,479	+0,986	+03	37
13	V	133	2455694,5	15	21	38,029	+0,980	+03	38
14	S	134	2455695,5	15	25	34,578	+0,974	+03	39
15	D	135	2455696,5	15	29	31,129	+0,969	+03	39
16	L	136	2455697,5	15	33	27,683	+0,968	+03	39
17	M	137	2455698,5	15	37	24,240	+0,970	+03	38
18	M	138	2455699,5	15	41	20,802	+0,976	+03	36
19	J	139	2455700,5	15	45	17,365	+0,984	+03	34
20	V	140	2455701,5	15	49	13,929	+0,993	+03	31
21	S	141	2455702,5	15	53	10,492	+1,000	+03	28
22	D	142	2455703,5	15	57	07,052	+1,005	+03	24
23	L	143	2455704,5	16	01	03,609	+1,007	+03	20
24	M	144	2455705,5	16	05	00,164	+1,006	+03	15
25	M	145	2455706,5	16	08	56,716	+1,003	+03	09
26	J	146	2455707,5	16	12	53,267	+0,999	+03	03
27	V	147	2455708,5	16	16	49,818	+0,994	+02	57
28	S	148	2455709,5	16	20	46,368	+0,989	+02	50
29	D	149	2455710,5	16	24	42,921	+0,986	+02	42
30	L	150	2455711,5	16	28	39,475	+0,985	+02	34
31	M	151	2455712,5	16	32	36,032	+0,986	+02	26

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 2011

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	152	2455713,5	16	36	32,591	+0,990	+02	17
2	J	153	2455714,5	16	40	29,152	+0,996	+02	08
3	V	154	2455715,5	16	44	25,715	+1,004	+01	58
4	S	155	2455716,5	16	48	22,279	+1,012	+01	48
5	D	156	2455717,5	16	52	18,841	+1,019	+01	38
6	L	157	2455718,5	16	56	15,401	+1,024	+01	28
7	M	158	2455719,5	17	00	11,959	+1,026	+01	17
8	M	159	2455720,5	17	04	08,513	+1,025	+01	05
9	J	160	2455721,5	17	08	05,065	+1,021	+00	54
10	V	161	2455722,5	17	12	01,616	+1,017	+00	42
11	S	162	2455723,5	17	15	58,168	+1,013	+00	30
12	D	163	2455724,5	17	19	54,722	+1,012	+00	18
13	L	164	2455725,5	17	23	51,280	+1,014	+00	06
14	M	165	2455726,5	17	27	47,841	+1,020	−00	06
15	M	166	2455727,5	17	31	44,405	+1,029	−00	19
16	J	167	2455728,5	17	35	40,970	+1,039	−00	32
17	V	168	2455729,5	17	39	37,535	+1,048	−00	45
18	S	169	2455730,5	17	43	34,097	+1,055	−00	57
19	D	170	2455731,5	17	47	30,657	+1,060	−01	10
20	L	171	2455732,5	17	51	27,214	+1,061	−01	23
21	M	172	2455733,5	17	55	23,768	+1,060	−01	36
22	M	173	2455734,5	17	59	20,320	+1,057	−01	49
23	J	174	2455735,5	18	03	16,872	+1,053	−02	02
24	V	175	2455736,5	18	07	13,423	+1,049	−02	15
25	S	176	2455737,5	18	11	09,976	+1,046	−02	28
26	D	177	2455738,5	18	15	06,530	+1,045	−02	41
27	L	178	2455739,5	18	19	03,086	+1,046	−02	54
28	M	179	2455740,5	18	22	59,646	+1,050	−03	06
29	M	180	2455741,5	18	26	56,207	+1,056	−03	19
30	J	181	2455742,5	18	30	52,770	+1,064	−03	31

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:

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

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

Julio 2011

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	182	2455743,5	18	34	49,334	+1,072	−03	43
2	S	183	2455744,5	18	38	45,897	+1,080	−03	54
3	D	184	2455745,5	18	42	42,459	+1,086	−04	06
4	L	185	2455746,5	18	46	39,017	+1,089	−04	17
5	M	186	2455747,5	18	50	35,572	+1,089	−04	28
6	M	187	2455748,5	18	54	32,125	+1,086	−04	38
7	J	188	2455749,5	18	58	28,676	+1,082	−04	48
8	V	189	2455750,5	19	02	25,227	+1,078	−04	58
9	S	190	2455751,5	19	06	21,780	+1,075	−05	08
10	D	191	2455752,5	19	10	18,336	+1,076	−05	16
11	L	192	2455753,5	19	14	14,896	+1,081	−05	25
12	M	193	2455754,5	19	18	11,458	+1,088	−05	33
13	M	194	2455755,5	19	22	08,023	+1,096	−05	40
14	J	195	2455756,5	19	26	04,587	+1,105	−05	47
15	V	196	2455757,5	19	30	01,149	+1,112	−05	54
16	S	197	2455758,5	19	33	57,709	+1,117	−06	00
17	D	198	2455759,5	19	37	54,266	+1,118	−06	06
18	L	199	2455760,5	19	41	50,820	+1,117	−06	11
19	M	200	2455761,5	19	45	47,372	+1,114	−06	15
20	M	201	2455762,5	19	49	43,923	+1,109	−06	19
21	J	202	2455763,5	19	53	40,473	+1,104	−06	23
22	V	203	2455764,5	19	57	37,024	+1,099	−06	26
23	S	204	2455765,5	20	01	33,576	+1,096	−06	28
24	D	205	2455766,5	20	05	30,131	+1,095	−06	30
25	L	206	2455767,5	20	09	26,687	+1,097	−06	31
26	M	207	2455768,5	20	13	23,246	+1,100	−06	32
27	M	208	2455769,5	20	17	19,807	+1,106	−06	32
28	J	209	2455770,5	20	21	16,370	+1,113	−06	31
29	V	210	2455771,5	20	25	12,932	+1,120	−06	30
30	S	211	2455772,5	20	29	09,493	+1,125	−06	28
31	D	212	2455773,5	20	33	06,051	+1,128	−06	26

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 2011

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	213	2455774,5	20	37	02,605	+1,127	−06	23
2	M	214	2455775,5	20	40	59,157	+1,123	−06	20
3	M	215	2455776,5	20	44	55,706	+1,117	−06	15
4	J	216	2455777,5	20	48	52,255	+1,111	−06	11
5	V	217	2455778,5	20	52	48,806	+1,106	−06	05
6	S	218	2455779,5	20	56	45,359	+1,104	−05	59
7	D	219	2455780,5	21	00	41,916	+1,106	−05	53
8	L	220	2455781,5	21	04	38,476	+1,110	−05	45
9	M	221	2455782,5	21	08	35,037	+1,116	−05	38
10	M	222	2455783,5	21	12	31,599	+1,123	−05	29
11	J	223	2455784,5	21	16	28,160	+1,128	−05	20
12	V	224	2455785,5	21	20	24,718	+1,131	−05	10
13	S	225	2455786,5	21	24	21,274	+1,131	−05	00
14	D	226	2455787,5	21	28	17,826	+1,128	−04	50
15	L	227	2455788,5	21	32	14,377	+1,123	−04	38
16	M	228	2455789,5	21	36	10,925	+1,117	−04	26
17	M	229	2455790,5	21	40	07,474	+1,109	−04	14
18	J	230	2455791,5	21	44	04,022	+1,102	−04	01
19	V	231	2455792,5	21	48	00,571	+1,097	−03	48
20	S	232	2455793,5	21	51	57,123	+1,092	−03	34
21	D	233	2455794,5	21	55	53,676	+1,091	−03	20
22	L	234	2455795,5	21	59	50,232	+1,091	−03	05
23	M	235	2455796,5	22	03	46,790	+1,093	−02	50
24	M	236	2455797,5	22	07	43,349	+1,097	−02	34
25	J	237	2455798,5	22	11	39,909	+1,102	−02	18
26	V	238	2455799,5	22	15	36,468	+1,105	−02	02
27	S	239	2455800,5	22	19	33,025	+1,107	−01	45
28	D	240	2455801,5	22	23	29,579	+1,105	−01	28
29	L	241	2455802,5	22	27	26,129	+1,100	−01	10
30	M	242	2455803,5	22	31	22,677	+1,093	−00	52
31	M	243	2455804,5	22	35	19,223	+1,084	−00	34

Duración media de distintos tipos de años:

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

Setiembre 2011

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	244	2455805,5	22	39	15,771	+1,077	−00	15
2	V	245	2455806,5	22	43	12,322	+1,072	+00	04
3	S	246	2455807,5	22	47	08,876	+1,071	+00	23
4	D	247	2455808,5	22	51	05,433	+1,072	+00	42
5	L	248	2455809,5	22	55	01,992	+1,076	+01	02
6	M	249	2455810,5	22	58	58,552	+1,081	+01	22
7	M	250	2455811,5	23	02	55,111	+1,084	+01	42
8	J	251	2455812,5	23	06	51,668	+1,086	+02	03
9	V	252	2455813,5	23	10	48,222	+1,084	+02	24
10	S	253	2455814,5	23	14	44,773	+1,081	+02	44
11	D	254	2455815,5	23	18	41,323	+1,074	+03	05
12	L	255	2455816,5	23	22	37,870	+1,066	+03	27
13	M	256	2455817,5	23	26	34,416	+1,057	+03	48
14	M	257	2455818,5	23	30	30,963	+1,048	+04	09
15	J	258	2455819,5	23	34	27,510	+1,040	+04	31
16	V	259	2455820,5	23	38	24,059	+1,034	+04	52
17	S	260	2455821,5	23	42	20,610	+1,030	+05	14
18	D	261	2455822,5	23	46	17,164	+1,028	+05	35
19	L	262	2455823,5	23	50	13,719	+1,028	+05	57
20	M	263	2455824,5	23	54	10,277	+1,030	+06	18
21	M	264	2455825,5	23	58	06,835	+1,033	+06	39
22	J	265	2455826,5	00	02	03,392	+1,035	+07	01
23	V	266	2455827,5	00	05	59,949	+1,036	+07	22
24	S	267	2455828,5	00	09	56,503	+1,034	+07	43
25	D	268	2455829,5	00	13	53,053	+1,030	+08	04
26	L	269	2455830,5	00	17	49,601	+1,022	+08	24
27	M	270	2455831,5	00	21	46,147	+1,013	+08	45
28	M	271	2455832,5	00	25	42,694	+1,004	+09	05
29	J	272	2455833,5	00	29	39,242	+0,997	+09	25
30	V	273	2455834,5	00	33	35,795	+0,994	+09	45

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 2011

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	274	2455835,5	00	37	32,351	+0,995	+10	05
2	D	275	2455836,5	00	41	28,909	+0,998	+10	24
3	L	276	2455837,5	00	45	25,469	+1,003	+10	43
4	M	277	2455838,5	00	49	22,028	+1,007	+11	02
5	M	278	2455839,5	00	53	18,586	+1,009	+11	20
6	J	279	2455840,5	00	57	15,141	+1,008	+11	39
7	V	280	2455841,5	01	01	11,693	+1,005	+11	56
8	S	281	2455842,5	01	05	08,242	+0,999	+12	14
9	D	282	2455843,5	01	09	04,790	+0,991	+12	31
10	L	283	2455844,5	01	13	01,337	+0,983	+12	47
11	M	284	2455845,5	01	16	57,883	+0,974	+13	03
12	M	285	2455846,5	01	20	54,431	+0,966	+13	19
13	J	286	2455847,5	01	24	50,980	+0,960	+13	34
14	V	287	2455848,5	01	28	47,531	+0,956	+13	49
15	S	288	2455849,5	01	32	44,085	+0,954	+14	03
16	D	289	2455850,5	01	36	40,640	+0,954	+14	16
17	L	290	2455851,5	01	40	37,198	+0,956	+14	29
18	M	291	2455852,5	01	44	33,756	+0,959	+14	42
19	M	292	2455853,5	01	48	30,314	+0,962	+14	54
20	J	293	2455854,5	01	52	26,872	+0,964	+15	05
21	V	294	2455855,5	01	56	23,427	+0,964	+15	15
22	S	295	2455856,5	02	00	19,980	+0,962	+15	25
23	D	296	2455857,5	02	04	16,530	+0,957	+15	34
24	L	297	2455858,5	02	08	13,078	+0,949	+15	42
25	M	298	2455859,5	02	12	09,626	+0,941	+15	50
26	M	299	2455860,5	02	16	06,175	+0,935	+15	57
27	J	300	2455861,5	02	20	02,727	+0,932	+16	03
28	V	301	2455862,5	02	23	59,283	+0,932	+16	09
29	S	302	2455863,5	02	27	55,843	+0,937	+16	14
30	D	303	2455864,5	02	31	52,405	+0,944	+16	18
31	L	304	2455865,5	02	35	48,967	+0,950	+16	21

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 2011

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	305	2455866,5	02	39	45,528	+0,955	+16	23
2	M	306	2455867,5	02	43	42,085	+0,958	+16	25
3	J	307	2455868,5	02	47	38,640	+0,957	+16	26
4	V	308	2455869,5	02	51	35,193	+0,954	+16	26
5	S	309	2455870,5	02	55	31,743	+0,949	+16	26
6	D	310	2455871,5	02	59	28,292	+0,943	+16	24
7	L	311	2455872,5	03	03	24,841	+0,936	+16	22
8	M	312	2455873,5	03	07	21,390	+0,931	+16	19
9	M	313	2455874,5	03	11	17,941	+0,926	+16	15
10	J	314	2455875,5	03	15	14,494	+0,924	+16	10
11	V	315	2455876,5	03	19	11,050	+0,924	+16	04
12	S	316	2455877,5	03	23	07,607	+0,926	+15	58
13	D	317	2455878,5	03	27	04,167	+0,930	+15	51
14	L	318	2455879,5	03	31	00,728	+0,936	+15	43
15	M	319	2455880,5	03	34	57,289	+0,941	+15	34
16	M	320	2455881,5	03	38	53,849	+0,946	+15	24
17	J	321	2455882,5	03	42	50,407	+0,949	+15	13
18	V	322	2455883,5	03	46	46,963	+0,950	+15	01
19	S	323	2455884,5	03	50	43,516	+0,948	+14	49
20	D	324	2455885,5	03	54	40,068	+0,944	+14	36
21	L	325	2455886,5	03	58	36,618	+0,938	+14	21
22	M	326	2455887,5	04	02	33,169	+0,934	+14	06
23	M	327	2455888,5	04	06	29,722	+0,931	+13	51
24	J	328	2455889,5	04	10	26,279	+0,933	+13	34
25	V	329	2455890,5	04	14	22,840	+0,939	+13	17
26	S	330	2455891,5	04	18	19,404	+0,947	+12	58
27	D	331	2455892,5	04	22	15,969	+0,957	+12	40
28	L	332	2455893,5	04	26	12,533	+0,966	+12	20
29	M	333	2455894,5	04	30	09,095	+0,973	+12	00
30	M	334	2455895,5	04	34	05,654	+0,976	+11	39

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:

$$595^{s}\,\mathrm{sen}(198^{\circ} + 1,^{\circ}9713\,d) + 442^{s}\,\mathrm{sen}(176^{\circ} + 0,^{\circ}9856\,d)$$

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

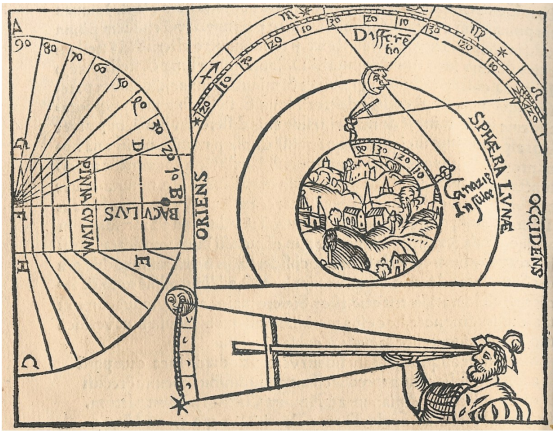
Diciembre 2011

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	335	2455896,5	04	38	02,210	+0,977	+11	17
2	V	336	2455897,5	04	41	58,763	+0,975	+10	55
3	S	337	2455898,5	04	45	55,315	+0,971	+10	32
4	D	338	2455899,5	04	49	51,867	+0,967	+10	08
5	L	339	2455900,5	04	53	48,418	+0,964	+09	44
6	M	340	2455901,5	04	57	44,971	+0,961	+09	20
7	M	341	2455902,5	05	01	41,526	+0,961	+08	54
8	J	342	2455903,5	05	05	38,083	+0,962	+08	29
9	V	343	2455904,5	05	09	34,642	+0,966	+08	03
10	S	344	2455905,5	05	13	31,204	+0,972	+07	36
11	D	345	2455906,5	05	17	27,766	+0,980	+07	09
12	L	346	2455907,5	05	21	24,330	+0,987	+06	42
13	M	347	2455908,5	05	25	20,892	+0,995	+06	14
14	M	348	2455909,5	05	29	17,453	+1,000	+05	46
15	J	349	2455910,5	05	33	14,012	+1,003	+05	17
16	V	350	2455911,5	05	37	10,567	+1,004	+04	48
17	S	351	2455912,5	05	41	07,121	+1,002	+04	19
18	D	352	2455913,5	05	45	03,673	+0,998	+03	50
19	L	353	2455914,5	05	49	00,225	+0,995	+03	21
20	M	354	2455915,5	05	52	56,778	+0,993	+02	51
21	M	355	2455916,5	05	56	53,335	+0,995	+02	21
22	J	356	2455917,5	06	00	49,896	+1,000	+01	51
23	V	357	2455918,5	06	04	46,460	+1,008	+01	21
24	S	358	2455919,5	06	08	43,025	+1,019	+00	51
25	D	359	2455920,5	06	12	39,591	+1,029	+00	21
26	L	360	2455921,5	06	16	36,156	+1,038	−00	08
27	M	361	2455922,5	06	20	32,717	+1,044	−00	38
28	M	362	2455923,5	06	24	29,275	+1,047	−01	08
29	J	363	2455924,5	06	28	25,830	+1,047	−01	37
30	V	364	2455925,5	06	32	22,383	+1,044	−02	06
31	S	365	2455926,5	06	36	18,935	+1,041	−02	35

La ecuación de tiempo se anula en las siguientes cuatro fechas: 16 de abril, 13 de junio, 1 de setiembre y 25 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 26 de julio. Su valor es máximo el día 3 de noviembre, con un máximo secundario el 14 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

Unidades prácticas

$\mathcal{R}_\odot$	= 696 000 km	= 6,960 10^{10} cm
$\mathcal{L}_\odot$	= 3,846 10^{26} W	= 3,846 10^{33} erg s^{-1}
$\mathcal{M}_\odot$	= 1,9891 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 2011

Longitud media	$L_\odot =$	$279^\circ,319\,450 + 0^\circ,985\,647\,36\ d$
Anomalía media	$M_\odot =$	$356^\circ,192\,002 + 0^\circ,985\,600\,28\ d$
Longitud media del perigeo	$\varpi_\odot =$	$283^\circ,127\,448 + 0^\circ,000\,047\,08\ d$
Excentricidad promedio	$e_\odot =$	$0{,}016\,704\,28$
Oblicuidad media de la eclíptica	$\varepsilon =$	$23^\circ,437\,861 - 0^\circ,000\,000\,36\ d$

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

Longitud verdadera (error $< 30''$)

$$\begin{aligned}\odot &= L_\odot + 1^\circ,915\ \mathrm{sen}(M_\odot) + 0^\circ,020\ \mathrm{sen}(2\,M_\odot)\\ &= 279^\circ,32 + 0^\circ,98564\ d + 1^\circ,915\ \mathrm{sen}(0^\circ,986\ d - 4^\circ,0)\\ &\quad + 0^\circ,02\ \mathrm{sen}(2^\circ d - 12^\circ)\end{aligned}$$

Duración de los años

año trópico:	$365^d,242\,189$	$365^d\ 05^h48^m45^s,13$	(equin.–equin.)
año sidéreo:	$365^d,256\,363$	$365^d\ 06^h09^m9^s,7$	(estrella–estre.)
año anomalístico:	$365^d,259\,636$	$365^d\ 06^h13^m52^s,5$	(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 $\tau_A = 499^s,004\,782$		$\simeq 8^m19^s,0$
Paralaje horizontal ecuatorial a la distancia media		$8'',794\,148$

(La unidad de distancia es la Unidad Astronómica UA $= 149\,597\,870$ km.)

Datos físicos

			en unidades terrestres
Radio	$\mathcal{R}_\odot$	$= 696\,000$ km	$109\ \mathcal{R}_\oplus$
Superficie		$6,087\ 10^{12}$ km^2	11 900
Volumen		$1,4122\ 10^{18}$ km^3	1 300 000
Masa	$\mathcal{M}_\odot$	$= 1,9891\ 10^{30}$ kg	$333\,000\ \mathcal{M}_\oplus$
Densidad media		1,408 g cm^{-3}	0,255
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		617,7 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

Periodo de rotación (a 16° de latitud)	
" " sidéreo	$25^d\ 09^h07^m$
" " sinódico medio	$27^d\ 06^h36^m$
Velocidad superficial de rotación (a 16°)	2,0 km s^{-1}
Inclinación del ecuador sobre la eclíptica	$7°15'$
Longitud del nodo ascendente del ecuador solar	$75,°9$
Orientación del Polo Norte solar	$\alpha_{PN} = 286,°15$
	$\delta_{PN} = 63,°89$

Luminosidad

Tipo estelar	G2 V	
Temperatura efectiva	$T_{eff} = 5\,780$ K	
Magnitudes absolutas	M_{bol} = 4,75	M_U = 5,67
	M_V = 4,83	M_B = 5,48

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

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

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

Flujo fuera de la atmósfera terrestre:

Magnitudes aparentes	$m_{bol} = -26,82$	$m_U = -25,96$
	$V = m_V = -26,75$	$B = m_B = -26,09$
Constante solar	1 370 W m^{-2}	1,96 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	11,4 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	

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

Precesión general en longitud, por siglo juliano	$p = 5\,029\overset{''}{,}0966$
Constante de nutación	$\mathrm{N} = 9\overset{''}{,}2025$
Constante de aberración	$k = 20\overset{''}{,}495\,52$
Oblicuidad de la eclíptica	$\varepsilon_\circ = 23^\circ 26' 21\overset{''}{,}448$
	$= 23\overset{\circ}{,}43929111$

Efemérides del Sol para 2011

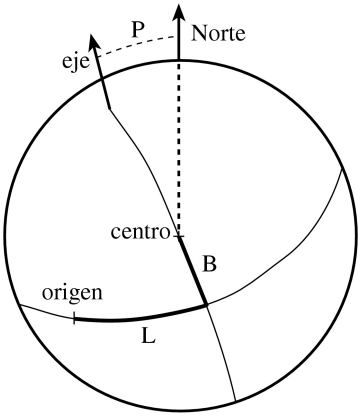
En las páginas siguientes se encuentran las efemérides del Sol para este año día a día. Los instantes de salida y puesta del Sol (**Orto** y **Ocaso**) han sido calculados para Madrid, corrigiendo por un valor medio de la refracción y prescindiendo del relieve en el horizonte. Se indica también, en la 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 la base de cada página se indica el tiempo de entrada del Sol en distintos signos del zodíaco.

La salida, culminación y 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.



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 2011

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 38	12 18 10	16 59	18 44 23,7	−23 02 44	02,2	−3,0	255,3
2 D	7 38	12 18 39	16 59	18 48 48,7	−22 57 49	01,7	−3,1	242,1
3 L	7 38	12 19 07	17 00	18 53 13,3	−22 52 27	01,3	−3,2	229,0
4 M	7 38	12 19 34	17 01	18 57 37,6	−22 46 37	00,8	−3,2	215,8
5 M	7 38	12 20 01	17 02	19 02 01,5	−22 40 20	00,3	−3,4	202,6
6 J	7 38	12 20 28	17 03	19 06 25,0	−22 33 36	−00,2	−3,6	189,5
7 V	7 38	12 20 54	17 04	19 10 48,1	−22 26 26	−00,6	−3,7	176,3
8 S	7 38	12 21 20	17 05	19 15 10,6	−22 18 48	−01,2	−3,7	163,1
9 D	7 38	12 21 45	17 06	19 19 32,6	−22 10 45	−01,7	−3,9	150,0
10 L	7 38	12 22 10	17 07	19 23 54,1	−22 02 15	−02,1	−4,0	136,8
11 M	7 37	12 22 34	17 08	19 28 15,0	−21 53 20	−02,6	−4,0	123,5
12 M	7 37	12 22 57	17 09	19 32 35,3	−21 43 59	−03,1	−4,2	110,5
13 J	7 37	12 23 20	17 10	19 36 55,0	−21 34 13	−03,6	−4,3	97,3
14 V	7 36	12 23 42	17 11	19 41 14,1	−21 24 02	−04,0	−4,4	84,0
15 S	7 36	12 24 04	17 12	19 45 32,5	−21 13 26	−04,5	−4,5	71,0
16 D	7 36	12 24 25	17 14	19 49 50,3	−21 02 26	−05,0	−4,5	57,7
17 L	7 35	12 24 45	17 15	19 54 07,3	−20 51 02	−05,4	−4,7	44,6
18 M	7 35	12 25 04	17 16	19 58 23,7	−20 39 14	−05,9	−4,8	31,3
19 M	7 34	12 25 23	17 17	20 02 39,3	−20 27 03	−06,4	−4,9	18,3
20 J	7 34	12 25 41	17 18	20 06 54,2	−20 14 28	−06,8	−5,0	5,0
21 V	7 33	12 25 58	17 19	20 11 08,3	−20 01 31	−07,3	−5,0	351,8
22 S	7 32	12 26 15	17 20	20 15 21,7	−19 48 11	−07,7	−5,2	338,8
23 D	7 32	12 26 30	17 22	20 19 34,4	−19 34 29	−08,1	−5,3	325,6
24 L	7 31	12 26 45	17 23	20 23 46,3	−19 20 25	−08,6	−5,4	312,3
25 M	7 30	12 26 59	17 24	20 27 57,4	−19 05 60	−09,1	−5,4	299,3
26 M	7 30	12 27 13	17 25	20 32 07,7	−18 51 13	−09,5	−5,5	286,1
27 J	7 29	12 27 25	17 26	20 36 17,3	−18 36 06	−09,9	−5,5	272,8
28 V	7 28	12 27 37	17 28	20 40 26,1	−18 20 38	−10,4	−5,7	259,8
29 S	7 27	12 27 48	17 29	20 44 34,1	−18 04 50	−10,8	−5,8	246,6
30 D	7 26	12 27 59	17 30	20 48 41,3	−17 48 43	−11,1	−5,9	233,4
31 L	7 25	12 28 08	17 31	20 52 47,8	−17 32 17	−11,6	−5,9	220,3

SOL Febrero 2011

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 25	12 28 17	17 32	20 56 53,4	−17 15 32	−12,0	−6,0	207,1
2 M	7 24	12 28 24	17 34	21 00 58,2	−16 58 28	−12,4	−6,0	194,0
3 J	7 23	12 28 32	17 35	21 05 02,2	−16 41 07	−12,8	−6,0	180,8
4 V	7 22	12 28 38	17 36	21 09 05,3	−16 23 28	−13,1	−6,2	167,6
5 S	7 21	12 28 43	17 37	21 13 07,7	−16 05 33	−13,6	−6,3	154,5
6 D	7 19	12 28 48	17 39	21 17 09,2	−15 47 20	−14,0	−6,3	141,3
7 L	7 18	12 28 51	17 40	21 21 09,9	−15 28 52	−14,4	−6,4	128,1
8 M	7 17	12 28 54	17 41	21 25 09,8	−15 10 07	−14,8	−6,5	115,0
9 M	7 16	12 28 56	17 42	21 29 08,9	−14 51 08	−15,1	−6,5	101,8
10 J	7 15	12 28 58	17 43	21 33 07,2	−14 31 53	−15,5	−6,5	88,5
11 V	7 14	12 28 58	17 45	21 37 04,7	−14 12 24	−15,9	−6,5	75,5
12 S	7 13	12 28 58	17 46	21 41 01,4	−13 52 41	−16,2	−6,7	62,2
13 D	7 11	12 28 57	17 47	21 44 57,4	−13 32 44	−16,6	−6,7	49,1
14 L	7 10	12 28 55	17 48	21 48 52,6	−13 12 34	−16,8	−6,8	36,0
15 M	7 09	12 28 53	17 49	21 52 47,0	−12 52 11	−17,3	−6,8	22,8
16 M	7 08	12 28 49	17 51	21 56 40,7	−12 31 36	−17,6	−6,9	9,6
17 J	7 06	12 28 45	17 52	22 00 33,6	−12 10 49	−17,8	−6,9	356,3
18 V	7 05	12 28 41	17 53	22 04 25,8	−11 49 50	−18,3	−6,9	343,3
19 S	7 04	12 28 35	17 54	22 08 17,4	−11 28 40	−18,6	−7,0	330,1
20 D	7 02	12 28 29	17 55	22 12 08,2	−11 07 19	−18,8	−7,0	316,8
21 L	7 01	12 28 23	17 57	22 15 58,4	−10 45 47	−19,2	−7,0	303,8
22 M	6 59	12 28 15	17 58	22 19 48,0	−10 24 06	−19,5	−7,0	290,6
23 M	6 58	12 28 07	17 59	22 23 36,9	−10 02 14	−19,8	−7,0	277,3
24 J	6 57	12 27 59	18 00	22 27 25,2	−09 40 13	−20,1	−7,0	264,3
25 V	6 55	12 27 50	18 01	22 31 13,0	−09 18 04	−20,3	−7,0	251,1
26 S	6 54	12 27 40	18 02	22 35 00,2	−08 55 46	−20,6	−7,2	237,9
27 D	6 52	12 27 30	18 03	22 38 46,8	−08 33 19	−20,8	−7,2	224,6
28 L	6 51	12 27 19	18 05	22 42 32,9	−08 10 46	−21,2	−7,2	211,6

SOL Marzo 2011

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	6 49	12 27 08	18 06	22 46 18,5	−07 48 04	−21,3	−7,2	198,4
2 M	6 48	12 26 56	18 07	22 50 03,6	−07 25 16	−21,7	−7,2	185,1
3 J	6 46	12 26 44	18 08	22 53 48,2	−07 02 22	−21,8	−7,2	172,1
4 V	6 45	12 26 31	18 09	22 57 32,3	−06 39 22	−22,2	−7,2	158,9
5 S	6 43	12 26 18	18 10	23 01 15,9	−06 16 16	−22,3	−7,3	145,6
6 D	6 41	12 26 05	18 11	23 04 59,1	−05 53 04	−22,6	−7,3	132,5
7 L	6 40	12 25 51	18 12	23 08 41,9	−05 29 48	−22,8	−7,3	119,4
8 M	6 38	12 25 36	18 14	23 12 24,2	−05 06 28	−23,1	−7,3	106,2
9 M	6 37	12 25 22	18 15	23 16 06,2	−04 43 04	−23,3	−7,2	93,0
10 J	6 35	12 25 06	18 16	23 19 47,8	−04 19 36	−23,5	−7,2	79,8
11 V	6 34	12 24 51	18 17	23 23 29,0	−03 56 05	−23,7	−7,2	66,7
12 S	6 32	12 24 35	18 18	23 27 09,9	−03 32 31	−23,8	−7,2	53,5
13 D	6 30	12 24 19	18 19	23 30 50,5	−03 08 55	−24,0	−7,2	40,2
14 L	6 29	12 24 03	18 20	23 34 30,8	−02 45 16	−24,2	−7,2	27,1
15 M	6 27	12 23 46	18 21	23 38 10,8	−02 21 36	−24,3	−7,2	13,9
16 M	6 26	12 23 29	18 22	23 41 50,5	−01 57 55	−24,5	−7,2	0,8
17 J	6 24	12 23 12	18 23	23 45 30,0	−01 34 13	−24,7	−7,0	347,6
18 V	6 22	12 22 54	18 24	23 49 09,3	−01 10 30	−24,8	−7,0	334,3
19 S	6 21	12 22 37	18 25	23 52 48,3	−00 46 47	−25,0	−7,0	321,2
20 D	6 19	12 22 19	18 26	23 56 27,2	−00 23 04	−25,1	−7,0	308,0
21 L	6 17	12 22 01	18 27	00 00 06,0	+00 00 38	−25,2	−7,0	294,8
22 M	6 16	12 21 43	18 28	00 03 44,6	+00 24 20	−25,3	−7,0	281,7
23 M	6 14	12 21 25	18 29	00 07 23,2	+00 48 01	−25,3	−7,0	268,5
24 J	6 12	12 21 07	18 31	00 11 01,7	+01 11 40	−25,6	−6,9	255,3
25 V	6 11	12 20 49	18 32	00 14 40,1	+01 35 18	−25,7	−6,9	242,1
26 S	6 09	12 20 31	18 33	00 18 18,5	+01 58 53	−25,7	−6,9	228,9
27 D	6 07	12 20 13	18 34	00 21 57,0	+02 22 26	−25,8	−6,8	215,6
28 L	6 06	12 19 55	18 35	00 25 35,4	+02 45 56	−25,8	−6,8	202,5
29 M	6 04	12 19 37	18 36	00 29 13,9	+03 09 23	−26,0	−6,7	189,4
30 M	6 03	12 19 19	18 37	00 32 52,4	+03 32 46	−26,0	−6,7	176,1
31 J	6 01	12 19 01	18 38	00 36 31,0	+03 56 06	−26,1	−6,5	163,0

Inicio de la primavera el día 20 a las 23h 21m de TU.

SOL Abril 2011

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 59	12 18 43	18 39	00 40 09,7	+04 19 21	−26,1	−6,5	149,8
2 S	5 58	12 18 25	18 40	00 43 48,4	+04 42 31	−26,2	−6,5	136,6
3 D	5 56	12 18 08	18 41	00 47 27,3	+05 05 36	−26,2	−6,5	123,4
4 L	5 54	12 17 50	18 42	00 51 06,4	+05 28 36	−26,2	−6,4	110,2
5 M	5 53	12 17 33	18 43	00 54 45,6	+05 51 30	−26,3	−6,3	97,0
6 M	5 51	12 17 16	18 44	00 58 25,0	+06 14 17	−26,3	−6,3	83,8
7 J	5 50	12 16 59	18 45	01 02 04,5	+06 36 59	−26,3	−6,2	70,5
8 V	5 48	12 16 42	18 46	01 05 44,3	+06 59 33	−26,3	−6,2	57,4
9 S	5 46	12 16 26	18 47	01 09 24,2	+07 22 00	−26,3	−6,0	44,2
10 D	5 45	12 16 10	18 48	01 13 04,5	+07 44 20	−26,3	−6,0	31,0
11 L	5 43	12 15 54	18 49	01 16 44,9	+08 06 32	−26,2	−5,9	17,8
12 M	5 42	12 15 38	18 50	01 20 25,6	+08 28 35	−26,2	−5,9	4,5
13 M	5 40	12 15 22	18 51	01 24 06,6	+08 50 30	−26,2	−5,8	351,3
14 J	5 39	12 15 07	18 52	01 27 47,9	+09 12 16	−26,1	−5,7	338,2
15 V	5 37	12 14 53	18 53	01 31 29,5	+09 33 52	−26,1	−5,7	325,0
16 S	5 36	12 14 38	18 54	01 35 11,4	+09 55 19	−26,0	−5,5	311,8
17 D	5 34	12 14 24	18 55	01 38 53,6	+10 16 36	−25,8	−5,5	298,6
18 L	5 33	12 14 10	18 56	01 42 36,2	+10 37 43	−25,8	−5,4	285,3
19 M	5 31	12 13 57	18 57	01 46 19,3	+10 58 40	−25,8	−5,3	272,2
20 M	5 30	12 13 44	18 58	01 50 02,7	+11 19 25	−25,7	−5,2	259,0
21 J	5 28	12 13 32	18 59	01 53 46,5	+11 39 60	−25,6	−5,2	245,8
22 V	5 27	12 13 19	19 01	01 57 30,8	+12 00 23	−25,5	−5,0	232,6
23 S	5 25	12 13 08	19 02	02 01 15,6	+12 20 35	−25,3	−5,0	219,4
24 D	5 24	12 12 57	19 03	02 05 00,8	+12 40 34	−25,2	−4,9	206,1
25 L	5 23	12 12 46	19 04	02 08 46,5	+13 00 21	−25,1	−4,8	192,9
26 M	5 21	12 12 36	19 05	02 12 32,7	+13 19 55	−25,0	−4,7	179,6
27 M	5 20	12 12 27	19 06	02 16 19,4	+13 39 16	−24,8	−4,5	166,5
28 J	5 19	12 12 17	19 07	02 20 06,6	+13 58 23	−24,7	−4,5	153,3
29 V	5 17	12 12 09	19 08	02 23 54,3	+14 17 17	−24,5	−4,4	140,1
30 S	5 16	12 12 01	19 09	02 27 42,6	+14 35 57	−24,3	−4,3	126,9

SOL Mayo 2011

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	5 15	12 11 53	19 10	02 31 31,4	+14 54 22	−24,2	−4,2	113,7
2 L	5 13	12 11 46	19 11	02 35 20,7	+15 12 32	−24,0	−4,0	100,5
3 M	5 12	12 11 40	19 12	02 39 10,6	+15 30 27	−23,8	−4,0	87,2
4 M	5 11	12 11 34	19 13	02 43 01,1	+15 48 07	−23,7	−3,9	74,0
5 J	5 10	12 11 29	19 14	02 46 52,0	+16 05 31	−23,5	−3,7	60,7
6 V	5 09	12 11 24	19 15	02 50 43,6	+16 22 39	−23,2	−3,7	47,6
7 S	5 07	12 11 20	19 16	02 54 35,7	+16 39 31	−23,0	−3,6	34,4
8 D	5 06	12 11 16	19 17	02 58 28,3	+16 56 06	−22,8	−3,5	21,1
9 L	5 05	12 11 13	19 18	03 02 21,5	+17 12 24	−22,6	−3,4	7,9
10 M	5 04	12 11 11	19 19	03 06 15,3	+17 28 25	−22,3	−3,2	354,7
11 M	5 03	12 11 09	19 20	03 10 09,6	+17 44 08	−22,1	−3,2	341,5
12 J	5 02	12 11 07	19 21	03 14 04,4	+17 59 33	−21,8	−3,1	328,3
13 V	5 01	12 11 06	19 22	03 17 59,8	+18 14 40	−21,6	−2,9	315,0
14 S	5 00	12 11 06	19 23	03 21 55,7	+18 29 28	−21,3	−2,7	301,8
15 D	4 59	12 11 06	19 24	03 25 52,2	+18 43 58	−21,1	−2,7	288,6
16 L	4 58	12 11 07	19 25	03 29 49,3	+18 58 08	−20,8	−2,6	275,3
17 M	4 57	12 11 09	19 26	03 33 46,9	+19 11 60	−20,5	−2,5	262,1
18 M	4 56	12 11 10	19 27	03 37 45,1	+19 25 32	−20,2	−2,4	248,9
19 J	4 55	12 11 13	19 28	03 41 43,8	+19 38 44	−19,8	−2,2	235,6
20 V	4 55	12 11 16	19 29	03 45 43,1	+19 51 36	−19,6	−2,2	222,4
21 S	4 54	12 11 19	19 29	03 49 43,0	+20 04 08	−19,3	−2,0	209,1
22 D	4 53	12 11 24	19 30	03 53 43,4	+20 16 20	−19,0	−1,8	196,0
23 L	4 52	12 11 28	19 31	03 57 44,3	+20 28 10	−18,7	−1,8	182,8
24 M	4 52	12 11 33	19 32	04 01 45,8	+20 39 40	−18,3	−1,7	169,5
25 M	4 51	12 11 39	19 33	04 05 47,8	+20 50 48	−18,0	−1,6	156,3
26 J	4 50	12 11 45	19 34	04 09 50,3	+21 01 35	−17,7	−1,3	143,1
27 V	4 50	12 11 52	19 35	04 13 53,3	+21 12 00	−17,3	−1,3	129,8
28 S	4 49	12 11 59	19 35	04 17 56,9	+21 22 03	−17,0	−1,2	116,5
29 D	4 48	12 12 07	19 36	04 22 00,9	+21 31 44	−16,7	−1,1	103,4
30 L	4 48	12 12 15	19 37	04 26 05,3	+21 41 03	−16,3	−1,0	90,0
31 M	4 47	12 12 24	19 38	04 30 10,2	+21 49 59	−15,9	−0,8	76,9

SOL Junio 2011

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 47	12 12 33	19 38	04 34 15,6	+21 58 32	−15,6	−0,6	63,7
2 J	4 47	12 12 42	19 39	04 38 21,4	+22 06 42	−15,1	−0,6	50,4
3 V	4 46	12 12 52	19 40	04 42 27,5	+22 14 29	−14,8	−0,5	37,2
4 S	4 46	12 13 02	19 41	04 46 34,0	+22 21 53	−14,4	−0,4	24,0
5 D	4 45	12 13 13	19 41	04 50 40,9	+22 28 53	−14,1	−0,2	10,6
6 L	4 45	12 13 23	19 42	04 54 48,1	+22 35 29	−13,6	−0,1	357,5
7 M	4 45	12 13 34	19 43	04 58 55,6	+22 41 42	−13,3	+0,0	344,3
8 M	4 45	12 13 46	19 43	05 03 03,3	+22 47 31	−12,9	+0,1	331,0
9 J	4 44	12 13 57	19 44	05 07 11,3	+22 52 56	−12,5	+0,2	317,8
10 V	4 44	12 14 09	19 44	05 11 19,6	+22 57 57	−12,1	+0,4	304,6
11 S	4 44	12 14 21	19 45	05 15 28,0	+23 02 33	−11,6	+0,5	291,3
12 D	4 44	12 14 33	19 45	05 19 36,7	+23 06 45	−11,1	+0,6	278,1
13 L	4 44	12 14 46	19 46	05 23 45,5	+23 10 33	−10,8	+0,6	264,8
14 M	4 44	12 14 58	19 46	05 27 54,5	+23 13 56	−10,4	+0,9	251,6
15 M	4 44	12 15 11	19 47	05 32 03,7	+23 16 55	−10,0	+1,0	238,4
16 J	4 44	12 15 24	19 47	05 36 12,9	+23 19 29	−09,5	+1,1	225,1
17 V	4 44	12 15 36	19 47	05 40 22,3	+23 21 38	−09,1	+1,2	211,9
18 S	4 44	12 15 49	19 48	05 44 31,7	+23 23 23	−08,6	+1,3	198,6
19 D	4 44	12 16 02	19 48	05 48 41,2	+23 24 43	−08,1	+1,3	185,4
20 L	4 44	12 16 15	19 48	05 52 50,8	+23 25 38	−07,8	+1,6	172,1
21 M	4 45	12 16 28	19 48	05 57 00,4	+23 26 08	−07,4	+1,7	159,0
22 M	4 45	12 16 41	19 49	06 01 09,9	+23 26 14	−06,9	+1,8	145,6
23 J	4 45	12 16 54	19 49	06 05 19,5	+23 25 55	−06,5	+1,8	132,5
24 V	4 45	12 17 07	19 49	06 09 29,0	+23 25 10	−06,0	+2,0	119,2
25 S	4 46	12 17 20	19 49	06 13 38,4	+23 24 01	−05,5	+2,1	106,0
26 D	4 46	12 17 33	19 49	06 17 47,8	+23 22 28	−05,0	+2,2	92,8
27 L	4 46	12 17 45	19 49	06 21 57,0	+23 20 29	−04,7	+2,4	79,5
28 M	4 47	12 17 58	19 49	06 26 06,1	+23 18 06	−04,2	+2,5	66,3
29 M	4 47	12 18 10	19 49	06 30 15,0	+23 15 19	−03,7	+2,6	53,1
30 J	4 48	12 18 22	19 49	06 34 23,8	+23 12 06	−03,2	+2,7	39,7

Inicio del verano el día 21 a las $17^h\ 16^m$ de TU.

SOL Julio 2011

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 V	4 48	12 18 34	19 49	06 38 32,3	+23 08 30	−02,9	+2,7	26,6
2 S	4 49	12 18 46	19 49	06 42 40,6	+23 04 29	−02,4	+2,9	13,4
3 D	4 49	12 18 57	19 49	06 46 48,6	+23 00 04	−02,0	+3,0	0,1
4 L	4 50	12 19 08	19 48	06 50 56,3	+22 55 15	−01,5	+3,2	346,8
5 M	4 50	12 19 19	19 48	06 55 03,7	+22 50 02	−01,1	+3,2	333,6
6 M	4 51	12 19 29	19 48	06 59 10,7	+22 44 25	−00,6	+3,4	320,3
7 J	4 51	12 19 39	19 48	07 03 17,4	+22 38 25	−00,1	+3,5	307,2
8 V	4 52	12 19 48	19 47	07 07 23,7	+22 32 01	00,3	+3,6	293,8
9 S	4 53	12 19 57	19 47	07 11 29,5	+22 25 13	00,8	+3,7	280,7
10 D	4 53	12 20 06	19 47	07 15 35,0	+22 18 03	01,2	+3,7	267,5
11 L	4 54	12 20 14	19 46	07 19 40,0	+22 10 29	01,7	+3,9	254,1
12 M	4 55	12 20 22	19 46	07 23 44,5	+22 02 33	02,1	+4,0	241,0
13 M	4 55	12 20 29	19 45	07 27 48,6	+21 54 14	02,6	+4,0	227,8
14 J	4 56	12 20 36	19 45	07 31 52,3	+21 45 33	03,0	+4,2	214,5
15 V	4 57	12 20 42	19 44	07 35 55,4	+21 36 29	03,5	+4,3	201,3
16 S	4 58	12 20 48	19 43	07 39 58,0	+21 27 04	03,9	+4,4	188,1
17 D	4 59	12 20 54	19 43	07 44 00,1	+21 17 16	04,3	+4,5	174,8
18 L	4 59	12 20 58	19 42	07 48 01,7	+21 07 07	04,8	+4,5	161,6
19 M	5 00	12 21 03	19 41	07 52 02,8	+20 56 36	05,2	+4,7	148,4
20 M	5 01	12 21 06	19 41	07 56 03,3	+20 45 44	05,5	+4,8	135,1
21 J	5 02	12 21 09	19 40	08 00 03,3	+20 34 31	06,0	+4,8	121,9
22 V	5 03	12 21 12	19 39	08 04 02,8	+20 22 57	06,5	+4,9	108,7
23 S	5 04	12 21 14	19 38	08 08 01,7	+20 11 03	06,9	+5,0	95,4
24 D	5 04	12 21 16	19 38	08 12 00,0	+19 58 48	07,4	+5,0	82,2
25 L	5 05	12 21 17	19 37	08 15 57,8	+19 46 13	07,8	+5,2	69,0
26 M	5 06	12 21 17	19 36	08 19 55,0	+19 33 19	08,1	+5,3	55,7
27 M	5 07	12 21 17	19 35	08 23 51,7	+19 20 04	08,6	+5,4	42,5
28 J	5 08	12 21 16	19 34	08 27 47,7	+19 06 31	09,0	+5,4	29,3
29 V	5 09	12 21 15	19 33	08 31 43,2	+18 52 39	09,4	+5,5	16,1
30 S	5 10	12 21 13	19 32	08 35 38,1	+18 38 28	09,9	+5,5	2,9
31 D	5 11	12 21 10	19 31	08 39 32,3	+18 23 58	10,3	+5,7	349,6

SOL Agosto 2011

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	5 12	12 21 07	19 30	08 43 26,0	+18 09 11	10,6	+5,8	336,3
2 M	5 13	12 21 03	19 29	08 47 19,0	+17 54 06	11,1	+5,8	323,2
3 M	5 14	12 20 58	19 28	08 51 11,4	+17 38 43	11,5	+5,9	309,8
4 J	5 15	12 20 53	19 27	08 55 03,2	+17 23 04	11,8	+6,0	296,7
5 V	5 15	12 20 48	19 25	08 58 54,4	+17 07 07	12,1	+6,0	283,5
6 S	5 16	12 20 41	19 24	09 02 44,9	+16 50 54	12,6	+6,0	270,3
7 D	5 17	12 20 34	19 23	09 06 34,8	+16 34 25	13,0	+6,2	257,1
8 L	5 18	12 20 27	19 22	09 10 24,2	+16 17 40	13,4	+6,2	243,8
9 M	5 19	12 20 19	19 21	09 14 12,9	+16 00 39	13,6	+6,3	230,6
10 M	5 20	12 20 10	19 19	09 18 01,0	+15 43 23	14,1	+6,4	217,4
11 J	5 21	12 20 01	19 18	09 21 48,5	+15 25 52	14,5	+6,4	204,1
12 V	5 22	12 19 51	19 17	09 25 35,5	+15 08 06	14,8	+6,5	190,9
13 S	5 23	12 19 40	19 15	09 29 21,8	+14 50 05	15,1	+6,5	177,6
14 D	5 24	12 19 29	19 14	09 33 07,6	+14 31 51	15,5	+6,5	164,5
15 L	5 25	12 19 18	19 13	09 36 52,9	+14 13 22	15,9	+6,5	151,3
16 M	5 26	12 19 05	19 11	09 40 37,6	+13 54 41	16,2	+6,7	138,1
17 M	5 27	12 18 53	19 10	09 44 21,8	+13 35 45	16,5	+6,7	124,8
18 J	5 28	12 18 40	19 09	09 48 05,5	+13 16 37	16,8	+6,8	111,5
19 V	5 29	12 18 26	19 07	09 51 48,7	+12 57 16	17,2	+6,8	98,4
20 S	5 30	12 18 12	19 06	09 55 31,5	+12 37 43	17,5	+6,8	85,2
21 D	5 31	12 17 58	19 04	09 59 13,7	+12 17 57	17,8	+6,9	72,0
22 L	5 32	12 17 43	19 03	10 02 55,5	+11 57 60	18,1	+6,9	58,7
23 M	5 33	12 17 27	19 01	10 06 36,9	+11 37 51	18,3	+7,0	45,5
24 M	5 34	12 17 11	19 00	10 10 17,8	+11 17 31	18,7	+7,0	32,2
25 J	5 35	12 16 55	18 58	10 13 58,4	+10 57 01	19,0	+7,0	19,1
26 V	5 36	12 16 39	18 57	10 17 38,5	+10 36 19	19,3	+7,0	5,9
27 S	5 37	12 16 22	18 55	10 21 18,2	+10 15 28	19,6	+7,0	352,7
28 D	5 38	12 16 04	18 54	10 24 57,6	+09 54 27	19,8	+7,0	339,5
29 L	5 39	12 15 46	18 52	10 28 36,6	+09 33 17	20,2	+7,0	326,3
30 M	5 40	12 15 28	18 51	10 32 15,2	+09 11 57	20,3	+7,2	313,1
31 M	5 41	12 15 10	18 49	10 35 53,5	+08 50 29	20,7	+7,2	299,8

SOL Setiembre 2011

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 J	5 42	12 14 51	18 47	10 39 31,4	+08 28 52	21,0	+7,2	286,6
2 V	5 43	12 14 32	18 46	10 43 09,1	+08 07 07	21,2	+7,2	273,3
3 S	5 44	12 14 13	18 44	10 46 46,4	+07 45 15	21,5	+7,2	260,2
4 D	5 44	12 13 53	18 43	10 50 23,4	+07 23 15	21,7	+7,2	247,0
5 L	5 45	12 13 33	18 41	10 54 00,2	+07 01 08	21,8	+7,2	233,8
6 M	5 46	12 13 13	18 39	10 57 36,7	+06 38 54	22,2	+7,2	220,6
7 M	5 47	12 12 53	18 38	11 01 13,0	+06 16 34	22,3	+7,3	207,4
8 J	5 48	12 12 32	18 36	11 04 49,0	+05 54 08	22,6	+7,3	194,1
9 V	5 49	12 12 11	18 34	11 08 24,9	+05 31 36	22,8	+7,3	181,0
10 S	5 50	12 11 50	18 33	11 12 00,6	+05 08 58	23,0	+7,3	167,8
11 D	5 51	12 11 29	18 31	11 15 36,1	+04 46 15	23,2	+7,3	154,6
12 L	5 52	12 11 08	18 29	11 19 11,5	+04 23 28	23,3	+7,2	141,4
13 M	5 53	12 10 47	18 28	11 22 46,8	+04 00 35	23,6	+7,2	128,1
14 M	5 54	12 10 25	18 26	11 26 21,9	+03 37 39	23,8	+7,2	115,0
15 J	5 55	12 10 04	18 24	11 29 57,1	+03 14 38	24,0	+7,2	101,8
16 V	5 56	12 09 42	18 23	11 33 32,2	+02 51 34	24,1	+7,2	88,5
17 S	5 57	12 09 21	18 21	11 37 07,2	+02 28 27	24,3	+7,2	75,3
18 D	5 58	12 08 59	18 19	11 40 42,3	+02 05 16	24,5	+7,2	62,1
19 L	5 59	12 08 38	18 18	11 44 17,4	+01 42 03	24,6	+7,0	48,9
20 M	6 00	12 08 17	18 16	11 47 52,5	+01 18 47	24,8	+7,0	35,7
21 M	6 01	12 07 55	18 14	11 51 27,8	+00 55 30	24,8	+7,0	22,5
22 J	6 02	12 07 34	18 13	11 55 03,1	+00 32 10	25,0	+7,0	9,3
23 V	6 03	12 07 13	18 11	11 58 38,5	+00 08 50	25,2	+7,0	356,1
24 S	6 04	12 06 52	18 09	12 02 14,0	−00 14 32	25,3	+7,0	342,8
25 D	6 05	12 06 31	18 08	12 05 49,7	−00 37 54	25,3	+7,0	329,7
26 L	6 06	12 06 11	18 06	12 09 25,6	−01 01 17	25,5	+6,9	316,6
27 M	6 07	12 05 50	18 04	12 13 01,6	−01 24 39	25,6	+6,9	303,3
28 M	6 08	12 05 30	18 03	12 16 37,8	−01 48 01	25,7	+6,9	290,2
29 J	6 09	12 05 10	18 01	12 20 14,3	−02 11 22	25,8	+6,8	277,0
30 V	6 10	12 04 50	17 59	12 23 51,0	−02 34 42	25,8	+6,8	263,8

Inicio del otoño el día 23 a las $9^h\ 5^m$ de TU.

SOL Octubre 2011

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	6 11	12 04 31	17 58	12 27 27,9	−02 58 01	25,8	+6,7	250,6
2 D	6 12	12 04 12	17 56	12 31 05,1	−03 21 17	26,0	+6,7	237,4
3 L	6 13	12 03 53	17 54	12 34 42,5	−03 44 31	26,1	+6,5	224,1
4 M	6 14	12 03 34	17 53	12 38 20,3	−04 07 43	26,1	+6,5	211,0
5 M	6 15	12 03 16	17 51	12 41 58,4	−04 30 51	26,2	+6,5	197,8
6 J	6 16	12 02 58	17 50	12 45 36,8	−04 53 56	26,2	+6,5	184,6
7 V	6 17	12 02 40	17 48	12 49 15,6	−05 16 57	26,2	+6,4	171,4
8 S	6 18	12 02 23	17 46	12 52 54,8	−05 39 54	26,3	+6,4	158,1
9 D	6 19	12 02 06	17 45	12 56 34,3	−06 02 47	26,3	+6,3	145,0
10 L	6 20	12 01 50	17 43	13 00 14,3	−06 25 35	26,3	+6,3	131,8
11 M	6 21	12 01 34	17 42	13 03 54,8	−06 48 18	26,3	+6,2	118,5
12 M	6 22	12 01 19	17 40	13 07 35,7	−07 10 55	26,3	+6,0	105,4
13 J	6 23	12 01 04	17 39	13 11 17,1	−07 33 27	26,3	+6,0	92,2
14 V	6 24	12 00 49	17 37	13 14 59,0	−07 55 52	26,2	+6,0	79,0
15 S	6 25	12 00 36	17 35	13 18 41,4	−08 18 11	26,2	+5,9	65,9
16 D	6 26	12 00 22	17 34	13 22 24,5	−08 40 23	26,2	+5,8	52,7
17 L	6 27	12 00 10	17 33	13 26 08,0	−09 02 28	26,1	+5,8	39,5
18 M	6 28	11 59 58	17 31	13 29 52,2	−09 24 25	26,1	+5,7	26,3
19 M	6 29	11 59 46	17 30	13 33 37,0	−09 46 14	26,0	+5,5	13,1
20 J	6 30	11 59 35	17 28	13 37 22,5	−10 07 54	26,0	+5,5	359,8
21 V	6 32	11 59 25	17 27	13 41 08,6	−10 29 26	25,8	+5,4	346,7
22 S	6 33	11 59 16	17 25	13 44 55,3	−10 50 49	25,8	+5,4	333,5
23 D	6 34	11 59 07	17 24	13 48 42,8	−11 12 02	25,7	+5,3	320,3
24 L	6 35	11 58 59	17 23	13 52 30,9	−11 33 04	25,6	+5,2	307,2
25 M	6 36	11 58 52	17 21	13 56 19,8	−11 53 57	25,5	+5,0	294,0
26 M	6 37	11 58 45	17 20	14 00 09,3	−12 14 38	25,3	+5,0	280,8
27 J	6 38	11 58 39	17 18	14 03 59,6	−12 35 09	25,3	+4,9	267,6
28 V	6 39	11 58 34	17 17	14 07 50,7	−12 55 27	25,2	+4,8	254,4
29 S	6 41	11 58 30	17 16	14 11 42,5	−13 15 34	25,0	+4,7	241,1
30 D	6 42	11 58 26	17 15	14 15 35,0	−13 35 28	24,8	+4,5	228,0
31 L	6 43	11 58 23	17 13	14 19 28,3	−13 55 09	24,7	+4,5	214,8

SOL Noviembre 2011

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	6 44	11 58 21	17 12	14 23 22,4	−14 14 37	24,6	+4,4	201,6
2 M	6 45	11 58 20	17 11	14 27 17,2	−14 33 51	24,3	+4,3	188,5
3 J	6 46	11 58 19	17 10	14 31 12,8	−14 52 50	24,2	+4,2	175,3
4 V	6 47	11 58 19	17 09	14 35 09,2	−15 11 35	24,0	+4,0	162,1
5 S	6 49	11 58 20	17 08	14 39 06,4	−15 30 06	23,8	+4,0	148,9
6 D	6 50	11 58 22	17 06	14 43 04,4	−15 48 20	23,6	+3,9	135,6
7 L	6 51	11 58 25	17 05	14 47 03,3	−16 06 20	23,3	+3,7	122,5
8 M	6 52	11 58 28	17 04	14 51 02,9	−16 24 03	23,2	+3,7	109,4
9 M	6 53	11 58 33	17 03	14 55 03,4	−16 41 29	23,0	+3,6	96,2
10 J	6 54	11 58 38	17 02	14 59 04,7	−16 58 38	22,8	+3,5	83,0
11 V	6 56	11 58 44	17 01	15 03 06,9	−17 15 31	22,5	+3,4	69,8
12 S	6 57	11 58 51	17 00	15 07 09,9	−17 32 05	22,3	+3,2	56,6
13 D	6 58	11 58 59	17 00	15 11 13,8	−17 48 22	22,0	+3,1	43,4
14 L	6 59	11 59 07	16 59	15 15 18,5	−18 04 20	21,8	+3,0	30,2
15 M	7 00	11 59 17	16 58	15 19 24,1	−18 19 59	21,5	+2,9	17,1
16 M	7 01	11 59 27	16 57	15 23 30,5	−18 35 19	21,2	+2,7	3,9
17 J	7 03	11 59 38	16 56	15 27 37,8	−18 50 19	21,0	+2,7	350,7
18 V	7 04	11 59 50	16 56	15 31 46,0	−19 04 59	20,7	+2,6	337,5
19 S	7 05	12 00 03	16 55	15 35 55,0	−19 19 19	20,3	+2,4	324,3
20 D	7 06	12 00 17	16 54	15 40 04,9	−19 33 18	20,1	+2,2	311,2
21 L	7 07	12 00 31	16 54	15 44 15,6	−19 46 56	19,7	+2,2	298,0
22 M	7 08	12 00 47	16 53	15 48 27,1	−20 00 12	19,3	+2,1	284,8
23 M	7 09	12 01 03	16 52	15 52 39,4	−20 13 06	19,1	+1,8	271,6
24 J	7 11	12 01 20	16 52	15 56 52,6	−20 25 38	18,8	+1,8	258,3
25 V	7 12	12 01 38	16 51	16 01 06,5	−20 37 48	18,3	+1,7	245,1
26 S	7 13	12 01 56	16 51	16 05 21,2	−20 49 34	18,1	+1,6	232,1
27 D	7 14	12 02 15	16 50	16 09 36,7	−21 00 57	17,7	+1,5	218,9
28 L	7 15	12 02 35	16 50	16 13 52,9	−21 11 56	17,3	+1,3	205,6
29 M	7 16	12 02 56	16 50	16 18 09,7	−21 22 32	17,0	+1,2	192,5
30 M	7 17	12 03 17	16 49	16 22 27,3	−21 32 43	16,6	+1,1	179,4

SOL Diciembre 2011

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 J	7 18	12 03 39	16 49	16 26 45,5	−21 42 30	16,2	+0,9	166,1
2 V	7 19	12 04 02	16 49	16 31 04,4	−21 51 51	15,9	+0,8	153,0
3 S	7 20	12 04 25	16 49	16 35 23,8	−22 00 48	15,5	+0,6	139,8
4 D	7 21	12 04 49	16 48	16 39 43,9	−22 09 19	15,1	+0,6	126,5
5 L	7 22	12 05 13	16 48	16 44 04,5	−22 17 24	14,6	+0,4	113,5
6 M	7 23	12 05 38	16 48	16 48 25,7	−22 25 04	14,3	+0,3	100,3
7 M	7 24	12 06 04	16 48	16 52 47,4	−22 32 17	13,9	+0,2	87,0
8 J	7 25	12 06 30	16 48	16 57 09,6	−22 39 04	13,4	+0,1	73,9
9 V	7 26	12 06 56	16 48	17 01 32,3	−22 45 24	13,0	−0,1	60,7
10 S	7 26	12 07 23	16 48	17 05 55,5	−22 51 18	12,6	−0,2	47,6
11 D	7 27	12 07 50	16 48	17 10 19,1	−22 56 44	12,1	−0,3	34,4
12 L	7 28	12 08 18	16 48	17 14 43,0	−23 01 44	11,6	−0,5	21,2
13 M	7 29	12 08 46	16 49	17 19 07,4	−23 06 16	11,3	−0,6	8,0
14 M	7 30	12 09 14	16 49	17 23 32,1	−23 10 20	10,8	−0,6	354,8
15 J	7 30	12 09 43	16 49	17 27 57,2	−23 13 57	10,4	−0,9	341,7
16 V	7 31	12 10 12	16 49	17 32 22,5	−23 17 06	09,9	−1,0	328,5
17 S	7 32	12 10 41	16 50	17 36 48,1	−23 19 48	09,5	−1,1	315,3
18 D	7 32	12 11 10	16 50	17 41 13,9	−23 22 01	09,0	−1,2	302,2
19 L	7 33	12 11 40	16 50	17 45 40,0	−23 23 46	08,6	−1,3	289,0
20 M	7 34	12 12 09	16 51	17 50 06,2	−23 25 03	08,1	−1,5	275,8
21 M	7 34	12 12 39	16 51	17 54 32,5	−23 25 51	07,5	−1,6	262,6
22 J	7 35	12 13 09	16 52	17 58 58,9	−23 26 12	07,0	−1,7	249,5
23 V	7 35	12 13 39	16 52	18 03 25,4	−23 26 04	06,7	−1,8	236,3
24 S	7 35	12 14 09	16 53	18 07 51,9	−23 25 28	06,2	−2,0	223,1
25 D	7 36	12 14 39	16 53	18 12 18,4	−23 24 24	05,7	−2,1	210,0
26 L	7 36	12 15 09	16 54	18 16 44,9	−23 22 51	05,2	−2,2	196,8
27 M	7 37	12 15 39	16 55	18 21 11,2	−23 20 50	04,8	−2,4	183,6
28 M	7 37	12 16 08	16 55	18 25 37,4	−23 18 21	04,3	−2,5	170,4
29 J	7 37	12 16 38	16 56	18 30 03,4	−23 15 25	03,7	−2,6	157,3
30 V	7 37	12 17 07	16 57	18 34 29,2	−23 11 60	03,2	−2,7	144,1
31 S	7 38	12 17 36	16 58	18 38 54,7	−23 08 07	02,7	−2,7	130,9

Inicio del invierno el día 22 a las $5^h\ 30^m$ 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:

$$\text{paso del semidiámetro} \simeq \frac{66{,}^{\mathrm{s}}6}{R}\,[1 + 0{,}043\, \cos(2d + 14^\circ)]$$

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:

$$\begin{aligned}
&\lambda_\odot \simeq \odot \simeq 279^\circ + 0{,}^\circ 9856\, d + 1{,}^\circ 9\ \mathrm{sen}(0{,}^\circ 986\, d - 4^\circ) \\
&\beta_\odot \simeq 0^\circ
\end{aligned}$$

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 **2011**

Fecha		distancia *R* (UA)	semidiá–metro, *s*	movimiento diario (′/día)	paralaje horizontal	paso semidiám. por meridiano
Ene	1	0,98335	16′17″	61	8″,94	70^{s},6
Ene	11	0,98344	16′17″	61	8″,94	70^{s},0
Ene	21	0,98401	16′17″	61	8″,94	69^{s},1
Ene	31	0,98516	16′16″	61	8″,93	68^{s},0
Feb	10	0,98668	16′14″	61	8″,91	66^{s},9
Feb	20	0,98859	16′12″	60	8″,90	65^{s},9
Mar	2	0,99093	16′10″	60	8″,87	65^{s},0
Mar	12	0,99346	16′08″	60	8″,85	64^{s},4
Mar	22	0,99617	16′05″	60	8″,83	64^{s},1
Abr	1	0,99907	16′02″	59	8″,80	64^{s},1
Abr	11	1,00192	15′59″	59	8″,78	64^{s},4
Abr	21	1,00469	15′57″	59	8″,75	64^{s},9
May	1	1,00741	15′54″	58	8″,73	65^{s},6
May	11	1,00982	15′52″	58	8″,71	66^{s},4
May	21	1,01195	15′50″	58	8″,69	67^{s},2
May	31	1,01380	15′48″	58	8″,67	67^{s},9
Jun	10	1,01517	15′47″	57	8″,66	68^{s},4
Jun	20	1,01612	15′46″	57	8″,65	68^{s},5
Jun	30	1,01668	15′45″	57	8″,65	68^{s},4
Jul	10	1,01666	15′45″	57	8″,65	67^{s},9
Jul	20	1,01621	15′46″	57	8″,65	67^{s},3
Jul	30	1,01534	15′47″	57	8″,66	66^{s},4
Ago	9	1,01394	15′48″	57	8″,67	65^{s},6
Ago	19	1,01219	15′50″	58	8″,69	64^{s},8
Ago	29	1,01012	15′52″	58	8″,71	64^{s},2
Set	8	1,00766	15′54″	58	8″,73	63^{s},8
Set	18	1,00502	15′56″	59	8″,75	63^{s},6
Set	28	1,00227	15′59″	59	8″,77	63^{s},8
Oct	8	0,99935	16′02″	59	8″,80	64^{s},3
Oct	18	0,99651	16′05″	60	8″,82	65^{s},0
Oct	28	0,99379	16′07″	60	8″,85	66^{s},0
Nov	7	0,99115	16′10″	60	8″,87	67^{s},1
Nov	17	0,98885	16′12″	60	8″,89	68^{s},3
Nov	27	0,98690	16′14″	61	8″,91	69^{s},4
Dic	7	0,98525	16′16″	61	8″,93	70^{s},2
Dic	17	0,98413	16′17″	61	8″,94	70^{s},7
Dic	27	0,98350	16′17″	61	8″,94	70^{s},8

Estos valores se refieren a las 0^{h} de Tiempo Universal.
1 UA (Unidad Astronómica) = 149 597 870 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: $+1^h$ ó $+2^h$ en la Península y Baleares, 0^h ó $+1^h$ 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 152. 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 26 de octubre en Cádiz. En las dos tablas siguientes se encuentra que las correcciones a aplicar son de $+10^m$ en longitud y de -5^m en latitud (para la latitud de $36^\circ 5$).

$$\text{orto} = 6^h37^m + (+10^m) + (-5^m) = 6^h42^m \text{ TU}$$
$$\text{ocaso} = 17^h20^m + (+10^m) - (-5^m) = 17^h35^m \text{ TU}$$

A continuación debe aplicarse la corrección al horario oficial, de $+2^h$ en este caso.

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:

$$\begin{aligned}\text{orto} &= 5^{\text{h}}59^{\text{m}} - 15^{\text{m}} - (-1^{\text{h}}2^{\text{m}}) + 6^{\text{m}} = 6^{\text{h}}52^{\text{m}}\ \text{TU} = 7^{\text{h}}52^{\text{m}}\ \text{TO}\\ \text{ocaso} &= 18^{\text{h}}39^{\text{m}} - 15^{\text{m}} - (-1^{\text{h}}2^{\text{m}}) - 6^{\text{m}} = 19^{\text{h}}20^{\text{m}}\ \text{TU} = 20^{\text{h}}20^{\text{m}}\ \text{TO}\end{aligned}$$

Corrección por longitud a las horas de orto 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	18
Dic	31	−32	−13	−10	−7	−4	−1	2	5	8	12	Dic	13
Ene	5	−31	−12	−10	−7	−4	−1	2	5	8	11	Dic	8
Ene	10	−30	−12	−9	−7	−4	−1	2	5	8	11	Dic	3
Ene	15	−29	−11	−9	−6	−4	−1	2	4	7	10	Nov	28
Ene	20	−27	−11	−8	−6	−4	−1	2	4	7	10	Nov	23
Ene	25	−25	−10	−8	−6	−3	−1	1	4	6	9	Nov	18
Ene	30	−23	−9	−7	−5	−3	−1	1	4	6	8	Nov	13
Feb	4	−21	−8	−6	−5	−3	−1	1	3	5	8	Nov	8
Feb	9	−19	−7	−6	−4	−2	−1	1	3	5	7	Nov	3
Feb	14	−17	−6	−5	−4	−2	−1	1	3	4	6	Oct	29
Feb	19	−14	−6	−4	−3	−2	−1	1	2	4	5	Oct	24
Feb	24	−12	−5	−4	−3	−2	0	1	2	3	4	Oct	18
Mar	1	−9	−4	−3	−2	−1	0	1	1	2	3	Oct	13
Mar	6	−7	−3	−2	−1	−1	0	0	1	2	2	Oct	8
Mar	11	−4	−2	−1	−1	−1	0	0	1	1	1	Oct	3
Mar	16	−2	−1	−1	0	0	0	0	0	0	1	Set	28
Mar	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Set	23
Mar	26	3	1	1	1	0	0	0	−1	−1	−1	Set	18
Mar	31	6	2	2	1	1	0	0	−1	−1	−2	Set	13
Abr	5	8	3	3	2	1	0	0	−1	−2	−3	Set	8
Abr	10	11	4	3	2	1	0	−1	−2	−3	−4	Set	3
Abr	15	13	5	4	3	2	1	−1	−2	−3	−5	Ago	29
Abr	20	16	6	5	3	2	1	−1	−2	−4	−6	Ago	24
Abr	25	18	7	6	4	2	1	−1	−3	−5	−7	Ago	19
Abr	30	20	8	6	4	3	1	−1	−3	−5	−7	Ago	14
May	5	22	9	7	5	3	1	−1	−3	−6	−8	Ago	8
May	10	24	10	8	5	3	1	−1	−4	−6	−9	Ago	3
May	15	26	10	8	6	3	1	−2	−4	−7	−10	Jul	29
May	20	28	11	9	6	4	1	−2	−4	−7	−10	Jul	24
May	25	30	12	9	7	4	1	−2	−5	−8	−11	Jul	19
May	30	31	12	10	7	4	1	−2	−5	−8	−12	Jul	14
Jun	4	32	13	10	7	4	1	−2	−5	−9	−12	Jul	9
Jun	9	33	13	10	7	4	1	−2	−5	−9	−12	Jul	4
Jun	14	34	13	11	8	5	1	−2	−5	−9	−13	Jun	29
Jun	19	34	14	11	8	5	1	−2	−5	−9	−13	Jun	24

orto = orto en Madrid - 15^m - λ_E + corrección por latitud
ocaso = ocaso en Madrid - 15^m - λ_E - corrección por latitud

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

(1) se calculan la longitud del Sol, $\odot$, y el instante de culminación para el lugar.

(2) se calcula el tiempo auxiliar:

$$H = 6^{\mathrm{h}}4^{\mathrm{m}} + 77^{\mathrm{m}}\,\mathrm{sen}\,\odot, \quad \text{en la Península y Baleares}$$
$$H = 6^{\mathrm{h}}3^{\mathrm{m}} + 49^{\mathrm{m}}\,\mathrm{sen}\odot, \quad \text{en Canarias;}$$

(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.

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:

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

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

Orientación del orto y del ocaso

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 unos 30° al sur de la dirección Este y se pone unos 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	18
Dic	31	−26	−27	−28	−30	−32	Dic	13
Ene	5	−25	−26	−28	−29	−31	Dic	8
Ene	10	−25	−26	−27	−28	−30	Dic	3
Ene	15	−24	−25	−26	−27	−29	Nov	28
Ene	20	−23	−23	−25	−26	−28	Nov	23
Ene	25	−21	−22	−23	−24	−26	Nov	18
Ene	30	−20	−21	−21	−23	−24	Nov	13
Feb	4	−18	−19	−20	−21	−22	Nov	8
Feb	9	−16	−17	−18	−19	−20	Nov	3
Feb	14	−14	−15	−16	−17	−18	Oct	29
Feb	19	−12	−13	−14	−14	−15	Oct	24
Feb	24	−10	−11	−11	−12	−13	Oct	18
Mar	1	−8	−9	−9	−9	−10	Oct	13
Mar	6	−6	−6	−7	−7	−7	Oct	8
Mar	11	−4	−4	−4	−4	−5	Oct	3
Mar	16	−2	−2	−2	−2	−2	Set	28
Mar	21	1	1	1	1	1	Set	23
Mar	26	3	3	3	3	4	Set	18
Mar	31	5	5	6	6	6	Set	13
Abr	5	7	8	8	8	9	Set	8
Abr	10	9	10	10	11	12	Set	3
Abr	15	11	12	13	13	14	Ago	29
Abr	20	13	14	15	16	17	Ago	24
Abr	25	15	16	17	18	19	Ago	19
Abr	30	17	18	19	20	21	Ago	14
May	5	19	20	21	22	24	Ago	8
May	10	20	21	23	24	26	Ago	3
May	15	22	23	24	26	28	Jul	29
May	20	23	24	26	27	29	Jul	24
May	25	24	25	27	29	31	Jul	19
May	30	25	26	28	30	32	Jul	14
Jun	4	26	27	29	31	33	Jul	9
Jun	9	27	28	29	31	34	Jul	4
Jun	14	27	28	30	32	34	Jun	29
Jun	19	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 30	18 10	6 30	18 11	6 29	18 12	6 29	18 12	6 28	18 13
Mar	30	6 40	17 58	6 38	18 00	6 37	18 01	6 36	18 02	6 35	18 03
Abr	4	6 49	17 46	6 47	17 48	6 45	17 50	6 43	17 52	6 41	17 54
Abr	9	6 58	17 34	6 55	17 37	6 53	17 40	6 50	17 42	6 48	17 44
Abr	14	7 07	17 22	7 04	17 26	7 00	17 29	6 57	17 32	6 54	17 35
Abr	19	7 17	17 10	7 12	17 15	7 08	17 19	7 04	17 23	7 01	17 26
Abr	24	7 26	16 59	7 20	17 05	7 16	17 09	7 11	17 14	7 07	17 18
Abr	29	7 35	16 49	7 29	16 55	7 23	17 00	7 18	17 05	7 14	17 10
May	4	7 44	16 39	7 37	16 45	7 31	16 52	7 25	16 57	7 20	17 02
May	9	7 53	16 29	7 45	16 37	7 38	16 44	7 32	16 50	7 26	16 55
May	14	8 01	16 20	7 53	16 29	7 46	16 36	7 39	16 43	7 33	16 49
May	19	8 09	16 12	8 00	16 22	7 52	16 30	7 45	16 37	7 38	16 44
May	24	8 17	16 06	8 07	16 15	7 59	16 24	7 51	16 32	7 44	16 39
May	29	8 24	16 00	8 14	16 10	8 05	16 19	7 56	16 28	7 49	16 35
Jun	3	8 30	15 55	8 19	16 06	8 10	16 16	8 01	16 24	7 53	16 32
Jun	8	8 35	15 52	8 24	16 03	8 14	16 13	8 05	16 22	7 57	16 30
Jun	13	8 39	15 50	8 28	16 02	8 18	16 12	8 08	16 21	8 00	16 29
Jun	18	8 42	15 50	8 30	16 01	8 20	16 12	8 11	16 21	8 02	16 29
Jun	23	8 43	15 51	8 32	16 02	8 21	16 13	8 12	16 22	8 04	16 30
Jun	28	8 43	15 53	8 32	16 04	8 21	16 15	8 12	16 24	8 04	16 32
Jul	3	8 42	15 56	8 30	16 08	8 20	16 18	8 11	16 27	8 03	16 35
Jul	8	8 39	16 01	8 28	16 12	8 18	16 22	8 09	16 31	8 01	16 38
Jul	13	8 34	16 07	8 24	16 17	8 15	16 27	8 06	16 35	7 59	16 43
Jul	18	8 29	16 13	8 19	16 23	8 10	16 32	8 02	16 40	7 55	16 47
Jul	23	8 22	16 21	8 13	16 30	8 05	16 38	7 57	16 46	7 50	16 52
Jul	28	8 15	16 28	8 06	16 37	7 58	16 45	7 51	16 52	7 45	16 58
Ago	2	8 06	16 37	7 58	16 44	7 51	16 51	7 45	16 58	7 39	17 04
Ago	7	7 57	16 45	7 50	16 52	7 43	16 59	7 37	17 04	7 32	17 10
Ago	12	7 47	16 54	7 40	17 00	7 35	17 06	7 29	17 11	7 25	17 16
Ago	17	7 36	17 02	7 30	17 08	7 25	17 13	7 21	17 18	7 17	17 22
Ago	22	7 25	17 11	7 20	17 16	7 16	17 20	7 12	17 24	7 08	17 28
Ago	27	7 13	17 20	7 09	17 24	7 06	17 28	7 02	17 31	6 59	17 34
Set	1	7 02	17 29	6 58	17 32	6 55	17 35	6 53	17 38	6 50	17 40
Set	6	6 50	17 38	6 47	17 40	6 45	17 43	6 43	17 45	6 41	17 47
Set	11	6 37	17 47	6 36	17 48	6 34	17 50	6 32	17 51	6 31	17 53
Set	16	6 25	17 55	6 24	17 56	6 23	17 57	6 22	17 58	6 21	17 59

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

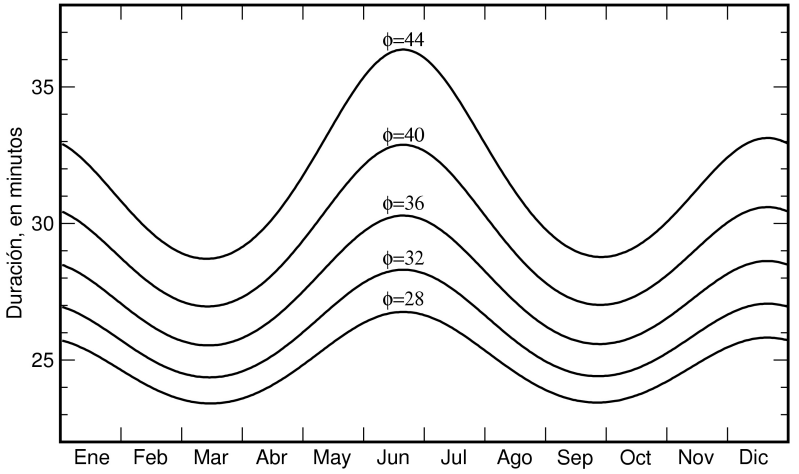
Duración, en minutos, del crepúsculo astronómico el día 15 del mes

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

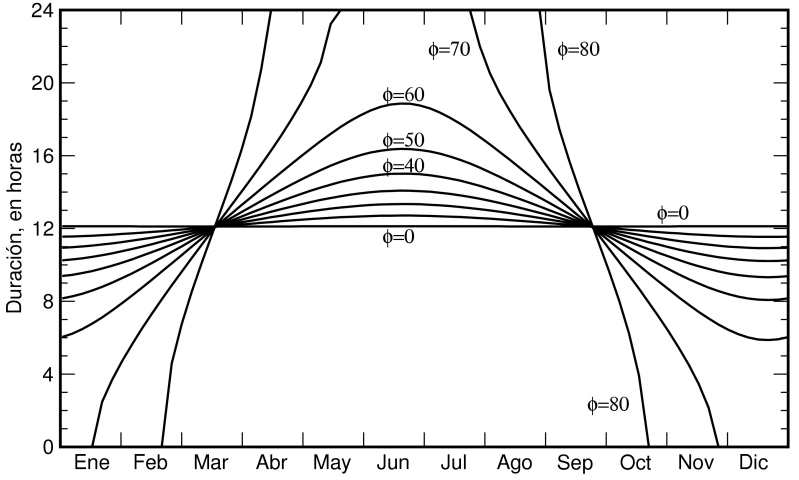
La duración aproximada del crepúsculo civil puede ser calculada mediante la siguiente fórmula, en la que ϕ es la latitud del lugar y $\delta_\odot$ es la declinación del Sol para el día considerado:

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

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 alejadas de las normales, 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.

Tiempo de insolación

Latitud ϕ (°)	Duración máxima (h m)	Duración mínima (h m)	Diferencia máx–mín (min)	Cociente máx/mín
0	12 07	12 07	0	1,00
10	12 42	11 32	70	1,10
20	13 20	10 55	145	1,22
30	14 05	10 13	232	1,38
40	15 01	09 19	344	1,61
50	16 22	08 04	498	2,03
60	18 52	05 52	780	3,22
70	24 00	00 00		

En Madrid se tiene, para el año 2011:

Día en que el Sol sale más tarde: 5 de enero
Día en que el Sol sale más pronto: 15 de junio
Día en que el Sol se pone más tarde: 28 de junio
Día en que el Sol se pone más pronto: 8 de diciembre
Día de mayor duración: 21 de junio (15^h3^m)
Día de menor duración: 22 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:

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

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:

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

Ejemplo: al mediodía del día 20 de agosto la Ecuación de Tiempo es $-3^{\mathrm{m}}27^{\mathrm{s}}$, luego el Sol pasará por el meridiano de Madrid a las:

$$12^{\mathrm{h}} - (-3^{\mathrm{m}}27^{\mathrm{s}}) - (-14^{\mathrm{m}}45^{\mathrm{s}}) = 12^{\mathrm{h}}18^{\mathrm{m}}12^{\mathrm{s}}\ \mathrm{TU}$$

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 149:

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

Rotaciones sinódicas del Sol

Las rotaciones sinódicas del Sol 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 16°. 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 2011

NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora
2106	Ene	20	9	2111	Jun	5	19	2116	Oct	19	24
2107	Feb	16	18	2112	Jul	3	0	2117	Nov	16	7
2108	Mar	16	1	2113	Jul	30	5	2118	Dic	13	15
2109	Abr	12	8	2114	Ago	26	11	2119	Ene	9	23
2110	May	9	14	2115	Set	22	17				

La primera rotación que se iniciará en 2011 es la número 2106, lo cual tendrá lugar el día 20 de enero a las $9^{h}.3$ TU. La primera rotación en 2012 será la número 2119, iniciándose el 9 de enero a las $22^{h}.6$ TU.

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

$\mathcal{R}_{(}$	$= 1\,738$ km	$= 0{,}2725\ \mathcal{R}_{\oplus}$
$\mathcal{M}_{(}$	$= 7{,}3483\ 10^{22}$ kg	$= 0{,}0123\ \mathcal{M}_{\oplus}$
$G\mathcal{M}_{(}$	$= 4{,}902\,799\ 10^{12}$ m^3 s^{-2}	$= 0{,}012\,300\,034\ G\ \mathcal{M}_{\oplus}$

Datos lunares

Elementos medios de la órbita para 2011

Longitud media	$L_{(} = 221{,}^{\circ}323\,008 + 13{,}^{\circ}176\,396\,46\ d$
Anomalía media	$M_{(} = 50{,}^{\circ}517\,318 + 13{,}^{\circ}064\,993\,00\ d$
Longitud del perigeo medio	$\varpi_{(} = 170{,}^{\circ}805\,687 + 0{,}^{\circ}111\,403\,46\ d$
Long. media del nodo ascendente	$\Omega_{(} = 272{,}^{\circ}355\,712 - 0{,}^{\circ}052\,953\,75\ d$
Elongación media referida al Sol	$D_{(} = 302{,}^{\circ}003\,562 + 12{,}^{\circ}190\,749\,10\ d$

(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	$24^{h}51^{m}28^{s}$
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 sidéreo (estrella a estrella)	$27^{d},321\,6616$	$27^{d}07^{h}43^{m}11^{s},6$
mes sinódico (luna nueva)	$29^{d},530\,5884$	$29^{d}12^{h}44^{m}02^{s},8$
mes anomalístico (perigeo)	$27^{d},554\,5501$	$27^{d}13^{h}18^{m}33^{s},1$
mes trópico (equinoccio)	$27^{d},321\,5823$	$27^{d}07^{h}43^{m}04^{s},7$
mes draconítico (nodo)	$27^{d},212\,220$	$27^{d}05^{h}05^{m}35^{s},8$

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:			
libr. óptica en longitud:		$6^{\circ},15$	
libr. óptica en latitud:		$6^{\circ},69$	
libr. física en longitud:		$0^{\circ},025$	
libr. física en latitud:		$0^{\circ},04$	

Datos físicos

			en unidades terrestres
Radio medio	$\mathcal{R}_{(}$	= 1738 km	0,2725 $\mathcal{R}_{\oplus}$
Superficie		3,788 10^{7} km^{2}	0,0743
Volumen		2,199 10^{10} km^{3}	0,0203
Masa	$\mathcal{M}_{(}$	= 7,3483 10^{22} kg	0,0123 $\mathcal{M}_{\oplus}$
Densidad media		3,344 g cm^{-3}	0,6063

Constante gravitatoria	$G\mathcal{M}_{(} = 4{,}902\,799\ 10^{12}\ m^3\ s^{-2}$	0,012 300 03
Gravedad superficial	$1{,}620\ m\ s^{-2}$	0,1652
Velocidad de escape	$2{,}373\ km\ s^{-1}$	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	∼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*:

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

2) Se determinan por interpolación de, al menos, 3er 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:

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

Efemérides de la Luna para 2011

En las doce 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, 3er grado dada la complejidad del movimiento de la Luna (ver el apartado **Interpolación** en la sección *TABLAS*). Con una interpolación de 4to grado los errores pueden llegar a ser de algunos segundos de arco en ambas coordenadas y con una interpolación de 3er 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 3er 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

Intervalo de tiempo menor entre lunas nuevas consecutivas: $29^d{,}274$

Intervalo de tiempo mayor entre lunas nuevas consecutivas: $29^d{,}829$

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

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 $27^d{,}90$

LUNA Enero 2011

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	4 56	9 41	14 23	15 45 22,2	−22 50 23	59,4714
2	D	5 57	10 37	15 18	16 43 45,1	−24 07 08	59,9410
3	L	6 51	11 33	16 17	17 41 48,0	−24 00 42	60,4565
4	M	7 36	12 26	17 20	18 38 13,3	−22 35 23	61,0079
5	M	8 14	13 16	18 23	19 32 04,0	−20 01 46	61,5763
6	J	8 46	14 03	19 26	20 22 55,8	−16 33 57	62,1328
7	V	9 14	14 47	20 26	21 10 56,5	−12 26 46	62,6420
8	S	9 40	15 29	21 25	21 56 36,4	−07 53 50	63,0642
9	D	10 03	16 09	22 24	22 40 38,9	−03 06 51	63,3600
10	L	10 27	16 49	23 22	23 23 53,9	+01 44 15	63,4949
11	M	10 51	17 31	** **	00 07 13,9	+06 30 43	63,4433
12	M	11 17	18 14	0 20	00 51 32,1	+11 04 01	63,1911
13	J	11 46	18 59	1 20	01 37 40,3	+15 14 59	62,7398
14	V	12 20	19 48	2 22	02 26 24,5	+18 52 48	62,1073
15	S	13 01	20 41	3 24	03 18 17,8	+21 44 39	61,3279
16	D	13 51	21 36	4 25	04 13 28,8	+23 36 10	60,4532
17	L	14 49	22 35	5 23	05 11 30,9	+24 13 09	59,5474
18	M	15 56	23 33	6 16	06 11 20,8	+23 25 03	58,6826
19	M	17 08	** **	7 02	07 11 33,0	+21 08 28	57,9311
20	J	18 23	0 31	7 42	08 10 49,0	+17 29 26	57,3549
21	V	19 38	1 26	8 17	09 08 21,2	+12 42 41	56,9979
22	S	20 53	2 20	8 49	10 04 01,6	+07 08 57	56,8776
23	D	22 06	3 12	9 20	10 58 15,1	+01 11 31	56,9852
24	L	23 19	4 03	9 50	11 51 45,1	−04 46 33	57,2887
25	M	** **	4 54	10 22	12 45 20,6	−10 23 55	57,7421
26	M	0 31	5 47	10 56	13 39 44,2	−15 21 38	58,2945
27	J	1 41	6 41	11 36	14 35 21,3	−19 23 30	58,8994
28	V	2 49	7 36	12 21	15 32 10,9	−22 16 31	59,5195
29	S	3 51	8 32	13 12	16 29 41,9	−23 52 03	60,1298
30	D	4 46	9 27	14 09	17 26 58,4	−24 06 54	60,7155
31	L	5 33	10 20	15 10	18 22 56,9	−23 04 02	61,2702

Luna nueva	04^d 09^{h}03^m
Cuarto creciente	12^d 11^{h}31^m
Luna llena	19^d 21^{h}21^m
Cuarto menguante	26^d 12^{h}57^m

Apogeo	10^d 06^h
Perigeo	22^d 00^h

LUNA Febrero 2011

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	6 13	11 10	16 12	19 16 45,1	−20 51 46	61,7902
2	M	6 47	11 58	17 14	20 07 55,6	−17 42 06	62,2719
3	J	7 17	12 43	18 15	20 56 27,9	−13 48 28	62,7077
4	V	7 43	13 25	19 15	21 42 43,0	−09 24 13	63,0844
5	S	8 07	14 06	20 14	22 27 15,6	−04 41 34	63,3827
6	D	8 31	14 47	21 12	23 10 47,6	+00 08 36	63,5791
7	L	8 54	15 27	22 10	23 54 04,9	+04 56 32	63,6473
8	M	9 19	16 09	23 09	00 37 54,1	+09 33 09	63,5629
9	M	9 47	16 53	** **	01 23 01,5	+13 49 23	63,3065
10	J	10 18	17 39	0 08	02 10 09,9	+17 35 31	62,8677
11	V	10 55	18 29	1 09	02 59 54,1	+20 40 40	62,2487
12	S	11 40	19 22	2 09	03 52 33,4	+22 52 44	61,4674
13	D	12 32	20 17	3 07	04 48 02,7	+23 59 08	60,5597
14	L	13 33	21 15	4 01	05 45 47,5	+23 48 36	59,5791
15	M	14 42	22 12	4 50	06 44 48,2	+22 14 02	58,5952
16	M	15 55	23 09	5 33	07 43 57,2	+19 15 04	57,6884
17	J	17 11	** **	6 11	08 42 20,2	+14 59 36	56,9402
18	V	18 27	0 04	6 45	09 39 31,9	+09 43 20	56,4216
19	S	19 44	0 58	7 17	10 35 38,1	+03 47 56	56,1812
20	D	21 00	1 52	7 49	11 31 07,3	−02 21 37	56,2354
21	L	22 15	2 45	8 21	12 26 38,2	−08 19 47	56,5663
22	M	23 29	3 39	8 56	13 22 46,4	−13 42 47	57,1271
23	M	** **	4 35	9 35	14 19 52,7	−18 10 24	57,8523
24	J	0 39	5 31	10 19	15 17 52,8	−21 27 23	58,6711
25	V	1 44	6 28	11 09	16 16 14,1	−23 24 27	59,5174
26	S	2 42	7 23	12 05	17 14 02,9	−23 58 58	60,3378
27	D	3 32	8 17	13 04	18 10 20,1	−23 14 34	61,0943
28	L	4 14	9 08	14 06	19 04 19,6	−21 19 54	61,7641

Luna nueva	$03^d\,02^h31^m$
Cuarto creciente	$11^d\,07^h18^m$
Luna llena	$18^d\,08^h36^m$
Cuarto menguante	$24^d\,23^h26^m$

Apogeo	$6^d\,23^h$
Perigeo	$19^d\,08^h$

LUNA Marzo 2011

Día		en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distan. $\mathcal{R}_\oplus$
1	M	4 49	9 55	15 07	19 55 39,2	−18 26 32	62,3367
2	M	5 20	10 40	16 08	20 44 21,2	−14 47 11	62,8095
3	J	5 47	11 23	17 07	21 30 47,4	−10 34 18	63,1853
4	V	6 12	12 05	18 06	22 15 31,4	−05 59 32	63,4665
5	S	6 35	12 45	19 04	22 59 12,7	−01 13 36	63,6534
6	D	6 59	13 26	20 02	23 42 33,6	+03 33 30	63,7418
7	L	7 24	14 07	21 00	00 26 16,2	+08 12 08	63,7231
8	M	7 50	14 50	22 00	01 11 01,4	+12 32 45	63,5847
9	M	8 20	15 36	22 59	01 57 26,0	+16 25 29	63,3128
10	J	8 55	16 23	23 59	02 45 59,6	+19 39 58	62,8961
11	V	9 36	17 14	** **	03 36 59,2	+22 05 17	62,3287
12	S	10 23	18 07	0 56	04 30 23,6	+23 30 37	61,6150
13	D	11 19	19 01	1 50	05 25 49,8	+23 46 15	60,7725
14	L	12 22	19 57	2 40	06 22 35,9	+22 45 16	59,8359
15	M	13 31	20 52	3 24	07 19 52,3	+20 25 14	58,8578
16	M	14 43	21 46	4 03	08 16 56,2	+16 49 27	57,9065
17	J	15 58	22 40	4 39	09 13 25,1	+12 07 31	57,0621
18	V	17 14	23 34	5 12	10 09 21,2	+06 34 59	56,4056
19	S	18 31	** **	5 43	11 05 07,8	+00 32 41	56,0071
20	D	19 48	0 28	6 16	12 01 20,0	−05 34 41	55,9119
21	L	21 05	1 24	6 51	12 58 32,7	−11 20 42	56,1303
22	M	22 20	2 21	7 29	13 57 06,6	−16 19 55	56,6362
23	M	23 30	3 19	8 13	14 56 55,3	−20 11 06	57,3729
24	J	** **	4 18	9 03	15 57 19,3	−22 40 00	58,2640
25	V	0 33	5 16	9 58	16 57 12,5	−23 41 11	59,2282
26	S	1 27	6 11	10 58	17 55 22,4	−23 17 48	60,1905
27	D	2 12	7 04	11 59	18 50 52,9	−21 39 32	61,0898
28	L	2 50	7 53	13 01	19 43 18,8	−18 59 29	61,8816
29	M	3 22	8 39	14 02	20 32 44,4	−15 31 28	62,5393
30	M	3 51	9 22	15 01	21 19 36,3	−11 28 19	63,0511
31	J	4 16	10 04	16 00	22 04 33,1	−07 01 30	63,4175

Luna nueva	$04^d\ 20^h46^m$
Cuarto creciente	$12^d\ 23^h45^m$
Luna llena	$19^d\ 18^h10^m$
Cuarto menguante	$26^d\ 12^h07^m$

Apogeo	$6^d\ 08^h$
Perigeo	$19^d\ 19^h$

LUNA Abril 2011

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	4 40	10 45	16 58	22 48 18,9	−02 21 16	63,6459
2	S	5 04	11 25	17 56	23 31 38,6	+02 22 55	63,7482
3	D	5 28	12 06	18 54	00 15 16,1	+07 01 43	63,7360
4	L	5 54	12 49	19 53	00 59 52,1	+11 25 33	63,6192
5	M	6 24	13 34	20 53	01 46 02,1	+15 24 16	63,4027
6	M	6 57	14 21	21 52	02 34 13,1	+18 47 10	63,0877
7	J	7 36	15 10	22 50	03 24 38,2	+21 23 12	62,6721
8	V	8 21	16 02	23 45	04 17 12,5	+23 01 49	62,1530
9	S	9 13	16 55	** **	05 11 31,2	+23 34 04	61,5300
10	D	10 12	17 48	0 35	06 06 53,3	+22 54 01	60,8095
11	L	11 16	18 42	1 19	07 02 32,9	+20 59 48	60,0088
12	M	12 25	19 35	1 59	07 57 53,1	+17 54 11	59,1585
13	M	13 36	20 27	2 35	08 52 36,7	+13 44 28	58,3052
14	J	14 48	21 19	3 07	09 46 50,0	+08 42 08	57,5094
15	V	16 03	22 11	3 39	10 41 00,1	+03 02 45	56,8412
16	S	17 18	23 06	4 10	11 35 47,2	−02 54 13	56,3700
17	D	18 35	** **	4 43	12 31 55,1	−08 45 37	56,1537
18	L	19 52	0 02	5 20	13 29 57,5	−14 05 59	56,2267
19	M	21 07	1 00	6 02	14 30 02,5	−18 30 11	56,5905
20	M	22 16	2 00	6 50	15 31 39,7	−21 37 24	57,2127
21	J	23 16	3 01	7 45	16 33 37,7	−23 15 11	58,0336
22	V	** **	4 00	8 45	17 34 23,7	−23 21 48	58,9772
23	S	0 06	4 55	9 48	18 32 34,6	−22 05 15	59,9621
24	D	0 48	5 47	10 51	19 27 22,0	−19 39 42	60,9137
25	L	1 23	6 35	11 54	20 18 38,5	−16 21 06	61,7705
26	M	1 53	7 20	12 54	21 06 47,9	−12 24 28	62,4879
27	M	2 19	8 02	13 53	21 52 32,3	−08 02 31	63,0394
28	J	2 44	8 43	14 51	22 36 41,2	−03 25 55	63,4135
29	V	3 08	9 24	15 49	23 20 06,0	+01 16 05	63,6138
30	S	3 32	10 05	16 47	00 03 36,1	+05 54 47	63,6529

Luna nueva	$03^d\ 14^h32^m$
Cuarto creciente	$11^d\ 12^h05^m$
Luna llena	$18^d\ 02^h44^m$
Cuarto menguante	$25^d\ 02^h47^m$

Apogeo	$2^d\ 09^h$
Perigeo	$17^d\ 06^h$
Apogeo	$29^d\ 18^h$

LUNA Mayo 2011

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	3 58	10 47	17 46	00 47 57,6	+10 21 16	63,5509
2 L	4 26	11 31	18 45	01 33 51,0	+14 25 48	63,3307
3 M	4 58	12 18	19 45	02 21 47,3	+17 57 40	63,0143
4 M	5 35	13 07	20 44	03 12 02,8	+20 45 20	62,6209
5 J	6 19	13 58	21 40	04 04 33,2	+22 37 28	62,1652
6 V	7 10	14 51	22 32	04 58 51,1	+23 24 20	61,6567
7 S	8 07	15 45	23 18	05 54 09,6	+22 59 36	61,1013
8 D	9 09	16 38	23 59	06 49 34,8	+21 21 37	60,5039
9 L	10 15	17 30	** **	07 44 22,7	+18 33 45	59,8716
10 M	11 24	18 21	0 35	08 38 11,1	+14 43 45	59,2183
11 M	12 33	19 11	1 07	09 31 04,2	+10 02 39	58,5675
12 J	13 44	20 01	1 38	10 23 29,6	+04 44 05	57,9537
13 V	14 57	20 53	2 08	11 16 11,2	−00 55 58	57,4217
14 S	16 11	21 46	2 39	12 10 00,1	−06 38 53	57,0227
15 D	17 26	22 42	3 13	13 05 44,4	−12 03 21	56,8067
16 L	18 41	23 41	3 52	14 03 54,9	−16 46 05	56,8121
17 M	19 53	** **	4 36	15 04 28,4	−20 24 22	57,0577
18 M	20 58	0 42	5 28	16 06 35,5	−22 40 03	57,5364
19 J	21 54	1 42	6 27	17 08 45,7	−23 23 59	58,2142
20 V	22 41	2 41	7 30	18 09 15,1	−22 38 09	59,0356
21 S	23 20	3 36	8 35	19 06 42,4	−20 34 04	59,9321
22 D	23 53	4 27	9 40	20 00 30,7	−17 28 19	60,8316
23 L	** **	5 14	10 43	20 50 45,6	−13 38 09	61,6666
24 M	0 21	5 58	11 43	21 38 02,1	−09 18 50	62,3817
25 M	0 46	6 40	12 42	22 23 09,4	−04 42 49	62,9352
26 J	1 11	7 21	13 40	23 07 02,1	−00 00 15	63,3032
27 V	1 35	8 02	14 38	23 50 34,7	+04 40 12	63,4770
28 S	2 00	8 44	15 36	00 34 39,1	+09 10 11	63,4630
29 D	2 27	9 27	16 36	01 20 02,6	+13 20 54	63,2795
30 L	2 58	10 13	17 36	02 07 24,9	+17 02 24	62,9549
31 M	3 33	11 01	18 35	02 57 12,1	+20 03 26	62,5222

Luna nueva	03^d 06^{h}51^m
Cuarto creciente	10^d 20^{h}33^m
Luna llena	17^d 11^{h}09^m
Cuarto menguante	24^d 18^{h}52^m

Perigeo	15^d 12^h
Apogeo	27^d 10^h

LUNA Junio 2011

Día	en Madrid (TU) Orto	Culm.	Ocaso	a 0h de TU Asc. recta	Declinación	Distan.
	h m	*h m*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	$\mathcal{R}_\oplus$
1 M	4 15	11 52	19 33	03 49 30,1	+22 12 07	62,0167
2 J	5 04	12 46	20 27	04 43 58,1	+23 17 14	61,4721
3 V	6 00	13 40	21 16	05 39 49,6	+23 10 32	60,9165
4 S	7 02	14 34	21 59	06 36 02,8	+21 48 41	60,3709
5 D	8 08	15 27	22 37	07 31 39,6	+19 14 23	59,8495
6 L	9 16	16 18	23 10	08 26 02,8	+15 35 47	59,3605
7 M	10 25	17 08	23 41	09 19 04,7	+11 04 59	58,9080
8 M	11 34	17 57	** **	10 11 05,3	+05 56 28	58,4983
9 J	12 44	18 47	0 10	11 02 44,6	+00 26 02	58,1408
10 V	13 56	19 38	0 40	11 54 54,3	−05 09 22	57,8516
11 S	15 08	20 31	1 12	12 48 27,5	−10 31 26	57,6539
12 D	16 21	21 27	1 47	13 44 08,5	−15 20 24	57,5746
13 L	17 33	22 26	2 28	14 42 17,8	−19 15 57	57,6396
14 M	18 40	23 26	3 15	15 42 37,5	−21 59 26	57,8673
15 M	19 40	** **	4 10	16 44 04,6	−23 17 37	58,2630
16 J	20 31	0 25	5 11	17 45 04,2	−23 06 14	58,8135
17 V	21 14	1 22	6 16	18 44 00,6	−21 31 04	59,4883
18 S	21 50	2 16	7 22	19 39 48,7	−18 45 45	60,2412
19 D	22 21	3 05	8 27	20 32 06,9	−15 07 27	61,0164
20 L	22 48	3 51	9 29	21 21 11,0	−10 53 12	61,7547
21 M	23 13	4 35	10 30	22 07 40,1	−06 17 45	62,4007
22 M	23 37	5 17	11 29	22 52 24,8	−01 33 06	62,9071
23 J	** **	5 58	12 27	23 36 18,8	+03 10 56	63,2385
24 V	0 02	6 39	13 25	00 20 15,9	+07 45 50	63,3745
25 S	0 28	7 22	14 24	01 05 07,0	+12 03 19	63,3103
26 D	0 57	8 06	15 24	01 51 37,9	+15 54 29	63,0555
27 L	1 30	8 53	16 24	02 40 24,9	+19 09 13	62,6348
28 M	2 09	9 44	17 22	03 31 47,8	+21 36 11	62,0838
29 M	2 55	10 36	18 18	04 25 42,4	+23 03 37	61,4475
30 J	3 49	11 31	19 10	05 21 35,8	+23 21 15	60,7739

Luna nueva	$01^d\,21^h03^m$
Cuarto creciente	$09^d\,02^h11^m$
Luna llena	$15^d\,20^h14^m$
Cuarto menguante	$23^d\,11^h48^m$

Perigeo	$12^d\,02^h$
Apogeo	$24^d\,04^h$

LUNA Julio 2011

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	4 50	12 26	19 56	06 18 30,5	+22 22 46	60,1115
2 S	5 56	13 20	20 36	07 15 20,9	+20 07 48	59,5026
3 D	7 05	14 13	21 12	08 11 13,2	+16 42 44	58,9793
4 L	8 15	15 05	21 44	09 05 40,8	+12 19 37	58,5614
5 M	9 25	15 55	22 14	09 58 47,7	+07 14 11	58,2558
6 M	10 36	16 45	22 44	10 51 03,0	+01 44 02	58,0594
7 J	11 47	17 35	23 15	11 43 11,4	−03 52 38	57,9630
8 V	12 58	18 27	23 48	12 36 03,3	−09 17 25	57,9562
9 S	14 09	19 21	** **	13 30 24,8	−14 11 55	58,0318
10 D	15 20	20 17	0 26	14 26 46,1	−18 17 60	58,1870
11 L	16 27	21 15	1 10	15 25 08,2	−21 18 55	58,4244
12 M	17 29	22 13	2 00	16 24 54,7	−23 01 33	58,7483
13 M	18 23	23 11	2 58	17 24 54,7	−23 19 11	59,1613
14 J	19 09	** **	4 01	18 23 43,3	−22 13 19	59,6593
15 V	19 47	0 05	5 06	19 20 09,1	−19 53 20	60,2295
16 S	20 20	0 56	6 11	20 13 33,2	−16 33 44	60,8477
17 D	20 49	1 44	7 15	21 03 52,9	−12 30 56	61,4801
18 L	21 15	2 29	8 16	21 51 32,3	−08 00 34	62,0852
19 M	21 40	3 12	9 16	22 37 11,7	−03 16 16	62,6188
20 M	22 04	3 53	10 15	23 21 38,7	+01 30 37	63,0377
21 J	22 30	4 34	11 14	00 05 43,0	+06 10 27	63,3044
22 V	22 57	5 16	12 12	00 50 13,6	+10 34 36	63,3907
23 S	23 28	6 00	13 11	01 35 56,6	+14 34 38	63,2805
24 D	** **	6 45	14 10	02 23 31,8	+18 01 28	62,9728
25 L	0 04	7 34	15 09	03 13 28,1	+20 45 05	62,4809
26 M	0 47	8 25	16 06	04 05 56,5	+22 34 37	61,8350
27 M	1 36	9 18	16 59	05 00 43,7	+23 19 26	61,0785
28 J	2 34	10 13	17 48	05 57 10,4	+22 51 02	60,2672
29 V	3 38	11 09	18 31	06 54 20,0	+21 05 22	59,4630
30 S	4 47	12 03	19 10	07 51 14,7	+18 04 37	58,7281
31 D	5 58	12 56	19 44	08 47 13,8	+13 57 41	58,1183

Luna nueva	$01^d\,08^h54^m$
Cuarto creciente	$08^d\,06^h29^m$
Luna llena	$15^d\,06^h40^m$
Cuarto menguante	$23^d\,05^h02^m$
Luna nueva	$30^d\,18^h40^m$

Perigeo	$7^d\,14^h$
Apogeo	$21^d\,23^h$

LUNA Agosto 2011

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	7 10	13 49	20 16	09 42 03,3	+08 59 13	57,6746
2	M	8 23	14 40	20 47	10 35 56,2	+03 27 43	57,4187
3	M	9 35	15 31	21 18	11 29 25,0	−02 16 21	57,3511
4	J	10 48	16 24	21 51	12 23 11,6	−07 52 06	57,4545
5	V	12 00	17 17	22 27	13 17 57,0	−12 59 19	57,6994
6	S	13 11	18 13	23 09	14 14 09,9	−17 19 19	58,0512
7	D	14 19	19 10	23 57	15 11 55,8	−20 35 56	58,4769
8	L	15 22	20 07	** **	16 10 49,1	−22 37 01	58,9510
9	M	16 18	21 04	0 51	17 09 55,3	−23 16 08	59,4545
10	M	17 05	21 58	1 51	18 08 04,6	−22 33 47	59,9766
11	J	17 46	22 50	2 55	19 04 14,2	−20 37 08	60,5105
12	V	18 20	23 38	3 59	19 57 45,3	−17 38 15	61,0492
13	S	18 50	** **	5 02	20 48 28,6	−13 51 38	61,5838
14	D	19 17	0 24	6 05	21 36 39,9	−09 32 04	62,0991
15	L	19 43	1 07	7 05	22 22 51,3	−04 53 18	62,5745
16	M	20 08	1 49	8 04	23 07 43,2	−00 07 28	62,9833
17	M	20 33	2 31	9 03	23 51 59,2	+04 34 47	63,2955
18	J	21 00	3 13	10 01	00 36 23,2	+09 03 58	63,4801
19	V	21 29	3 55	11 00	01 21 36,8	+13 11 13	63,5094
20	S	22 02	4 40	11 58	02 08 17,2	+16 47 43	63,3619
21	D	22 41	5 26	12 56	02 56 53,6	+19 44 21	63,0265
22	L	23 27	6 15	13 53	03 47 42,6	+21 51 34	62,5051
23	M	** **	7 07	14 47	04 40 43,1	+22 59 46	61,8148
24	M	0 19	8 00	15 37	05 35 33,6	+23 00 30	60,9892
25	J	1 19	8 54	16 22	06 31 35,0	+21 47 58	60,0791
26	V	2 25	9 49	17 03	07 28 01,5	+19 20 45	59,1489
27	S	3 35	10 43	17 39	08 24 13,8	+15 43 06	58,2715
28	D	4 48	11 36	18 13	09 19 51,1	+11 05 16	57,5219
29	L	6 01	12 29	18 45	10 14 55,3	+05 42 58	56,9655
30	M	7 16	13 22	19 17	11 09 47,7	−00 03 43	56,6479
31	M	8 31	14 15	19 51	12 05 01,2	−05 52 01	56,5886

Cuarto creciente	06^d 11^{h}08^m
Luna llena	13^d 18^{h}58^m
Cuarto menguante	21^d 21^{h}54^m
Luna nueva	29^d 03^{h}04^m

Perigeo	2^d 21^h
Apogeo	18^d 16^h
Perigeo	30^d 17^h

LUNA Setiembre 2011

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	9 45	15 10	20 27	13 01 09,9	−11 18 23	56,7772
2 V	10 59	16 07	21 08	13 58 37,1	−16 00 32	57,1778
3 S	12 10	17 05	21 55	14 57 24,3	−19 39 35	57,7391
4 D	13 15	18 03	22 48	15 57 03,1	−22 01 57	58,4024
5 L	14 13	19 00	23 46	16 56 38,9	−23 01 04	59,1140
6 M	15 03	19 54	** **	17 55 04,8	−22 37 47	59,8289
7 M	15 46	20 46	0 48	18 51 22,7	−20 59 31	60,5152
8 J	16 22	21 35	1 51	19 44 58,5	−18 17 59	61,1527
9 V	16 53	22 21	2 54	20 35 46,3	−14 46 54	61,7306
10 S	17 21	23 05	3 56	21 24 03,2	−10 40 05	62,2442
11 D	17 47	23 47	4 57	22 10 21,0	−06 10 29	62,6906
12 L	18 12	** **	5 56	22 55 18,6	−01 29 52	63,0654
13 M	18 37	0 29	6 54	23 39 37,3	+03 11 01	63,3605
14 M	19 03	1 10	7 52	00 23 57,5	+07 42 16	63,5633
15 J	19 32	1 52	8 51	01 08 57,1	+11 54 27	63,6576
16 V	20 04	2 36	9 49	01 55 08,9	+15 38 23	63,6241
17 S	20 40	3 22	10 47	02 42 58,2	+18 44 54	63,4449
18 D	21 22	4 09	11 43	03 32 39,2	+21 04 59	63,1050
19 L	22 11	4 59	12 37	04 24 12,0	+22 30 02	62,5975
20 M	23 06	5 50	13 28	05 17 20,8	+22 52 35	61,9269
21 M	** **	6 42	14 14	06 11 37,1	+22 07 15	61,1118
22 J	0 07	7 35	14 55	07 06 26,7	+20 11 47	60,1882
23 V	1 13	8 28	15 33	08 01 20,3	+17 07 48	59,2094
24 S	2 23	9 21	16 07	08 56 02,6	+13 01 26	58,2450
25 D	3 35	10 13	16 40	09 50 36,2	+08 03 33	57,3741
26 L	4 49	11 06	17 13	10 45 21,6	+02 29 47	56,6775
27 M	6 04	12 00	17 46	11 40 50,7	−03 19 36	56,2243
28 M	7 21	12 56	18 22	12 37 38,0	−09 00 44	56,0606
29 J	8 38	13 54	19 03	13 36 08,7	−14 08 09	56,1985
30 V	9 52	14 53	19 49	14 36 24,2	−18 17 54	56,6156

Cuarto creciente	$04^d\ 17^h39^m$
Luna llena	$12^d\ 09^h27^m$
Cuarto menguante	$20^d\ 13^h39^m$
Luna nueva	$27^d\ 11^h09^m$

Apogeo	$15^d\ 06^h$
Perigeo	$28^d\ 01^h$

LUNA Octubre 2011

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 02	15 53	20 42	15 37 52,0	−21 11 08	57,2596
2	D	12 05	16 53	21 40	16 39 26,2	−22 37 25	58,0606
3	L	12 59	17 49	22 42	17 39 45,4	−22 36 05	58,9437
4	M	13 44	18 43	23 45	18 37 38,6	−21 14 54	59,8397
5	M	14 23	19 33	** **	19 32 25,1	−18 47 02	60,6925
6	J	14 55	20 20	0 48	20 23 59,1	−15 27 24	61,4623
7	V	15 24	21 04	1 50	21 12 41,9	−11 30 28	62,1251
8	S	15 50	21 46	2 50	21 59 10,5	−07 09 05	62,6699
9	D	16 16	22 28	3 49	22 44 08,8	−02 34 35	63,0961
10	L	16 41	23 09	4 48	23 28 21,8	+02 02 54	63,4078
11	M	17 07	23 51	5 46	00 12 32,4	+06 33 49	63,6112
12	M	17 35	** **	6 44	00 57 19,7	+10 48 52	63,7109
13	J	18 06	0 34	7 42	01 43 16,2	+14 38 34	63,7083
14	V	18 41	1 19	8 40	02 30 45,6	+17 53 26	63,6004
15	S	19 21	2 06	9 37	03 19 59,6	+20 24 03	63,3799
16	D	20 07	2 55	10 31	04 10 54,8	+22 01 48	63,0387
17	L	20 59	3 45	11 22	05 03 12,4	+22 39 32	62,5682
18	M	21 57	4 36	12 09	05 56 22,2	+22 12 35	61,9658
19	M	22 59	5 27	12 51	06 49 50,8	+20 39 17	61,2369
20	J	** **	6 18	13 29	07 43 11,2	+18 01 19	60,4002
21	V	0 05	7 09	14 03	08 36 11,9	+14 23 40	59,4895
22	S	1 13	8 00	14 36	09 28 59,6	+09 54 27	58,5560
23	D	2 24	8 51	15 07	10 21 58,9	+04 45 06	57,6663
24	L	3 37	9 43	15 40	11 15 47,7	−00 49 11	56,8980
25	M	4 52	10 37	16 14	12 11 09,7	−06 28 57	56,3278
26	M	6 08	11 34	16 53	13 08 43,8	−11 50 48	56,0210
27	J	7 25	12 34	17 37	14 08 48,7	−16 29 02	56,0170
28	V	8 40	13 36	18 28	15 11 06,5	−19 59 21	56,3205
29	S	9 48	14 37	19 26	16 14 33,4	−22 03 50	56,8998
30	D	10 48	15 38	20 28	17 17 31,1	−22 35 15	57,6940
31	L	11 39	16 35	21 34	18 18 18,8	−21 38 11	58,6245

Cuarto creciente	$04^d\ 03^h15^m$
Luna llena	$12^d\ 02^h06^m$
Cuarto menguante	$20^d\ 03^h30^m$
Luna nueva	$26^d\ 19^h56^m$

Apogeo	$12^d\ 11^h$
Perigeo	$26^d\ 12^h$

LUNA Noviembre 2011

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	12 21	17 27	22 39	19 15 46,8	−19 25 56	59,6084
2	M	12 56	18 16	23 42	20 09 31,3	−16 15 43	60,5707
3	J	13 26	19 02	** **	20 59 47,6	−12 24 30	61,4501
4	V	13 54	19 45	0 44	21 47 14,9	−08 06 58	62,2037
5	S	14 19	20 26	1 43	22 32 43,1	−03 35 15	62,8060
6	D	14 45	21 08	2 42	23 17 04,1	+01 00 35	63,2472
7	L	15 10	21 49	3 39	00 01 07,6	+05 31 33	63,5303
8	M	15 38	22 32	4 37	00 45 38,7	+09 48 60	63,6670
9	M	16 08	23 17	5 35	01 31 15,9	+13 43 58	63,6733
10	J	16 42	** **	6 33	02 18 27,8	+17 07 04	63,5666
11	V	17 21	0 03	7 31	03 07 29,8	+19 48 30	63,3621
12	S	18 05	0 52	8 27	03 58 19,6	+21 38 54	63,0708
13	D	18 56	1 42	9 19	04 50 36,6	+22 30 21	62,6988
14	L	19 52	2 33	10 07	05 43 44,9	+22 17 39	62,2478
15	M	20 52	3 24	10 50	06 37 02,9	+20 59 14	61,7172
16	M	21 56	4 14	11 29	07 29 55,6	+18 37 20	61,1081
17	J	23 01	5 04	12 03	08 22 04,7	+15 17 36	60,4256
18	V	** **	5 53	12 35	09 13 33,3	+11 08 19	59,6844
19	S	0 08	6 42	13 06	10 04 44,6	+06 19 51	58,9123
20	D	1 17	7 32	13 36	10 56 18,4	+01 04 40	58,1509
21	L	2 28	8 23	14 09	11 49 03,9	−04 22 07	57,4557
22	M	3 41	9 16	14 44	12 43 52,6	−09 42 04	56,8905
23	M	4 56	10 13	15 24	13 41 25,5	−14 33 21	56,5187
24	J	6 12	11 14	16 11	14 41 56,3	−18 32 02	56,3927
25	V	7 24	12 16	17 06	15 44 53,6	−21 15 50	56,5412
26	S	8 29	13 18	18 08	16 48 54,4	−22 29 26	56,9625
27	D	9 26	14 19	19 14	17 52 04,0	−22 09 00	57,6225
28	L	10 13	15 15	20 21	18 52 36,4	−20 22 55	58,4612
29	M	10 53	16 07	21 28	19 49 28,3	−17 27 50	59,4025
30	M	11 26	16 56	22 32	20 42 27,5	−13 43 06	60,3667

Cuarto creciente	02^d 16^{h}38^m
Luna llena	10^d 20^{h}16^m
Cuarto menguante	18^d 15^{h}09^m
Luna nueva	25^d 06^{h}10^m

Apogeo	8^d 13^h
Perigeo	23^d 23^h

LUNA Diciembre 2011

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	11 55	17 41	23 33	21 32 00,6	−09 26 39	61,2803
2	V	12 22	18 23	** **	22 18 54,9	−04 53 18	62,0822
3	S	12 47	19 05	0 33	23 04 05,5	−00 14 41	62,7295
4	D	13 13	19 47	1 31	23 48 27,5	+04 19 45	63,1960
5	L	13 40	20 29	2 29	00 32 52,6	+08 41 43	63,4735
6	M	14 09	21 13	3 27	01 18 06,9	+12 43 06	63,5678
7	M	14 41	21 59	4 25	02 04 48,0	+16 15 16	63,4963
8	J	15 19	22 47	5 23	02 53 21,2	+19 08 55	63,2845
9	V	16 01	23 37	6 20	03 43 54,4	+21 14 23	62,9620
10	S	16 51	** **	7 14	04 36 14,5	+22 22 41	62,5583
11	D	17 46	0 28	8 04	05 29 47,5	+22 26 58	62,1000
12	L	18 46	1 20	8 49	06 23 46,5	+21 24 07	61,6079
13	M	19 49	2 11	9 30	07 17 24,9	+19 15 32	61,0959
14	M	20 54	3 02	10 06	08 10 10,2	+16 07 01	60,5722
15	J	22 00	3 51	10 38	09 01 52,1	+12 07 47	60,0402
16	V	23 07	4 39	11 09	09 52 44,2	+07 29 17	59,5038
17	S	** **	5 28	11 39	10 43 19,2	+02 24 24	58,9704
18	D	0 15	6 17	12 09	11 34 23,2	−02 52 43	58,4547
19	L	1 25	7 07	12 42	12 26 48,6	−08 06 21	57,9816
20	M	2 37	8 01	13 18	13 21 25,4	−12 58 40	57,5861
21	M	3 49	8 57	14 00	14 18 48,3	−17 09 49	57,3094
22	J	5 01	9 57	14 50	15 19 00,5	−20 19 19	57,1933
23	V	6 09	10 58	15 47	16 21 19,2	−22 09 25	57,2716
24	S	7 10	11 59	16 51	17 24 16,2	−22 29 42	57,5606
25	D	8 02	12 58	17 58	18 26 02,8	−21 20 28	58,0545
26	L	8 46	13 54	19 07	19 25 07,1	−18 52 38	58,7232
27	M	9 23	14 45	20 13	20 20 40,9	−15 23 48	59,5160
28	M	9 54	15 32	21 18	21 12 41,5	−11 13 26	60,3688
29	J	10 23	16 17	22 19	22 01 39,0	−06 39 13	61,2127
30	V	10 49	17 00	23 19	22 48 20,4	−01 55 45	61,9825
31	S	11 15	17 42	** **	23 33 38,8	+02 45 30	62,6228

Cuarto creciente	$02^d\ 09^h52^m$
Luna llena	$10^d\ 14^h36^m$
Cuarto menguante	$18^d\ 00^h48^m$
Luna nueva	$24^d\ 18^h06^m$

Apogeo	$6^d\ 01^h$
Perigeo	$22^d\ 03^h$

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 que en Madrid.

Corrección por longitud a las horas de orto 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: $+1^h$ ó $+2^h$ en la Península y Baleares, 0^h ó $+1^h$ 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 simplemente 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 Cádiz (latitud $36\overset{\circ}{,}5$) el día 26 de octubre, en que su declinación media es de -14°:

$$\begin{aligned}\text{orto} &= 06^{\text{h}}08^{\text{m}} + 10^{\text{m}} + (-7^{\text{m}}) = 06^{\text{h}}11^{\text{m}}\,\text{TU} = 08^{\text{h}}11^{\text{m}}\,\text{TO}\\ \text{ocaso} &= 16^{\text{h}}53^{\text{m}} + 10^{\text{m}} - (-7^{\text{m}}) = 17^{\text{h}}10^{\text{m}}\,\text{TU} = 19^{\text{h}}10^{\text{m}}\,\text{TO}\end{aligned}$$

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

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

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

En cualquier caso, los instantes de orto y ocaso determinados con este procedimiento son aproximados, pudiendo tener errores de algunos minutos debidos a las aproximaciones realizadas y a las condiciones atmosféricas.

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`.

Paso de la Luna por el meridiano

Los pasos de la Luna por el meridiano que figuran en las tablas mensuales se refieren al centro de la Luna 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:

$$\text{paso meridiano} = \text{paso meridiano Madrid} - 1{,}037\,(14^{\text{m}}45^{\text{s}} + \lambda_E)$$

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:

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

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 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 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

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*, 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* 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 página siguiente.

Fases de la Luna en 2011

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	04 09 03	Ene	12 11 31	Ene	19 21 21	Ene	26 12 57
Feb	03 02 31	Feb	11 07 18	Feb	18 08 36	Feb	24 23 26
Mar	04 20 46	Mar	12 23 45	Mar	19 18 10	Mar	26 12 07
Abr	03 14 32	Abr	11 12 05	Abr	18 02 44	Abr	25 02 47
May	03 06 51	May	10 20 33	May	17 11 09	May	24 18 52
Jun	01 21 03	Jun	09 02 11	Jun	15 20 14	Jun	23 11 48
Jul	01 08 54	Jul	08 06 29	Jul	15 06 40	Jul	23 05 02
Jul	30 18 40	Ago	06 11 08	Ago	13 18 58	Ago	21 21 54
Ago	29 03 04	Set	04 17 39	Set	12 09 27	Set	20 13 39
Set	27 11 09	Oct	04 03 15	Oct	12 02 06	Oct	20 03 30
Oct	26 19 56	Nov	02 16 38	Nov	10 20 16	Nov	18 15 09
Nov	25 06 10	Dic	02 09 52	Dic	10 14 36	Dic	18 00 48
Dic	24 18 06						

La *edad* de la luna es el tiempo transcurrido desde la última luna nueva, expresado en días.

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	*d*	*h*	km
Ene	22	0	362 774
Feb	19	8	358 239
Mar	19	19	356 574
Abr	17	6	358 097
May	15	12	362 151
Jun	12	2	367 217
Jul	7	14	369 605
Ago	2	21	365 785
Ago	30	17	360 871
Set	28	1	357 561
Oct	26	12	357 048
Nov	23	23	359 680
Dic	22	3	364 778

Luna en el apogeo

fecha y hora			distancia
mes	*d*	*h*	km
Ene	10	6	405 014
Feb	6	23	405 952
Mar	6	8	406 595
Abr	2	9	406 647
Abr	29	18	406 015
May	27	10	404 969
Jun	24	4	404 232
Jul	21	23	404 317
Ago	18	16	405 129
Set	15	6	406 045
Oct	12	11	406 431
Nov	8	13	406 195
Dic	6	1	405 445

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:	167
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:	$1\ \mathcal{M}_\oplus = 5{,}9742\ 10^{24}$ kg
y la masa del Sol es:	$1\ \mathcal{M}_\odot = 1{,}9891\ 10^{30}$ kg $= 332\,946\ \mathcal{M}_\oplus$
El radio de la Tierra es:	$1\ \mathcal{R}_\oplus = 6\,378{,}140$ km
La distancia Tierra-Sol es:	1 UA = 149 597 870 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:

$$\begin{aligned} \mathrm{G} &= 2{,}959\,122\,083\ 10^{-4}\ (\mathrm{UA})^3\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\text{día})^{-2} \\ &= 4\,\pi^2\ (\mathrm{UA})^3\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\text{años})^{-2} \\ &= 887\ \mathrm{UA}\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\mathrm{km/s})^2 \\ &= 4{,}301\ 10^{-3}\ \mathrm{pc}\ (\mathcal{M}_\odot)^{-1}\ (\mathrm{km/s})^2 \\ &= 6{,}672\ 10^{-11}\ \mathrm{m}^3\ \mathrm{kg}^{-1}\ \mathrm{s}^{-2} \\ &= 6{,}672\ 10^{-8}\ \mathrm{cm}^3\ \mathrm{g}^{-1}\ \mathrm{s}^{-2} \end{aligned}$$

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 de la 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 determina 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}) 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	en 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 (en 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: 1370 W m^{-2} = 1,96 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	0,324 857
Tierra	1,0000	5,52	9,80	0,398 600
Marte	0,1074	3,93	3,71	0,042 828
Júpiter	317,83	1,33	23,12	126,686
Saturno	95,16	0,69	8,96	37,931
Urano	14,54	1,27	8,69	5,794 559
Neptuno	17,15	1,64	11,00	6,835

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	4,3	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	5,03	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
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)	inclinación del dipolo	momento dipolar (Tierra=1)	Magnetopausa en dirección al Sol (R_p)
Mercurio	0,003	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

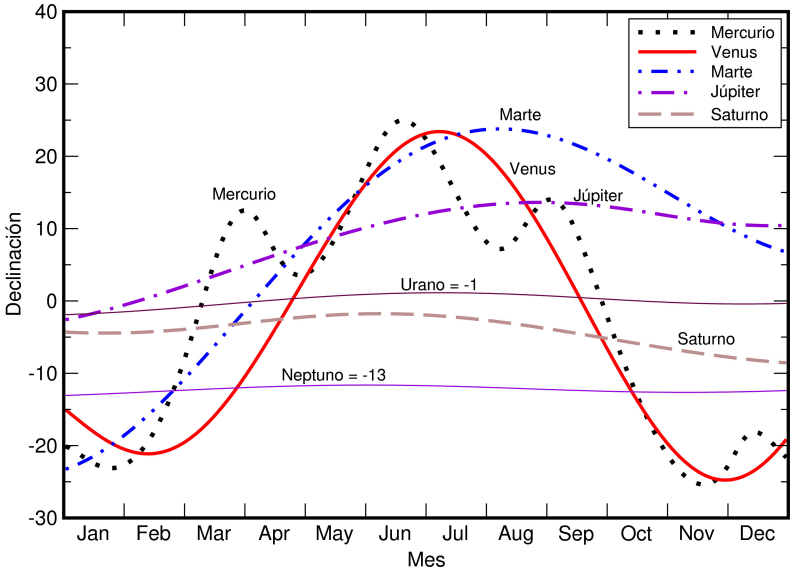
R_p el radio ecuatorial del planeta.
El momento dipolar de la Tierra es: 7,84 10^{15} teslas-m^3.

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.

2011



Efemérides para observaciones físicas

En las páginas siguientes figuran las efemérides de los planetas distribuidas en dos tablas. En la primera se dan los instantes de orto, culminación y ocaso en Madrid (en TU), y además las coordenadas ecuatoriales y la distancia geocéntricas 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 UA mediante: *distancia* (en UA) $= 0,12024 \cdot$ *distancia* (en minutos-luz).

$\mathbf{D}_{ecu}$ 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. 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:

$\mathbf{L}_P$ 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.

$\mathbf{B}_P$ 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.

$\mathbf{P}_{PN}$ 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 2011

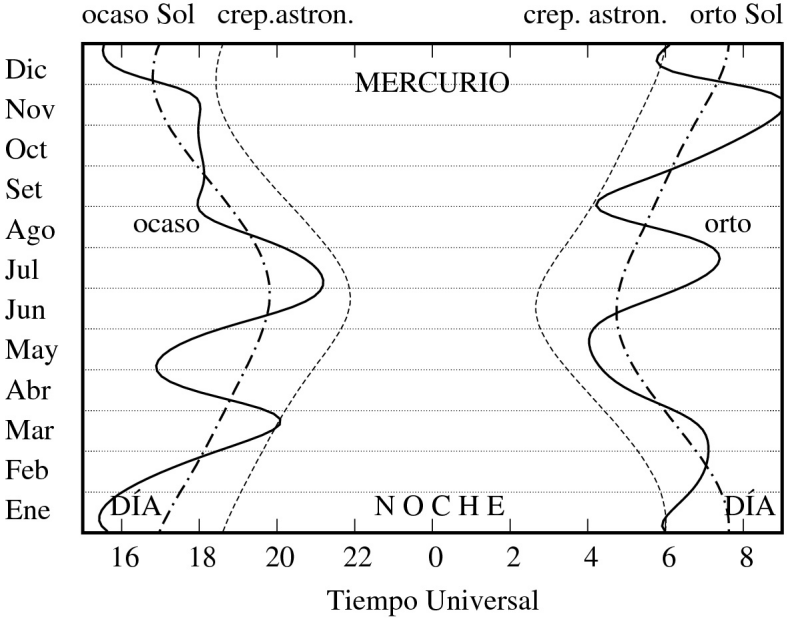
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia UA
Ene.	1	5 59	10 49	15 38	17 16 42	−20 13 1	0,836368
	11	5 59	10 42	15 25	17 47 57	−21 56 37	1,040906
	21	6 19	10 57	15 36	18 41 51	−23 5 16	1,202105
	31	6 39	11 21	16 3	19 44 23	−22 27 44	1,312949
Feb.	10	6 54	11 48	16 42	20 50 33	−19 40 32	1,377133
	20	7 3	12 16	17 31	21 58 27	−14 35 11	1,391979
Mar.	2	7 6	12 46	18 27	23 7 32	− 7 13 29	1,339795
	12	7 4	13 14	19 26	0 15 21	+ 1 43 49	1,184635
	22	6 50	13 26	20 4	1 8 30	+ 9 36 8	0,928641
Abr.	1	6 16	13 1	19 46	1 24 55	+12 30 24	0,690571
	11	5 29	12 2	18 34	1 5 41	+ 9 18 0	0,582303
	21	4 49	11 7	17 24	0 49 10	+ 4 41 41	0,614577
May.	1	4 24	10 39	16 55	0 59 42	+ 3 41 0	0,729898
	11	4 9	10 34	17 0	1 33 1	+ 6 20 18	0,881800
	21	4 2	10 46	17 30	2 23 5	+11 22 58	1,049499
	31	4 6	11 14	18 22	3 29 43	+17 34 0	1,211790
Jun.	10	4 30	12 1	19 32	4 55 7	+23 0 48	1,315109
	20	5 18	12 56	20 35	6 30 7	+24 57 59	1,291629
	30	6 12	13 40	21 7	7 54 9	+22 44 13	1,167693
Jul.	10	6 56	14 4	21 10	8 58 38	+18 6 28	1,011941
	20	7 21	14 8	20 54	9 43 21	+12 52 36	0,856784
	30	7 18	13 50	20 21	10 6 5	+ 8 36 37	0,717268
Ago.	9	6 37	13 4	19 30	10 0 44	+ 7 14 6	0,620070
	19	5 20	11 56	18 33	9 32 42	+10 2 15	0,625997
	29	4 20	11 10	18 1	9 23 37	+13 37 23	0,789346
Set.	8	4 23	11 11	17 59	10 2 29	+13 0 4	1,056620
	18	5 10	11 39	18 6	11 8 54	+ 7 27 10	1,280781
	28	6 5	12 7	18 8	12 16 22	− 0 13 11	1,391371
Oct.	8	6 54	12 29	18 4	13 18 48	− 7 50 4	1,415008
	18	7 38	12 49	18 0	14 18 10	−14 33 6	1,378996
	28	8 17	13 8	17 58	15 16 27	−19 58 37	1,292836
Nov.	7	8 50	13 25	18 0	16 13 7	−23 44 14	1,155137
	17	9 4	13 33	18 1	17 0 55	−25 20 57	0,963469
	27	8 30	13 3	17 37	17 13 58	−24 6 43	0,750923
Dic.	7	6 46	11 37	16 28	16 27 47	−19 42 30	0,691217
	17	5 48	10 45	15 42	16 12 20	−18 21 48	0,876498
	27	5 56	10 44	15 31	16 49 7	−20 49 0	1,094117

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

MERCURIO 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	6,96	8,04	0,2	3,5	103,7	0,381	4,97	81,7	– 6,5	10,3
Ene 21	10,00	5,60	–0,2	3,1	51,2	0,814	1,04	184,4	– 5,5	0,3
Feb 10	11,45	4,89	–0,6	2,6	25,4	0,952	0,24	276,9	– 5,0	345,4
Mar 2	11,14	5,02	–1,5	1,7	12,0	0,989	0,06	4,1	– 4,8	334,1
Mar 22	7,72	7,25	–0,2	3,0	92,9	0,475	3,81	92,2	– 5,5	331,5
Abr 11	4,84	11,55	2,9	1,9	172,9	0,004	11,51	215,8	– 5,6	331,4
May 1	6,07	9,22	1,0	4,3	112,9	0,306	6,40	342,5	– 1,4	331,5
May 21	8,73	6,41	–0,1	3,2	73,5	0,642	2,29	83,4	1,3	334,3
Jun 10	10,94	5,12	–1,9	1,4	12,3	0,988	0,06	168,2	2,7	347,4
Jun 30	9,71	5,76	–0,5	2,8	57,7	0,767	1,34	249,8	4,6	8,3
Jul 20	7,12	7,85	0,5	3,9	96,3	0,446	4,35	344,9	7,7	19,9
Ago 9	5,16	10,85	2,7	5,0	145,2	0,089	9,88	101,6	11,5	21,6
Ago 29	6,57	8,52	1,0	3,8	122,1	0,234	6,53	235,3	8,6	18,0
Set 18	10,65	5,25	–1,3	2,0	29,9	0,933	0,35	331,6	4,4	26,0
Oct 8	11,77	4,75	–0,9	2,2	15,6	0,982	0,09	58,5	2,8	28,2
Oct 28	10,75	5,20	–0,2	2,9	41,3	0,875	0,65	150,4	1,3	22,1
Nov 17	8,01	6,98	–0,1	3,2	82,5	0,565	3,04	248,6	– 0,7	12,0
Dic 7	5,75	9,73	2,6	3,6	158,9	0,034	9,41	20,1	– 4,4	15,6
Dic 27	9,10	6,15	–0,3	3,0	63,6	0,723	1,70	137,8	– 4,5	13,3



VENUS 2011

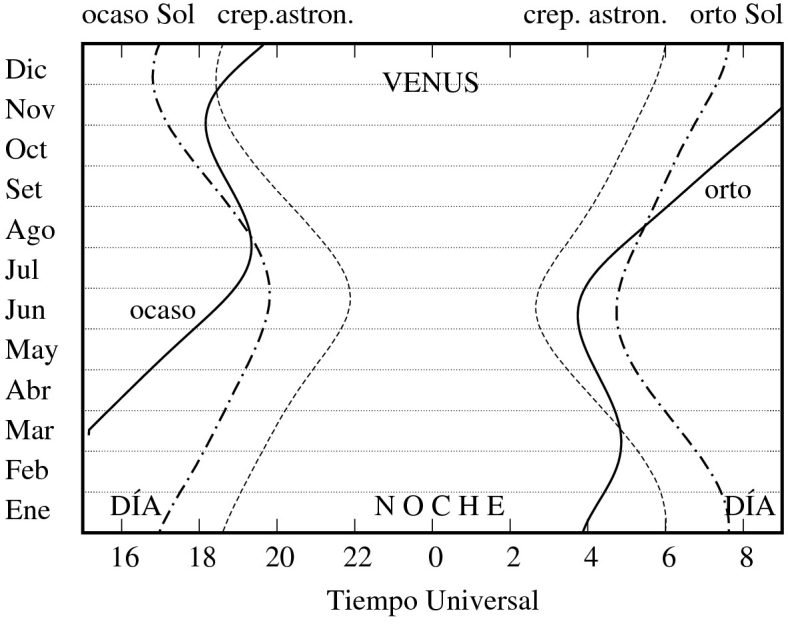
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia UA
Ene.	1	3 53	9 2	14 11	15 28 19	−15 16 29	0,615929
	11	4 2	9 3	14 4	16 8 54	−17 28 17	0,691893
	21	4 14	9 8	14 1	16 52 51	−19 20 54	0,767852
	31	4 26	9 15	14 4	17 39 32	−20 38 16	0,843134
Feb.	10	4 38	9 24	14 11	18 28 7	−21 8 14	0,917127
	20	4 46	9 35	14 23	19 17 42	−20 43 26	0,989624
Mar.	2	4 51	9 45	14 39	20 7 25	−19 21 24	1,060336
	12	4 51	9 54	14 58	20 56 30	−17 4 37	1,128903
	22	4 48	10 3	15 18	21 44 27	−13 59 29	1,195252
Abr.	1	4 42	10 10	15 39	22 31 9	−10 14 45	1,259153
	11	4 33	10 16	16 0	23 16 46	− 6 0 51	1,320241
	21	4 23	10 22	16 21	0 1 39	− 1 28 42	1,378392
May.	1	4 13	10 27	16 42	0 46 21	+ 3 10 47	1,433298
	11	4 3	10 33	17 4	1 31 26	+ 7 46 22	1,484506
	21	3 54	10 39	17 26	2 17 28	+12 6 37	1,531808
	31	3 47	10 48	17 49	3 4 57	+16 0 0	1,574839
Jun.	10	3 44	10 57	18 11	3 54 13	+19 14 40	1,613116
	20	3 46	11 9	18 33	4 45 15	+21 39 22	1,646450
	30	3 53	11 22	18 52	5 37 46	+23 4 28	1,674543
Jul.	10	4 6	11 36	19 6	6 31 4	+23 23 19	1,697028
	20	4 23	11 50	19 16	7 24 17	+22 33 40	1,713885
	30	4 45	12 3	19 20	8 16 35	+20 37 54	1,725026
Ago.	9	5 8	12 14	19 20	9 7 21	+17 42 51	1,730319
	19	5 32	12 24	19 15	9 56 19	+13 58 18	1,729991
	29	5 55	12 31	19 6	10 43 39	+ 9 35 32	1,724206
Set.	8	6 19	12 38	18 56	11 29 45	+ 4 46 38	1,713049
	18	6 42	12 44	18 45	12 15 10	− 0 16 14	1,696930
	28	7 6	12 50	18 34	13 0 37	− 5 21 2	1,676155
Oct.	8	7 30	12 57	18 23	13 46 47	−10 15 21	1,650885
	18	7 54	13 5	18 15	14 34 17	−14 46 22	1,621550
	28	8 19	13 15	18 11	15 23 38	−18 41 6	1,588439
Nov.	7	8 43	13 27	18 10	16 15 2	−21 46 26	1,551641
	17	9 6	13 41	18 16	17 8 13	−23 50 29	1,511489
	27	9 25	13 56	18 27	18 2 35	−24 44 14	1,468162
Dic.	7	9 38	14 11	18 44	18 57 6	−24 23 21	1,421627
	17	9 45	14 25	19 6	19 50 39	−22 49 8	1,372088
	27	9 46	14 37	19 29	20 42 22	−20 8 10	1,319622

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

VENUS 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	5,12	27,09	–4,4	1,7	94,6	0,460	14,64	82,0	– 2,4	14,7
Ene 21	6,39	21,73	–4,2	1,6	82,8	0,563	9,50	132,3	– 2,3	7,5
Feb 10	7,63	18,19	–4,1	1,5	72,9	0,647	6,43	184,3	– 1,6	358,3
Mar 2	8,82	15,74	–4,0	1,4	64,3	0,717	4,45	237,2	– 0,8	349,1
Mar 22	9,94	13,96	–3,9	1,3	56,3	0,778	3,10	290,7	– 0,1	341,9
Abr 11	10,98	12,64	–3,8	1,2	48,7	0,830	2,15	344,4	0,3	337,8
May 1	11,92	11,64	–3,8	1,1	41,2	0,876	1,44	38,2	0,5	337,4
May 21	12,74	10,89	–3,8	1,1	33,8	0,916	0,92	92,0	0,3	340,7
Jun 10	13,42	10,35	–3,8	1,0	26,2	0,949	0,53	146,0	– 0,0	347,4
Jun 30	13,93	9,97	–3,8	0,9	18,5	0,974	0,26	200,0	– 0,5	356,8
Jul 20	14,25	9,74	–3,8	0,9	10,8	0,991	0,09	254,2	– 0,8	7,0
Ago 9	14,39	9,64	–3,8	0,9	3,3	0,999	0,01	308,4	– 0,9	15,7
Ago 29	14,34	9,68	–3,8	0,9	5,2	0,998	0,02	2,8	– 0,6	21,1
Set 18	14,11	9,83	–3,8	0,9	12,5	0,988	0,12	57,2	– 0,2	22,8
Oct 8	13,73	10,11	–3,8	0,9	19,7	0,971	0,29	111,7	0,5	20,8
Oct 28	13,21	10,51	–3,8	1,0	26,6	0,947	0,56	166,2	1,2	15,0
Nov 17	12,57	11,04	–3,8	1,1	33,4	0,917	0,91	220,7	1,8	6,0
Dic 7	11,82	11,74	–3,8	1,1	40,2	0,882	1,39	275,2	2,0	355,6
Dic 27	10,97	12,65	–3,9	1,2	47,2	0,839	2,03	329,5	1,7	346,2



MARTE 2011

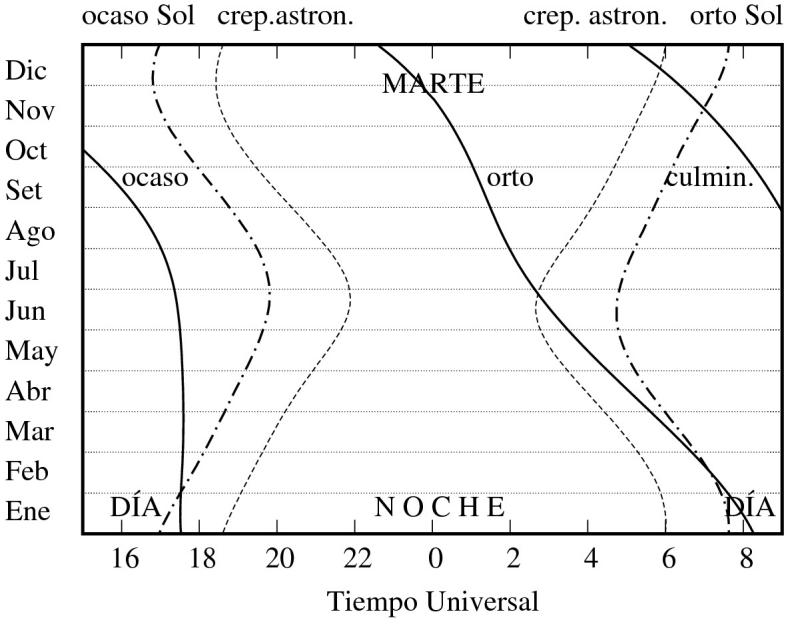
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia UA
Ene.	1	8 15	12 53	17 32	19 20 10	−23 9 33	2,378939
	11	8 4	12 47	17 31	19 53 23	−21 55 52	2,379268
	21	7 50	12 40	17 31	20 26 10	−20 17 30	2,378167
	31	7 35	12 33	17 32	20 58 21	−18 16 37	2,376018
Feb.	10	7 18	12 25	17 33	21 29 51	−15 56 3	2,372866
	20	7 0	12 17	17 34	22 0 39	−13 19 1	2,368936
Mar.	2	6 40	12 7	17 35	22 30 47	−10 28 50	2,364446
	12	6 20	11 57	17 35	23 0 19	− 7 28 57	2,359283
	22	5 59	11 47	17 36	23 29 22	− 4 22 54	2,353533
Abr.	1	5 37	11 36	17 36	23 58 2	− 1 13 56	2,347209
	11	5 16	11 25	17 35	0 26 30	+ 1 54 40	2,340026
	21	4 54	11 14	17 35	0 54 50	+ 4 59 45	2,331927
May.	1	4 33	11 3	17 34	1 23 12	+ 7 58 28	2,322730
	11	4 12	10 52	17 33	1 51 42	+10 48 0	2,312019
	21	3 52	10 42	17 32	2 20 24	+13 25 43	2,299633
	31	3 32	10 31	17 30	2 49 22	+15 49 21	2,285252
Jun.	10	3 14	10 21	17 28	3 18 37	+17 56 42	2,268394
	20	2 57	10 11	17 26	3 48 8	+19 45 59	2,248864
	30	2 41	10 1	17 22	4 17 52	+21 15 46	2,226266
Jul.	10	2 26	9 52	17 17	4 47 41	+22 25 2	2,200137
	20	2 13	9 42	17 11	5 17 29	+23 13 13	2,170309
	30	2 1	9 32	17 3	5 47 6	+23 40 17	2,136386
Ago.	9	1 51	9 22	16 53	6 16 21	+23 46 44	2,097995
	19	1 41	9 11	16 42	6 45 5	+23 33 33	2,055060
	29	1 32	9 0	16 28	7 13 10	+23 2 6	2,007255
Set.	8	1 23	8 48	16 12	7 40 26	+22 14 14	1,954382
	18	1 15	8 35	15 55	8 6 48	+21 11 58	1,896513
	28	1 6	8 21	15 35	8 32 11	+19 57 35	1,833476
Oct.	8	0 56	8 6	15 14	8 56 30	+18 33 36	1,765342
	18	0 46	7 49	14 52	9 19 43	+17 2 28	1,692398
	28	0 35	7 32	14 29	9 41 47	+15 26 49	1,614740
Nov.	7	0 22	7 13	14 4	10 2 37	+13 49 28	1,532817
	17	0 8	6 53	13 38	10 22 8	+12 13 6	1,447247
	27	23 51	6 32	13 11	10 40 12	+10 40 43	1,358547
Dic.	7	23 33	6 9	12 43	10 56 36	+ 9 15 35	1,267732
	17	23 12	5 44	12 14	11 11 4	+ 8 0 56	1,175966
	27	22 48	5 17	11 43	11 23 15	+ 7 0 38	1,084527

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

MARTE 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	19,78	3,94	1,2	3,9	5,7	0,998	0,01	56,4	– 10,3	16,6
Ene 21	19,78	3,94	1,1	3,8	2,5	1,000	0,00	219,4	– 16,3	7,0
Feb 10	19,73	3,95	1,1	3,8	1,1	1,000	0,00	21,5	– 21,2	357,0
Mar 2	19,66	3,96	1,1	3,8	4,1	0,999	0,00	182,6	– 24,6	347,0
Mar 22	19,57	3,98	1,2	3,9	7,1	0,996	0,02	343,1	– 26,0	337,7
Abr 11	19,46	4,00	1,2	3,9	10,0	0,992	0,03	143,7	– 25,3	329,9
May 1	19,32	4,03	1,2	4,0	12,9	0,987	0,05	305,1	– 22,7	324,5
May 21	19,13	4,07	1,3	4,1	15,8	0,981	0,08	107,5	– 18,5	321,7
Jun 10	18,87	4,13	1,3	4,1	18,6	0,974	0,11	271,1	– 13,3	321,8
Jun 30	18,52	4,21	1,4	4,2	21,4	0,966	0,14	75,7	– 7,4	324,4
Jul 20	18,05	4,32	1,4	4,3	24,1	0,956	0,19	241,0	– 1,4	329,1
Ago 9	17,45	4,46	1,4	4,3	26,9	0,946	0,24	46,8	4,5	335,3
Ago 29	16,69	4,67	1,4	4,4	29,5	0,935	0,30	212,8	9,9	342,5
Set 18	15,77	4,94	1,4	4,5	32,0	0,924	0,37	19,0	14,7	350,1
Oct 8	14,68	5,31	1,3	4,5	34,2	0,914	0,46	185,3	18,6	357,7
Oct 28	13,43	5,80	1,1	4,6	35,9	0,905	0,55	351,8	21,5	5,0
Nov 17	12,04	6,47	0,9	4,6	37,0	0,900	0,65	159,0	23,3	11,5
Dic 7	10,54	7,39	0,7	4,6	36,8	0,900	0,74	327,5	24,1	17,0
Dic 27	9,02	8,64	0,3	4,6	34,9	0,910	0,78	138,1	24,1	21,1



JUPITER 2011

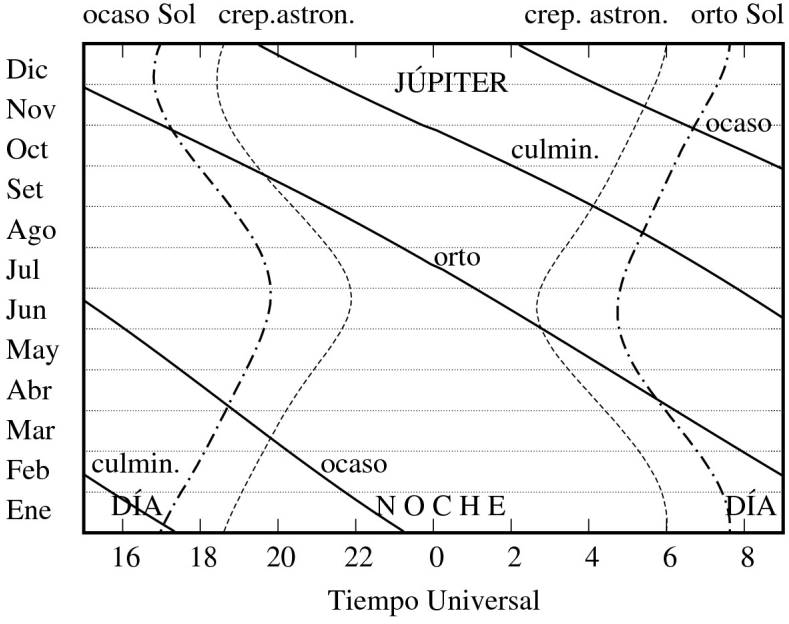
		en Madrid (TU)			a 0^h de TU		
Mes	día	Orto	Culm.	Ocaso	Asc. recta	Declinación	Distancia
		h m	*h m*	*h m*	*h m s*	° ′ ″	UA
Ene.	1	11 27	17 20	23 14	23 49 21	− 2 31 58	5,089081
	11	10 51	16 46	22 42	23 54 39	− 1 55 9	5,239919
	21	10 15	16 13	22 11	0 0 46	− 1 13 19	5,381815
	31	9 40	15 41	21 42	0 7 34	− 0 27 15	5,512133
Feb.	10	9 5	15 9	21 13	0 14 57	+ 0 22 18	5,628410
	20	8 31	14 37	20 44	0 22 49	+ 1 14 34	5,728601
Mar.	2	7 57	14 6	20 16	0 31 4	+ 2 8 51	5,811338
	12	7 23	13 35	19 48	0 39 37	+ 3 4 27	5,875292
	22	6 49	13 5	19 21	0 48 23	+ 4 0 41	5,919665
Abr.	1	6 15	12 34	18 54	0 57 17	+ 4 57 0	5,944122
	11	5 42	12 4	18 27	1 6 15	+ 5 52 47	5,948322
	21	5 8	11 34	17 59	1 15 13	+ 6 47 27	5,932493
May.	1	4 35	11 3	17 32	1 24 6	+ 7 40 33	5,897101
	11	4 1	10 33	17 4	1 32 51	+ 8 31 33	5,842651
	21	3 27	10 2	16 36	1 41 22	+ 9 19 59	5,770207
	31	2 53	9 31	16 8	1 49 36	+10 5 27	5,680907
Jun.	10	2 19	8 59	15 39	1 57 26	+10 47 30	5,576049
	20	1 45	8 27	15 9	2 4 47	+11 25 45	5,457476
	30	1 10	7 54	14 38	2 11 33	+11 59 51	5,327030
Jul.	10	0 35	7 21	14 7	2 17 38	+12 29 22	5,186901
	20	23 56	6 47	13 34	2 22 53	+12 54 0	5,039821
	30	23 20	6 12	13 0	2 27 14	+13 13 24	4,888528
Ago.	9	22 43	5 36	12 25	2 30 31	+13 27 12	4,736346
	19	22 5	4 59	11 48	2 32 38	+13 35 12	4,587033
	29	21 27	4 20	11 10	2 33 31	+13 37 9	4,444407
Set.	8	20 47	3 40	10 30	2 33 5	+13 32 56	4,312908
	18	20 7	2 59	9 48	2 31 22	+13 22 44	4,196991
	28	19 25	2 17	9 5	2 28 26	+13 6 55	4,100933
Oct.	8	18 43	1 34	8 20	2 24 28	+12 46 18	4,029012
	18	18 1	0 50	7 35	2 19 44	+12 22 6	3,984508
	28	17 18	0 5	6 49	2 14 33	+11 56 0	3,969759
Nov.	7	16 35	23 16	6 3	2 9 21	+11 30 1	3,985966
	17	15 52	22 32	5 17	2 4 31	+11 6 14	4,032497
	27	15 10	21 49	4 32	2 0 25	+10 46 33	4,107578
Dic.	7	14 28	21 7	3 49	1 57 19	+10 32 35	4,208140
	17	13 48	20 26	3 8	1 55 25	+10 25 21	4,329987
	27	13 8	19 46	2 28	1 54 50	+10 25 23	4,468715

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

JUPITER 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	42,32	38,74	–2,2	5,4	11,1	0,36	62,8	2,3	334,5
Ene 21	44,76	36,63	–2,1	5,4	9,8	0,27	188,9	2,3	334,5
Feb 10	46,81	35,03	–2,0	5,4	7,8	0,16	314,5	2,4	334,6
Mar 2	48,33	33,92	–1,9	5,4	5,2	0,07	79,9	2,5	334,9
Mar 22	49,23	33,30	–1,9	5,4	2,3	0,01	205,4	2,7	335,3
Abr 11	49,47	33,14	–1,9	5,4	0,7	0,00	331,2	2,9	335,9
May 1	49,04	33,43	–1,9	5,4	3,6	0,03	97,4	3,0	336,6
May 21	47,99	34,17	–1,9	5,4	6,4	0,10	224,2	3,2	337,5
Jun 10	46,37	35,36	–2,0	5,4	8,7	0,20	351,7	3,3	338,4
Jun 30	44,30	37,01	–2,1	5,4	10,6	0,31	120,0	3,5	339,3
Jul 20	41,92	39,12	–2,2	5,4	11,6	0,40	249,2	3,6	340,0
Ago 9	39,39	41,62	–2,3	5,4	11,7	0,43	19,6	3,7	340,6
Ago 29	36,96	44,36	–2,5	5,4	10,6	0,38	151,0	3,8	340,8
Set 18	34,91	46,97	–2,6	5,4	8,2	0,24	283,6	3,9	340,6
Oct 8	33,51	48,93	–2,7	5,4	4,6	0,08	56,9	3,9	340,1
Oct 28	33,02	49,66	–2,8	5,4	0,4	0,00	190,5	3,8	339,5
Nov 17	33,54	48,89	–2,7	5,4	4,2	0,07	323,5	3,7	338,8
Dic 7	35,00	46,85	–2,6	5,4	7,9	0,22	95,3	3,6	338,4
Dic 27	37,16	44,12	–2,5	5,4	10,3	0,35	225,3	3,5	338,2



SATURNO 2011

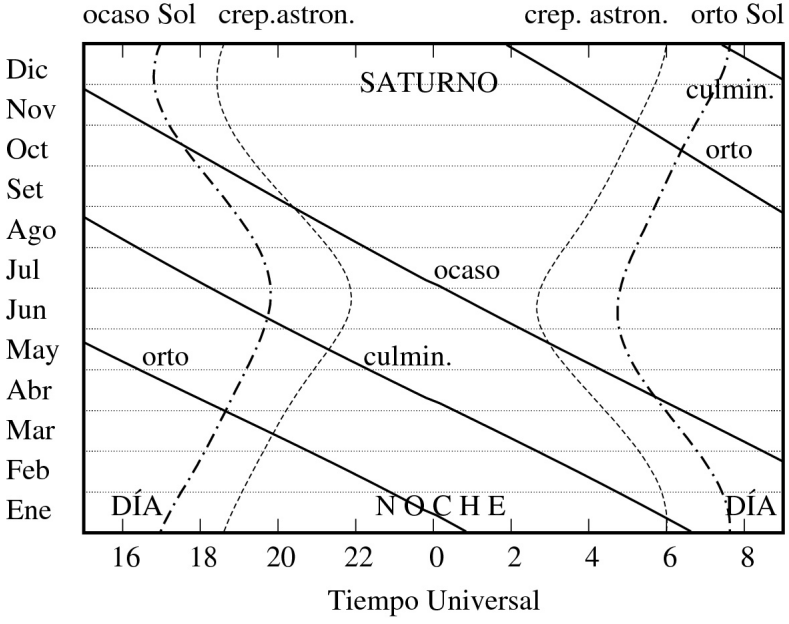
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia UA
Ene.	1	0 50	6 38	12 25	13 5 7	− 4 19 23	9,645613
	11	0 13	6 0	11 47	13 6 30	− 4 25 1	9,479716
	21	23 30	5 21	11 8	13 7 16	− 4 26 35	9,315595
	31	22 51	4 42	10 29	13 7 21	− 4 24 5	9,158252
Feb.	10	22 11	4 2	9 49	13 6 46	− 4 17 37	9,012739
	20	21 29	3 21	9 9	13 5 35	− 4 7 32	8,884074
Mar.	2	20 47	2 40	8 29	13 3 49	− 3 54 16	8,776553
	12	20 5	1 59	7 48	13 1 35	− 3 38 28	8,694123
	22	19 22	1 17	7 7	12 59 0	− 3 21 0	8,639776
Abr.	1	18 39	0 35	6 26	12 56 12	− 3 2 44	8,615281
	11	17 56	23 48	5 45	12 53 20	− 2 44 40	8,621592
	21	17 13	23 6	5 4	12 50 34	− 2 27 45	8,658225
May.	1	16 30	22 25	4 23	12 48 3	− 2 12 52	8,723602
	11	15 48	21 43	3 42	12 45 53	− 2 0 46	8,815376
	21	15 7	21 2	3 2	12 44 11	− 1 52 1	8,930066
	31	14 26	20 22	2 22	12 43 2	− 1 47 1	9,063816
Jun.	10	13 46	19 42	1 42	12 42 28	− 1 45 59	9,212413
	20	13 7	19 3	1 2	12 42 31	− 1 48 58	9,371181
	30	12 29	18 24	0 23	12 43 10	− 1 55 52	9,535744
Jul.	10	11 51	17 46	23 41	12 44 26	− 2 6 30	9,701657
	20	11 15	17 9	23 3	12 46 15	− 2 20 36	9,864565
	30	10 39	16 32	22 25	12 48 36	− 2 37 49	10,020691
Ago.	9	10 3	15 55	21 47	12 51 26	− 2 57 47	10,166274
	19	9 28	15 19	21 10	12 54 41	− 3 20 5	10,297993
	29	8 54	14 43	20 33	12 58 19	− 3 44 19	10,413085
Set.	8	8 20	14 8	19 56	13 2 15	− 4 10 4	10,508855
	18	7 47	13 33	19 19	13 6 25	− 4 36 52	10,583275
	28	7 13	12 58	18 43	13 10 47	− 5 4 20	10,634769
Oct.	8	6 40	12 23	18 6	13 15 17	− 5 31 59	10,661914
	18	6 7	11 48	17 30	13 19 50	− 5 59 25	10,664175
	28	5 33	11 13	16 54	13 24 22	− 6 26 11	10,641310
Nov.	7	5 0	10 39	16 17	13 28 49	− 6 51 53	10,593510
	17	4 26	10 4	15 41	13 33 7	− 7 16 4	10,521854
	27	3 52	9 28	15 4	13 37 12	− 7 38 22	10,427694
Dic.	7	3 18	8 53	14 27	13 40 58	− 7 58 23	10,313052
	17	2 43	8 17	13 50	13 44 22	− 8 15 46	10,180751
	27	2 7	7 40	13 13	13 47 19	− 8 30 10	10,033835

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

SATURNO 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	BS	a.fase °	def.ilu. ″	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	80,22	17,23	0,8	7,0	5,9	0,04	193,6	12,4	357,3
Ene 21	77,48	17,84	0,7	7,0	5,7	0,04	210,5	12,6	357,3
Feb 10	74,96	18,44	0,6	7,0	4,9	0,03	227,9	12,4	357,3
Mar 2	72,99	18,94	0,5	6,9	3,4	0,02	245,6	11,9	357,2
Mar 22	71,86	19,24	0,4	6,8	1,4	0,00	263,3	11,1	357,1
Abr 11	71,70	19,28	0,4	6,8	0,8	0,00	280,7	10,3	357,0
May 1	72,55	19,05	0,5	6,9	2,9	0,01	297,4	9,6	356,9
May 21	74,27	18,61	0,7	7,0	4,5	0,03	313,2	9,1	356,8
Jun 10	76,62	18,04	0,8	7,0	5,6	0,04	328,2	8,9	356,7
Jun 30	79,31	17,43	0,9	7,0	6,0	0,05	342,4	9,1	356,7
Jul 20	82,04	16,85	0,9	7,0	5,8	0,04	356,0	9,7	356,8
Ago 9	84,55	16,35	0,9	7,0	5,1	0,03	9,2	10,5	356,9
Ago 29	86,60	15,96	0,9	6,9	3,8	0,02	22,2	11,6	357,1
Set 18	88,02	15,70	0,8	6,9	2,3	0,01	35,3	12,8	357,3
Oct 8	88,67	15,59	0,7	6,8	0,6	0,00	48,6	14,0	357,5
Oct 28	88,50	15,62	0,7	6,8	1,3	0,00	62,3	15,2	357,8
Nov 17	87,51	15,80	0,8	6,9	2,9	0,01	76,5	16,3	358,0
Dic 7	85,77	16,11	0,7	7,0	4,4	0,02	91,4	17,2	358,2
Dic 27	83,45	16,56	0,7	7,0	5,4	0,04	107,0	17,9	358,4



URANO 2011

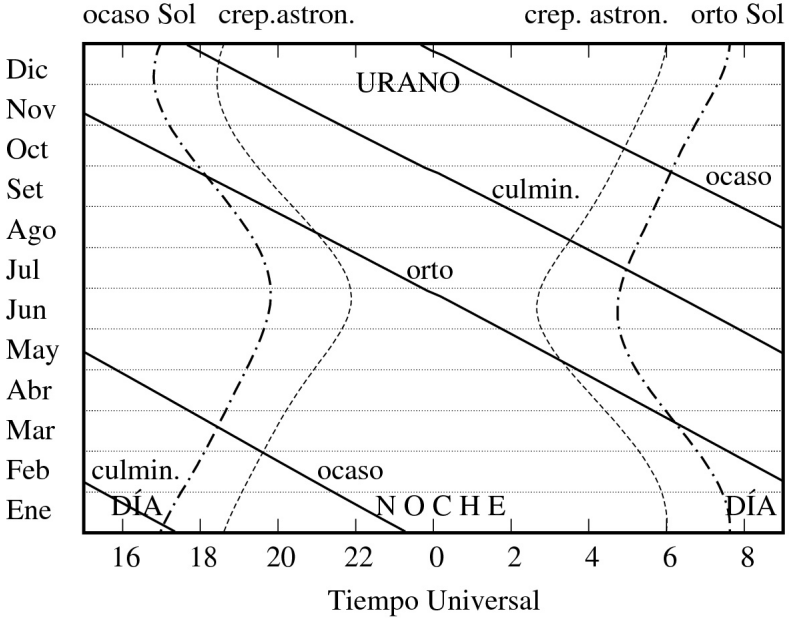
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia UA
Ene.	1	11 25	17 21	23 16	23 50 0	− 1 53 6	20,291959
	11	10 46	16 42	22 38	23 50 56	− 1 46 35	20,455932
	21	10 8	16 4	22 1	23 52 9	− 1 38 20	20,608274
	31	9 29	15 26	21 24	23 53 36	− 1 28 33	20,744861
Feb.	10	8 51	14 49	20 46	23 55 16	− 1 17 27	20,861867
	20	8 13	14 11	20 10	23 57 6	− 1 5 18	20,956139
Mar.	2	7 35	13 34	19 33	23 59 4	− 0 52 22	21,025478
	12	6 57	12 57	18 57	0 1 6	− 0 38 56	21,068081
	22	6 19	12 19	18 20	0 3 12	− 0 25 17	21,083085
Abr.	1	5 41	11 42	17 44	0 5 17	− 0 11 42	21,070448
	11	5 3	11 5	17 7	0 7 20	+ 0 1 32	21,030533
	21	4 25	10 28	16 30	0 9 18	+ 0 14 10	20,964688
May.	1	3 47	9 50	15 54	0 11 8	+ 0 25 57	20,874778
	11	3 8	9 12	15 17	0 12 49	+ 0 36 38	20,763086
	21	2 30	8 35	14 39	0 14 18	+ 0 46 1	20,632749
	31	1 51	7 56	14 2	0 15 34	+ 0 53 54	20,487093
Jun.	10	1 13	7 18	13 24	0 16 35	+ 1 0 7	20,329880
	20	0 34	6 40	12 45	0 17 19	+ 1 4 34	20,165444
	30	23 51	6 1	12 6	0 17 46	+ 1 7 8	19,998023
Jul.	10	23 12	5 21	11 27	0 17 56	+ 1 7 47	19,832245
	20	22 32	4 42	10 48	0 17 48	+ 1 6 32	19,672855
	30	21 53	4 2	10 8	0 17 22	+ 1 3 26	19,524260
Ago.	9	21 13	3 22	9 28	0 16 40	+ 0 58 37	19,391019
	19	20 33	2 42	8 47	0 15 44	+ 0 52 16	19,277223
	29	19 53	2 2	8 6	0 14 35	+ 0 44 37	19,186373
Set.	8	19 13	1 21	7 25	0 13 17	+ 0 35 59	19,121685
	18	18 33	0 40	6 44	0 11 51	+ 0 26 42	19,085315
	28	17 52	23 55	6 2	0 10 23	+ 0 17 9	19,078648
Oct.	8	17 12	23 15	5 21	0 8 56	+ 0 7 46	19,102301
	18	16 32	22 34	4 40	0 7 32	− 0 1 4	19,155547
	28	15 52	21 53	3 59	0 6 17	− 0 8 59	19,236922
Nov.	7	15 12	21 13	3 18	0 5 13	− 0 15 37	19,343982
	17	14 32	20 33	2 38	0 4 23	− 0 20 42	19,473177
	27	13 52	19 53	1 58	0 3 49	− 0 23 59	19,620562
Dic.	7	13 13	19 13	1 18	0 3 33	− 0 25 18	19,781404
	17	12 34	18 34	0 39	0 3 35	− 0 24 35	19,950542
	27	11 54	17 55	23 56	0 3 57	− 0 21 49	20,122908

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

URANO 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	a.fase °	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	168,76	3,47	5,9	2,7	204,0	9,6	254,3
Ene 21	171,39	3,42	5,9	2,4	146,3	10,2	254,3
Feb 10	173,50	3,38	5,9	1,7	88,9	11,1	254,3
Mar 2	174,86	3,35	5,9	0,9	31,8	12,2	254,3
Mar 22	175,34	3,34	5,9	0,0	335,0	13,3	254,3
Abr 11	174,91	3,35	5,9	0,9	278,5	14,5	254,3
May 1	173,61	3,38	5,9	1,8	222,3	15,6	254,4
May 21	171,60	3,42	5,9	2,4	166,3	16,4	254,4
Jun 10	169,08	3,47	5,9	2,8	110,5	17,1	254,5
Jun 30	166,32	3,52	5,8	2,9	54,7	17,4	254,5
Jul 20	163,61	3,58	5,8	2,7	358,8	17,4	254,5
Ago 9	161,27	3,63	5,8	2,2	302,8	17,1	254,4
Ago 29	159,57	3,67	5,7	1,4	246,5	16,5	254,4
Set 18	158,73	3,69	5,7	0,4	189,9	15,7	254,4
Oct 8	158,87	3,69	5,7	0,6	132,9	14,9	254,3
Oct 28	159,99	3,66	5,7	1,5	75,6	14,2	254,3
Nov 17	161,95	3,62	5,8	2,3	18,1	13,6	254,3
Dic 7	164,52	3,56	5,8	2,7	320,4	13,4	254,3
Dic 27	167,36	3,50	5,8	2,8	262,6	13,5	254,3



NEPTUNO 2011

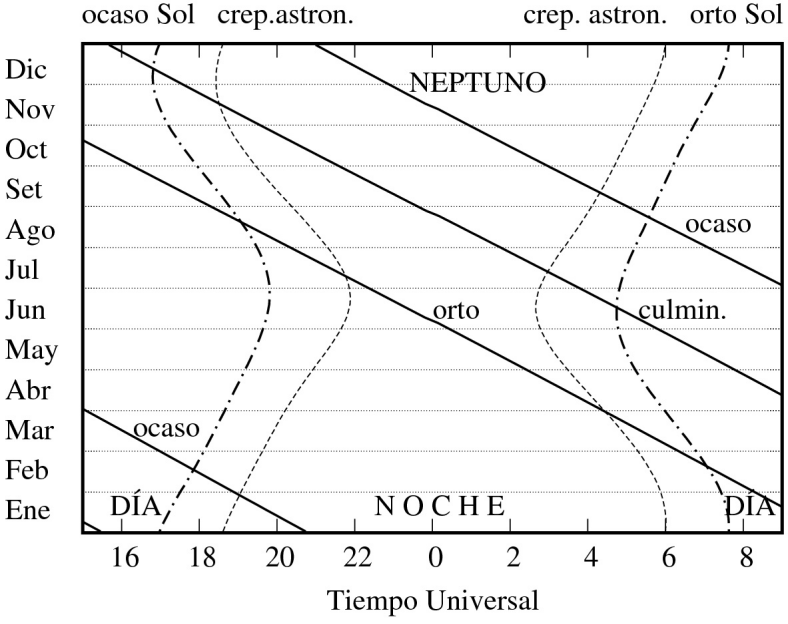
Mes	día	en Madrid (TU) Orto *h m*	Culm. *h m*	Ocaso *h m*	a 0^h de TU Asc. recta *h m s*	Declinación ° ′ ″	Distancia UA
Ene.	1	10 11	15 28	20 44	21 56 30	−13 3 19	30,681915
	11	9 32	14 49	20 7	21 57 40	−12 57 7	30,796968
	21	8 54	14 11	19 29	21 58 57	−12 50 16	30,888377
	31	8 15	13 33	18 51	22 0 20	−12 42 55	30,953776
Feb.	10	7 37	12 56	18 14	22 1 46	−12 35 16	30,991263
	20	6 59	12 18	17 37	22 3 13	−12 27 27	30,999948
Mar.	2	6 20	11 40	16 59	22 4 41	−12 19 41	30,979876
	12	5 42	11 2	16 22	22 6 5	−12 12 9	30,931599
	22	5 4	10 24	15 44	22 7 25	−12 5 1	30,856756
Abr.	1	4 25	9 46	15 6	22 8 39	−11 58 26	30,757602
	11	3 47	9 8	14 29	22 9 45	−11 52 34	30,636863
	21	3 8	8 29	13 51	22 10 42	−11 47 34	30,498163
May.	1	2 29	7 51	13 12	22 11 29	−11 43 32	30,345322
	11	1 50	7 12	12 34	22 12 4	−11 40 34	30,182552
	21	1 11	6 33	11 55	22 12 27	−11 38 42	30,014577
	31	0 32	5 54	11 16	22 12 38	−11 38 0	29,845923
Jun.	10	23 49	5 14	10 36	22 12 36	−11 38 28	29,681376
	20	23 9	4 35	9 57	22 12 22	−11 40 3	29,525707
	30	22 30	3 55	9 17	22 11 57	−11 42 41	29,383191
Jul.	10	21 50	3 15	8 37	22 11 21	−11 46 17	29,258114
	20	21 10	2 35	7 56	22 10 36	−11 50 42	29,154175
	30	20 30	1 55	7 16	22 9 43	−11 55 46	29,074389
Ago.	9	19 50	1 15	6 35	22 8 45	−12 1 18	29,021427
	19	19 10	0 34	5 54	22 7 44	−12 7 6	28,996902
	29	18 30	23 50	5 14	22 6 41	−12 12 56	29,001684
Set.	8	17 50	23 10	4 33	22 5 40	−12 18 36	29,035959
	18	17 10	22 29	3 52	22 4 42	−12 23 53	29,098666
	28	16 30	21 49	3 12	22 3 50	−12 28 35	29,188124
Oct.	8	15 51	21 9	2 32	22 3 7	−12 32 30	29,301799
	18	15 11	20 29	1 52	22 2 33	−12 35 30	29,436134
	28	14 31	19 50	1 12	22 2 10	−12 37 28	29,587251
Nov.	7	13 52	19 10	0 32	22 2 0	−12 38 17	29,750532
	17	13 13	18 31	23 49	22 2 3	−12 37 57	29,920919
	27	12 34	17 52	23 10	22 2 19	−12 36 25	30,093424
Dic.	7	11 55	17 13	22 32	22 2 48	−12 33 43	30,262691
	17	11 16	16 34	21 53	22 3 30	−12 29 54	30,423640
	27	10 37	15 56	21 15	22 4 22	−12 25 3	30,571618

Salida, culminación y ocaso del planeta vienen dados en Tiempo Universal (TU) y se refieren a Madrid. La presencia de un asterisco (*) en la columna de la culminación indica que para tal fecha el planeta pasa dos veces por el meridiano del lugar. La distancia a la Tierra viene dada en Unidades Astronómicas:

1 UA = 149 597 870 km

NEPTUNO 2011

Fecha	τ *min*	D_{ecu} ″	V	a.fase °	L_P °	B_P °	P_{PN} °
Ene 1	255,17	2,23	8,0	1,4	72,6	– 28,6	335,9
Ene 21	256,89	2,21	8,0	0,8	357,5	– 28,5	335,4
Feb 10	257,75	2,20	8,0	0,2	282,6	– 28,4	334,9
Mar 2	257,65	2,20	8,0	0,4	208,0	– 28,4	334,3
Mar 22	256,63	2,21	8,0	1,0	133,9	– 28,3	333,8
Abr 11	254,80	2,23	7,9	1,5	60,1	– 28,2	333,4
May 1	252,37	2,25	7,9	1,8	346,8	– 28,2	333,1
May 21	249,62	2,28	7,9	1,9	273,8	– 28,1	332,9
Jun 10	246,85	2,30	7,9	1,8	201,1	– 28,1	332,9
Jun 30	244,37	2,32	7,9	1,5	128,4	– 28,1	333,0
Jul 20	242,47	2,34	7,8	1,1	55,8	– 28,2	333,2
Ago 9	241,36	2,35	7,8	0,5	343,0	– 28,2	333,6
Ago 29	241,20	2,35	7,8	0,2	269,9	– 28,3	334,0
Set 18	242,01	2,35	7,8	0,8	196,5	– 28,3	334,3
Oct 8	243,69	2,33	7,8	1,4	122,6	– 28,4	334,6
Oct 28	246,07	2,31	7,9	1,7	48,2	– 28,4	334,8
Nov 17	248,84	2,28	7,9	1,9	333,5	– 28,4	334,8
Dic 7	251,69	2,26	7,9	1,8	258,4	– 28,4	334,7
Dic 27	254,26	2,23	7,9	1,5	183,3	– 28,3	334,4



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

Esta tabla puede reproducirse aproximadamente mediante la fórmula siguiente, redondeando el resultado a minutos enteros:

$$\text{corrección por latitud} = 3^{\mathrm{m}}_{,}0\ \frac{40^{\circ}_{,}41 - \phi}{1 - 0{,}010\,\phi}\ \tan(1{,}4\,\delta)$$

siendo ϕ la latitud del lugar y δ la declinación del planeta considerado.

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: $v \simeq \mathrm{M} + 2\,e\,\mathrm{sen}\,M + 1{,}25\,e^2\,\mathrm{sen}\,(2M)$
Longitud verdadera: $L_v = v + \varpi$
Distancia al Sol :

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

Velocidad de traslación:

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

que viene expresada en UA/año; para pasar a otras unidades téngase en cuenta que: 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). Valores suficientemente 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:

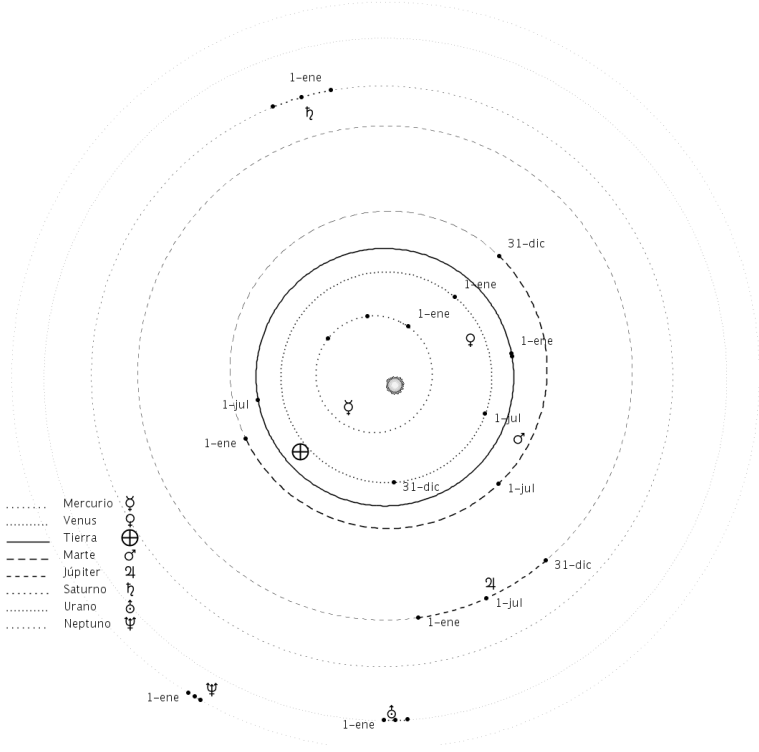
Planeta	Longitud media L	Longitud del perihelio ϖ
Mercurio	$131^{\circ}_{,}18 + 4^{\circ}_{,}09232\,d$	$77^{\circ}_{,}473$
Venus	$137^{\circ}_{,}74 + 1^{\circ}_{,}60213\,d$	$131^{\circ}_{,}983 - 0^{\circ}_{,}00096\,d$
Tierra+Luna	$99^{\circ}_{,}66 + 0^{\circ}_{,}98560\,d$	$103^{\circ}_{,}034$
Marte	$300^{\circ}_{,}48 + 0^{\circ}_{,}52404\,d$	$336^{\circ}_{,}127$
Júpiter	$8^{\circ}_{,}14 + 0^{\circ}_{,}08308\,d$	$14^{\circ}_{,}466$
Saturno	$184^{\circ}_{,}45 + 0^{\circ}_{,}03335\,d$	$89^{\circ}_{,}821 + 0^{\circ}_{,}00226\,d$
Urano	$0^{\circ}_{,}38 + 0^{\circ}_{,}01200\,d$	$169^{\circ}_{,}742 - 0^{\circ}_{,}00274\,d$
Neptuno	$329^{\circ}_{,}08 + 0^{\circ}_{,}00614\,d$	$24^{\circ}_{,}019 + 0^{\circ}_{,}03660\,d$

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)

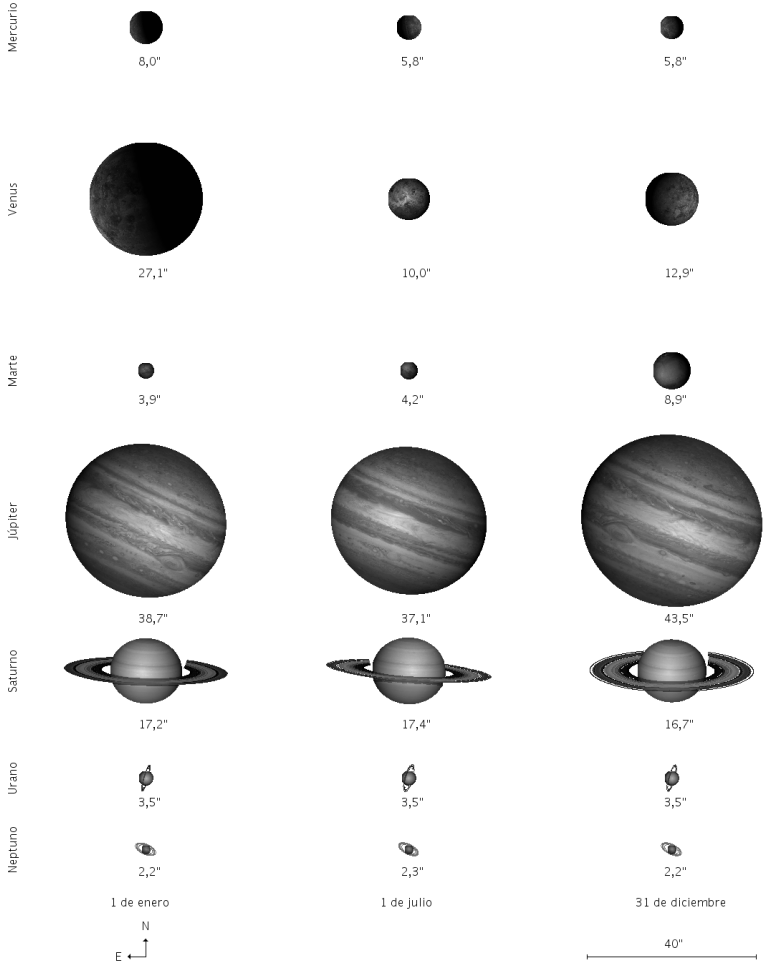
Posición heliocéntrica de los planetas

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

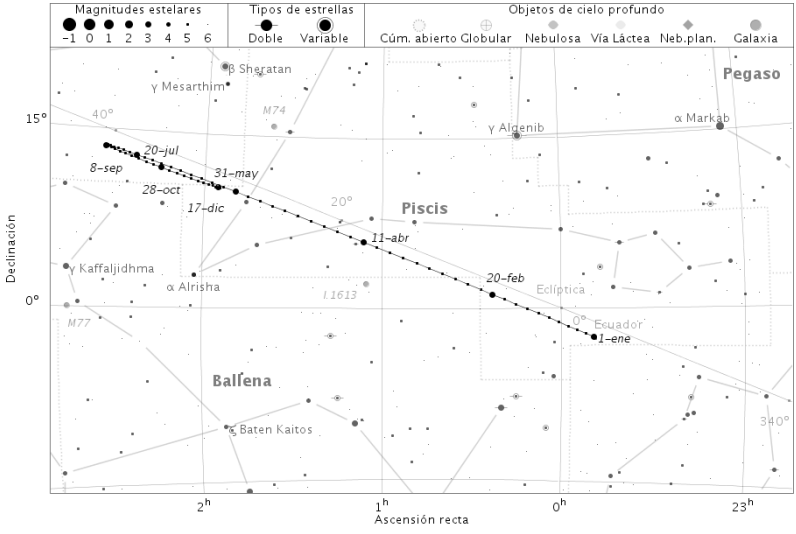
Aspecto aparente de los planetas los días 1 de enero, 1 de julio y 31 de diciembre, a las cero horas de Tiempo Universal. Las figuras están dibujadas a escala y orientadas con el Norte hacia arriba y el Este a la izquierda. Los valores que aparecen debajo de cada figura corresponden a los diámetros ecuatoriales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



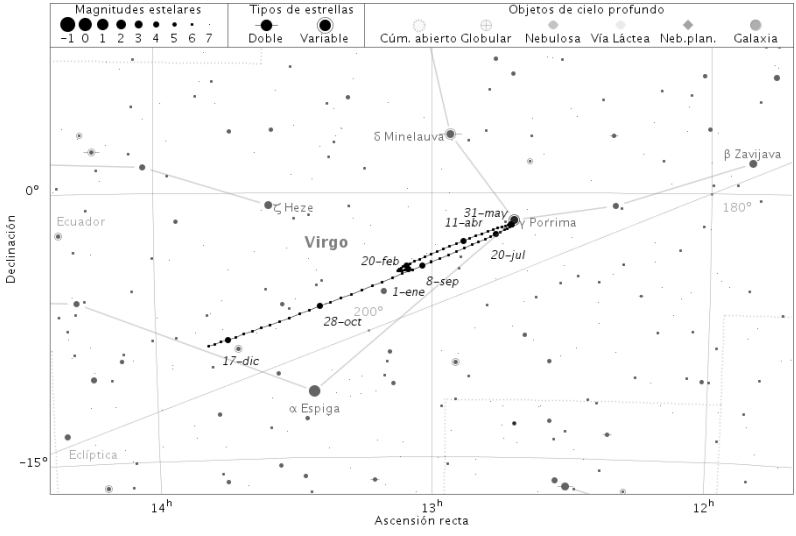
Trayectorias de los planetas a lo largo del año

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

Júpiter

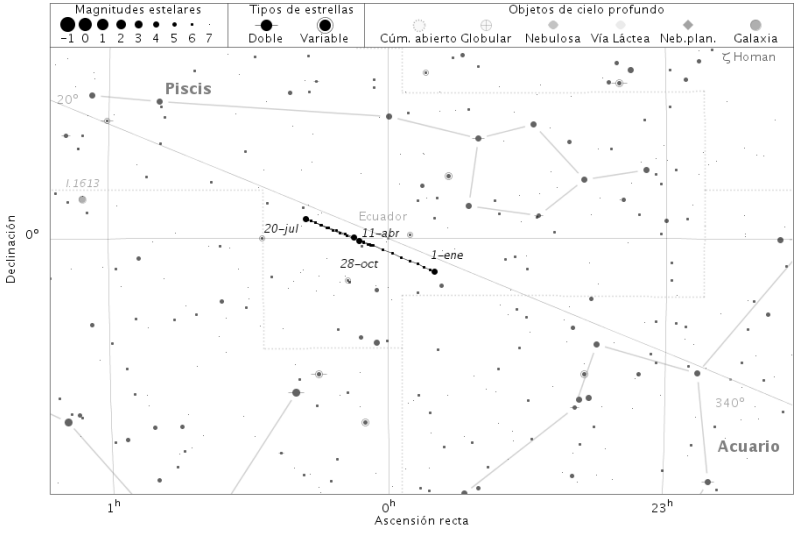


Saturno

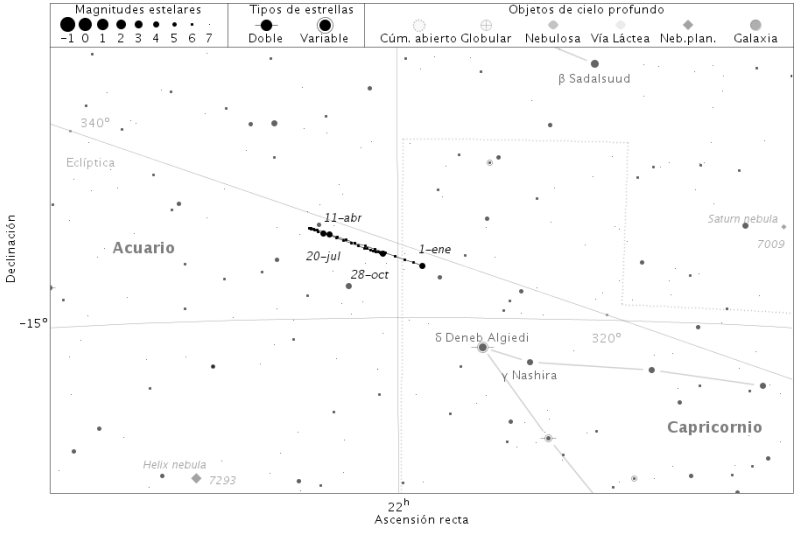


En el caso de Urano y Neptuno la separación en los puntos de la trayectoria es de 10 días con fechas cada 100 días.

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 167 satélites naturales orbitando alrededor de los planetas principales del sistema solar.

Planeta	Número de satélites
Mercurio	0
Venus	0
Tierra	1
Marte	2
Júpiter	62
Saturno	62
Urano	27
Neptuno	13

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 Urano, 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 Urano, su equivalente griego Posidón o con los océanos, como son las Nereidas.

Aclaraciones sobre las tablas

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^{17} kg (10^{20} 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 precedida de la letra R que indica que se trata de la magnitud en rojo. No se indican magnitudes mayores que 20.

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 0,15 para los de Neptuno.

Elementos orbitales y datos físicos de los satélites

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentri–cidad	inclina–ción (°)	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	01′ 03′′
Júpiter:						
I	Io	421,8	5,90	0,0041	0,036	02′ 19′′
II	Europa	671,1	9,39	0,0094	0,466	03′ 41′′
III	Ganimedes	1070,4	14,97	0,0013	0,177	05′ 52′′
IV	Calisto	1882,7	26,33	0,0074	0,192	10′ 19′′
V	Amaltea	181,4	2,54	0,0032	0,380	01′ 00′′
VI	Himalia	11461	160,31	0,1623	27,496	1° 02′ 46′′
VII	Elara	11741	164,23	0,2174	26,627	1° 04′ 18′′
VIII	Pasífae	23624	330,44	0,4090	151,431	2° 09′ 20′′
IX	Sinope	23939	334,85	0,2495	158,109	2° 11′ 04′′
X	Lisitea	11717	163,89	0,1124	28,302	1° 04′ 10′′
XI	Carme	23404	327,37	0,2533	164,907	2° 08′ 08′′
XII	Ananké	21276	297,60	0,2435	148,889	1° 56′ 30′′
XIII	Leda	11165	156,17	0,1636	27,457	1° 01′ 09′′
XIV	Tebe	221,9	3,10	0,0176	1,080	01′ 13′′
XV	Adrastea	129	1,80	0,0018	0,054	42′′
XVI	Metis	128	1,79	0,0012	0,019	42′′
XVII	Calírroe	24102	337,13	0,2829	147,155	2° 11′ 57′′
XVIII	Temisto	7507	105,00	0,2424	43,068	41′ 07′′
XIX	Megaclite	23808	333,02	0,4211	152,845	2° 10′ 21′′
XX	Táigete	23363	326,79	0,2518	165,241	2° 07′ 55′′
XXI	Caldona	23179	324,22	0,2514	165,171	2° 06′ 54′′
XXII	Harpálice	21104	295,19	0,2261	148,648	1° 55′ 33′′
XXIII	Cálice	23564	329,60	0,2464	165,181	2° 09′ 01′′
XXIV	Yocasta	21272	297,54	0,2151	149,436	1° 56′ 28′′
XXV	Erínome	23283	325,67	0,2656	164,921	2° 07′ 28′′
XXVI	Isonoe	23231	324,95	0,2465	165,252	2° 07′ 11′′
XXVII	Praxídice	21148	295,81	0,2302	148,985	1° 55′ 48′′
XXVIII	Autónoe	24033	336,16	0,3166	152,284	2° 11′ 35′′
XXIX	Tione	21192	296,42	0,2377	148,819	1° 56′ 02′′
XXX	Hermipé	21300	297,94	0,2123	150,887	1° 56′ 38′′
XXXI	Aitné	23315	326,12	0,2655	165,058	2° 07′ 39′′
XXXII	Eurídome	23148	323,78	0,2758	150,206	2° 06′ 44′′
XXXIII	Euante	21038	294,27	0,2308	148,998	1° 55′ 12′′
XXXIV	Euporia	19339	270,51	0,1440	145,499	1° 45′ 54′′
XXXV	Ortosia	21164	296,03	0,2780	145,937	1° 55′ 53′′

Elementos orbitales

planeta		semieje mayor		excentri–	inclina–	máxima
	satélite	(10^3 km)	(en R_P)	cidad	ción (°)	elongac.
XXXVI	Sponde	23790	332,76	0,3132	151,153	2° 10′ 15″
XXXVII	Cale	23302	325,94	0,2521	165,072	2° 07′ 35″
XXXVIII	Pasítea	23090	322,97	0,2668	165,033	2° 06′ 25″
XXXIX	Hegémone	23566	329,63	0,3439	153,977	2° 09′ 01″
XL	Mneme	21036	294,24	0,2271	148,630	1° 55′ 11″
XLI	Aoede	23969	335,27	0,4324	158,253	2° 11′ 14″
XLII	Telxínoe	21165	296,05	0,2194	151,335	1° 55′ 53″
XLIII	Arque	23355	326,68	0,2555	164,937	2° 07′ 52″
XLIV	Calicore	23273	325,53	0,2424	165,121	2° 07′ 25″
XLV	Hélice	21064	294,63	0,1467	154,621	1° 55′ 20″
XLVI	Carpo	17078	238,88	0,4436	51,157	1° 33′ 31″
XLVII	Eucelade	23322	326,22	0,2670	165,246	2° 07′ 41″
XLVIII	Cilene	23787	332,72	0,4175	150,202	2° 10′ 14″
XLIX	Core	24486	342,50	0,3315	145,043	2° 14′ 03″
L	Herse	23405	327,38	0,2493	164,815	2° 08′ 08″
	S/2003 J2	28332	396,30	0,4114	157,106	2° 35′ 05″
	S/2003 J3	20230	282,97	0,2027	147,772	1° 50′ 46″
	S/2003 J4	23928	334,69	0,3558	149,316	2° 11′ 00″
	S/2003 J5	23493	328,61	0,2459	165,278	2° 08′ 37″
	S/2003 J9	23385	327,10	0,2641	165,155	2° 08′ 02″
	S/2003 J10	23042	322,30	0,4284	165,224	2° 06′ 09″
	S/2003 J12	17835	249,47	0,4884	150,827	1° 37′ 40″
	S/2003 J15	22622	316,43	0,1868	146,405	2° 03′ 51″
	S/2003 J16	20948	293,01	0,2309	148,631	1° 54′ 42″
	S/2003 J18	20494	286,66	0,1016	146,007	1° 52′ 13″
	S/2003 J19	23532	329,16	0,2620	165,174	2° 08′ 50″
	S/2003 J23	23549	329,39	0,2702	146,267	2° 08′ 56″
Saturno:						
I	Mimas	185,539	3,08	0,0196	1,574	30″
II	Encélado	238,037	3,95	0,0047	0,009	39″
III	Tetis	294,672	4,89	0,0001	1,091	48″
IV	Dione	377,415	6,26	0,0022	0,028	01′ 01″
V	Rea	527,068	8,75	0,0010	0,333	01′ 25″
VI	Titán	1221,865	20,27	0,0288	0,312	03′ 18″
VII	Hiperión	1500,934	24,90	0,0232	0,615	04′ 03″
VIII	Jápeto	3560,851	59,08	0,0293	8,313	09′ 37″
IX	Febe	12947,913	214,84	0,1634	175,243	35′ 00″
X	Jano	151,46	2,51	0,0068	0,163	25″
XI	Epimeteo	151,41	2,51	0,0098	0,351	25″
XII	Helena	377,42	6,26	0,0071	0,213	01′ 01″
XIII	Telesto	294,71	4,89	0,0002	1,180	48″
XIV	Calipso	294,71	4,89	0,0005	1,499	48″
XV	Atlas	137,67	2,28	0,0012	0,003	22″
XVI	Prometeo	139,38	2,31	0,0022	0,008	23″

Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10^3 km)	semieje mayor (en R_P)	excentri–cidad	inclina–ción (°)	máxima elongac.
XVII	Pandora	141,72	2,35	0,0042	0,050	23″
XVIII	Pan	133,58	2,22	∼0	0,001	22″
XIX	Ymir	23140,4	383,96	0,3337	171,661	1° 02′ 32″
XX	Paaliaq	15024	249,29	0,5402	41,770	40′ 36″
XXI	Tarvos	18263,2	303,03	0,5309	35,949	49′ 21″
XXII	Ijiraq	11367,4	188,61	0,4580	47,123	30′ 43″
XXIII	Suttungr	19476,7	323,17	0,1139	173,888	52′ 38″
XXIV	Kiviuq	11311,1	187,68	0,1642	48,525	30′ 34″
XXV	Mundilfari	18667,9	309,75	0,2051	169,206	50′ 27″
XXVI	Albiorix	16401,1	272,14	0,4838	35,511	44′ 20″
XXVII	Skadi	15614,3	259,08	0,2939	150,798	42′ 12″
XXVIII	Erriapo	17611,4	292,22	0,4676	38,649	47′ 36″
XXIX	Siarnaq	18015,4	298,92	0,4052	44,507	48′ 41″
XXX	Thrymr	20439,6	339,15	0,4655	173,656	55′ 14″
XXXI	Narvi	19417,3	322,18	0,4261	143,242	52′ 29″
XXXII	Metone	194,44	3,23	0,0001	0,007	32″
XXXIII	Palene	212,28	3,52	0,0040	0,181	34″
XXXIV	Pólux	377,2	6,26	0,0192	0,177	01′ 01″
XXXV	Dafnis	136,5	2,26	∼0	∼0	22″
XXXVI	Ægir	20749,8	344,29	0,2524	167,106	56′ 05″
XXXVII	Bébhionn	17117,8	284,03	0,4840	34,563	46′ 16″
XXXVIII	Bergelmir	19338,3	320,87	0,1417	158,919	52′ 16″
XXXIX	Bestla	20278	336,46	0,4738	141,739	54′ 48″
XL	Fárbauti	20387	338,27	0,2453	158,045	55′ 06″
XLI	Fenrir	22454,8	372,58	0,1332	164,444	1° 00′ 41″
XLII	Fornjót	25151,2	417,32	0,2102	169,697	1° 07′ 58″
XLIII	Hati	19775	328,12	0,3728	164,955	53′ 27″
XLIV	Hyrokkin	18437,3	305,92	0,3288	151,245	49′ 50″
XLV	Kári	22077,1	366,32	0,4842	155,902	59′ 40″
XLVI	Loge	23065,5	382,72	0,1881	167,162	1° 02′ 20″
XLVII	Skoll	17663,3	293,08	0,4704	160,178	47′ 44″
XLVIII	Surtur	22920,4	380,31	0,4466	169,141	1° 01′ 56″
XLIX	Antea	0,2		0,001	0,1	
L	Járnsaxa	19356,4	321,17	0,2171	163,322	52′ 19″
LI	Greip	18442,2	306,00	0,3160	173,343	49′ 50″
LII	Tarqeq	17909,9	297,17	0,1186	49,572	48′ 24″
LIII	Ægeon					
	S/2004 S7	21005,8	348,54	0,5295	164,862	56′ 46″
	S/2004 S12	19867,5	329,65	0,3228	163,309	53′ 42″
	S/2004 S13	18408,7	305,45	0,2604	169,079	49′ 45″
	S/2004 S17	19449,9	322,72	0,1810	167,968	52′ 34″
	S/2006 S1	18797,4	311,90	0,1183	154,990	50′ 48″
	S/2006 S3	22100,1	366,70	0,4042	158,904	59′ 43″
	S/2007 S2	16723,3	277,48	0,1778	175,643	45′ 12″

Elementos orbitales

planeta		semieje mayor		excentri–	inclina–	máxima
	satélite	(10^3 km)	(en R_P)	cidad	ción (°)	elongac.
	S/2007 S3 S/2009 S1	18981,9	314,96	0,1847	175,704	51′ 18″
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	04″
VII	Ofelia	53,8	2,10	0,0099	0,104	04″
VIII	Bianca	59,2	2,32	0,0009	0,193	04″
IX	Cresida	61,8	2,42	0,0004	0,006	05″
X	Desdémona	62,7	2,45	0,0001	0,113	05″
XI	Julieta	64,4	2,52	0,0007	0,065	05″
XII	Porcia	66,1	2,59	0,0001	0,059	05″
XIII	Rosalinda	69,9	2,73	0,0001	0,279	05″
XIV	Belinda	75,3	2,95	0,0001	0,031	06″
XV	Puck	86	3,36	0,0001	0,319	06″
XVI	Calibán	7231,1	282,92	0,1812	141,529	09′ 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	Trínculo	8505,2	332,77	0,2194	166,971	10′ 43″
XXII	Francisco	4282,9	167,57	0,1324	147,250	05′ 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	06″
XXVI	Mab	97,736	3,82	0,0025	0,134	07″
XXVII	Cupido	74,392	2,91	0,0013	0,099	06″
Neptuno:						
I	Tritón	354,759	14,33	∼0	156,865	17″
II	Nereida	5513,818	222,65	0,7507	7,090	04′ 20″
III	Náyade	48,227	1,95	0,0003	4,691	02″
IV	Talasa	50,074	2,02	0,0002	0,135	02″
V	Despina	52,526	2,12	0,0002	0,068	02″
VI	Galatea	61,953	2,50	0,0001	0,034	03″
VII	Larisa	73,548	2,97	0,0014	0,205	03″
VIII	Proteo	117,646	4,75	0,0005	0,075	06″
IX	Halimede	16611	670,77	0,2646	112,712	13′ 04″
X	Psámate	48096	1942,17	0,3809	126,312	37′ 49″
XI	Sao	22228	897,59	0,1365	53,483	17′ 29″
XII	Laomedea	23567	951,66	0,3969	37,874	18′ 32″
XIII	Neso	49285	1990,19	0,5714	136,439	38′ 45″

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
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 729		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 729		2001 SJK
XXXVIII	Pasítea	R 719		2001 SJK

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XXXIX	Hegémone	R 623		2003 S.S.Sheppard
XL	Mneme	R 613		2003 Sheppard,Glad.
XLI	Aoede	R 714		2003 S.S.Sheppard
XLII	Telxínoe	R 628		2003 Sheppard,Glad.
XLIII	Arque	R 724		2002 S.S.Sheppard
XLIV	Calicore	R 703		2003 S.S.Sheppard
XLV	Hélice	R 617		2003 S.S.Sheppard
XLVI	Carpo	454		2003 S.S.Sheppard
XLVII	Eucelade	R 748		2003 S.S.Sheppard
XLVIII	Cilene	R 743		2003 S.S.Sheppard
XLIX	Core	R 761		2003 S.S.Sheppard
L	Herse	R 709		2003 B.Gladman
	S/2003 J2	R 889		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J3	R 490		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J4	R 547		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J5	R 781		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J9	R 713		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J10	R 625		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J12	R 536		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J15	R 678		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J16	R 598		2003 B.Gladman
	S/2003 J18	R 512		2003 B.Gladman
	S/2003 J19	R 729		2003 B.Gladman
	S/2003 J23	R 732		2003 Sheppard et al
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
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		2000 B.Gladman
XX	Paaliaq	686		2000 B.Gladman

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XXI	Tarvos	926		2000 KG
XXII	Ijiraq	451		2000 KG
XXIII	Suttungr	R 1017		2000 GK
XXIV	Kiviuq	449		2000 B.Gladman
XXV	Mundilfari	R 952		2000 GK
XXVI	Albiorix	783		2000 Holman et al
XXVII	Skadi	R 728		2000 KG
XXVIII	Erriapo	871		2000 KG
XXIX	Siarnaq	896		2000 Gladman et al
XXX	Thrymr	R 1092		2000 GK
XXXI	Narvi	R 956		2003 S.S.Sheppard
XXXII	Metone	1,01		2004 C.C.Porco et al
XXXIII	Palene	1,14		2004 C.C.Porco et al
XXXIV	Pólux	2,74		2004 C.C.Porco et al
XXXV	Dafnis	0,59		2005 C.C.Porco et al
XXXVI	Ægir	R 1118		2005 D.Jewitt et al
XXXVII	Bébhionn	835		2005 D.Jewitt et al
XXXVIII	Bergelmir	R 1006		2005 D.Jewitt et al
XXXIX	Bestla	R 1089		2005 D.Jewitt et al
XL	Fárbauti	R 1086		2005 D.Jewitt et al
XLI	Fenrir	R 1260		2005 D.Jewitt et al
XLII	Fornjót	R 1494		2005 D.Jewitt et al
XLIII	Hati	R 1039		2005 D.Jewitt et al
XLIV	Hyrokkin	R 932		2006 D.Jewitt et al
XLV	Kári	R 1231		2006 D.Jewitt et al
XLVI	Loge	R 1311		2006 D.Jewitt et al
XLVII	Skoll	R 878		2006 D.Jewitt et al
XLVIII	Surtur	R 1297		2006 D.Jewitt et al
XLIX	Antea	1,04		2007 Cassini Team
L	Járnsaxa	R 965		2006 D.Jewitt et al
LI	Greip	R 921		2006 D.Jewitt et al
LII	Tarqeq	887		2007 D.Jewitt et al
LIII	Ægeon			2008 Cassini Team
	S/2004 S07	R 1140		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S12	R 1046		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S13	R 933		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S17	R 1015		2005 D.Jewitt et al
	S/2006 S1	R 963		2006 D.Jewitt et al
	S/2006 S3	R 1227		2006 D.Jewitt et al
	S/2007 S2	R 808		2007 D.Jewitt et al
	S/2007 S3	R 978		2007 D.Jewitt et al
	S/2009 S1			2008 Cassini Team
Urano:				
I	Ariel	2,520379	sincr.	1851 W.Lassell
II	Umbriel	4,144177	sincr.	1851 W.Lassell

Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
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
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	0.618		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 1874		2002 Holman et al
X	Psámate	R 8863		2003 JKS
XI	Sao	2919		2002 Holman et al
XII	Laomedea	2982		2002 Holman et al
XIII	Neso	R 9136		2002 HG

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
Tierra:						
	Luna	3476	735	3,34	−12,74	0,12
Marte:						
I	Fobos	27×22×19	10^{-4}	1,7	11,4	0,07
II	Deimos	15×12×11	$2\ 10^{-5}$	1,8	12,4	0,07
Júpiter:						
I	Io	3643	893	3,55	5,0	0,63
II	Europa	3122	480	2,95	5,3	0,67
III	Ganimedes	5262	1482	1,94	4,6	0,43
IV	Calisto	4821	1076	1,86	5,6	0,17
V	Amaltea	167	0,028	2,1	14,1	0,09
VI	Himalia	∼170	0,067	2,6	14,8	0,04
VII	Elara	∼86	0,009	2,6	16,8	0,04
VIII	Pasífae	∼60	0,003	2,6	17,0	0,04
IX	Sinope	∼38	0,001	2,6	18,3	0,04
X	Lisitea	∼36	0,001	2,6	18,4	0,04
XI	Carme	∼46	0,001	2,6	18,0	0,04
XII	Ananké	∼28		2,6	18,9	0,04
XIII	Leda	∼20		2,6	20,2	0,04
XIV	Tebe	99	0,015		15,7	0,05
XV	Adrastea	25×20×15			19,1	∼ 0,1
XVI	Metis	43	0,001		17,5	0,06
XVII	Calírroe	∼9				
XVIII	Temisto	∼8				
XIX	Megaclite	∼5				
XX	Táigete	∼5				
XXI	Caldona	∼4				
XXII	Harpálice	∼4				
XXIII	Cálice	∼5				
XXIV	Yocasta	∼5				
XXV	Erínome	∼3				
XXVI	Isonoe	∼4				
XXVII	Praxídice	∼7				
XXVIII	Autónoe	∼4				
XXIX	Tione	∼4				
XXX	Hermipé	∼4				
XXXI	Aitné	∼3				
XXXII	Eurídome	∼3				
XXXIII	Euante	∼3				
XXXIV	Euporia	∼2				
XXXV	Ortosia	∼2				
XXXVI	Sponde	∼2				
XXXVII	Cale	∼2				
XXXVIII	Pasítea	∼2				

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
XXXIX	Hegémone	∼3				
XL	Mneme	∼2				
XLI	Aoede	∼4				
XLII	Telxínoe	∼2				
XLIII	Arque	∼3				
XLIV	Calicore	∼2				
XLV	Hélice	∼4				
XLVI	Carpo	∼3				
XLVII	Eucelade	∼4				
XLVIII	Cilene	∼2				
XLIX	Core	∼2				
L	Herse	∼2				
	S/2003 J2	∼2				
	S/2003 J3	∼2				
	S/2003 J4	∼2				
	S/2003 J5	∼4				
	S/2003 J9	∼1				
	S/2003 J10	∼2				
	S/2003 J12	∼1				
	S/2003 J15	∼2				
	S/2003 J16	∼2				
	S/2003 J18	∼2				
	S/2003 J19	∼2				
	S/2003 J23	∼2				
Saturno:						
I	Mimas	397	0,38	1,4	12,9	0,5
II	Encélado	499	0,86	1,1	11,7	1,0
III	Tetis	1060	6,2	1,19	10,2	0,9
IV	Dione	1118	11,0	1,43	10,4	0,7
V	Rea	1528	23	1,33	9,7	0,7
VI	Titán	5150	1346	1,89	8,3	0,2
VII	Hiperión	266	0,11	1,4	14,2	0,3
VIII	Jápeto	1436	19,7	1,17	11,1	0,6
IX	Febe	≃220	0,072		16,5	0,1
X	Jano	178	0,019		14,5	0,8
XI	Epimeteo	119	0,005		15,7	0,8
XII	Helena	≃ 32			18,4	0,7
XIII	Telesto	≃ 24			18,5	0,5
XIV	Calipso	≃ 19			18,7	0,6
XV	Atlas	≃ 32			18,0	0,9
XVI	Prometeo	≃ 100	0,003		15,8	0,6
XVII	Pandora	83	0,002		16,5	0,9
XVIII	Pan	≃ 20			19,0	0,5
XIX	Ymir	∼16				
XX	Paaliaq	∼19				

Datos físicos y fotométricos

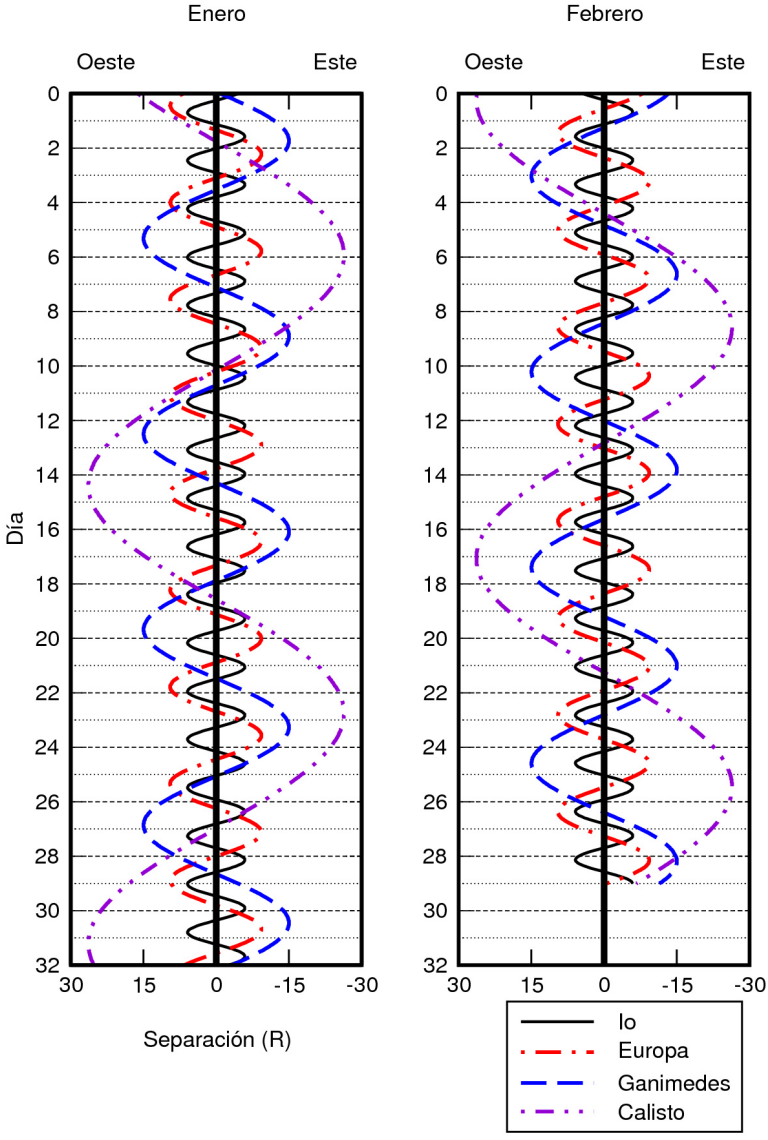
planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
XXI	Tarvos	∼13				
XXII	Ijiraq	∼10				
XXIII	Suttungr	∼5				
XXIV	Kiviuq	∼14				
XXV	Mundilfari	∼5				
XXVI	Albiorix	∼26				
XXVII	Skadi	∼6				
XXVIII	Erriapo	∼9				
XXIX	Siarnaq	∼32				
XXX	Thrymr	∼5				
XXXI	Narvi	∼7				
XXXII	Metone	∼6				
XXXIII	Palene	∼8				
XXXIV	Pólux	∼8				
XXXV	Dafnis	∼6				
XXXVI	Ægir	∼6				
XXXVII	Bébhionn	∼6				
XXXVIII	Bergelmir	∼6				
XXXIX	Bestla	∼6				
XL	Fárbauti	∼6				
XLI	Fenrir	∼4				
XLII	Fornjót	∼6				
XLIII	Hati	∼6				
XLIV	Hyrokkin					
XLV	Kári					
XLVI	Loge					
XLVII	Skoll					
XLVIII	Surtur					
XLIX	Antea	∼2				
L	Járnsaxa					
LI	Greip					
LII	Tarqeq					
LIII	Ægeon					
	S/2004 S07	∼6				
	S/2004 S12	∼6				
	S/2004 S13	∼6				
	S/2004 S17	∼4				
	S/2006 S1					
	S/2006 S3					
	S/2007 S2					
	S/2007 S3					
	S/2009 S1					
Urano:						
I	Ariel	1158	13,5	1,66	13,7	0,39
II	Umbriel	1169	11,7	1,39	14,5	0,21

Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa (10^{20} kg)	densidad (g cm^{-3})	magn. oposic.	albedo geom.
III	Titania	1578	35,3	1,70	13,5	0,27
IV	Oberón	1523	30,1	1,62	13,7	0,23
V	Miranda	472	0,7	1,2	15,8	0,32
VI	Cordelia	40				
VII	Ofelia	43				
VIII	Bianca	51				
IX	Cresida	80	0,003			
X	Desdémona	64	0,002			
XI	Julieta	94	0,006			
XII	Porcia	135	0,017			
XIII	Rosalinda	$\simeq$72	0,003			
XIV	Belinda	$\simeq$81	0,004			
XV	Puck	162	0,029			
XVI	Calibán	$\sim$98	0,007			
XVII	Sícorax	$\sim$190	0,054			
XVIII	Próspero	$\sim$30				
XIX	Setebos	$\sim$30				
XX	Esteban	$\sim$20				
XXI	Trínculo	$\sim$10				
XXII	Francisco	$\sim$12				
XXIII	Margarita	$\sim$12				
XXIV	Fernando	$\sim$12				
XXV	Perdita	$\sim$80				
XXVI	Mab	$\sim$32				
XXVII	Cupido	$\sim$24				
Neptuno:						
I	Tritón	2707	214	2,07	13,5	0,76
II	Nereida	340	0,3	1	18,7	0,15
III	Náyade	66	0,002			0,07
IV	Talasa	82	0,004			0,09
V	Despina	150	0,021			0,09
VI	Galatea	176	0,037			0,08
VII	Larisa	194	0,049			0,09
VIII	Proteo	420	0,504			0,09
IX	Halimede	$\sim$48				
X	Psámate	$\sim$28				
XI	Sao	$\sim$48				
XII	Laomedea	$\sim$48				
XIII	Neso	$\sim$60				

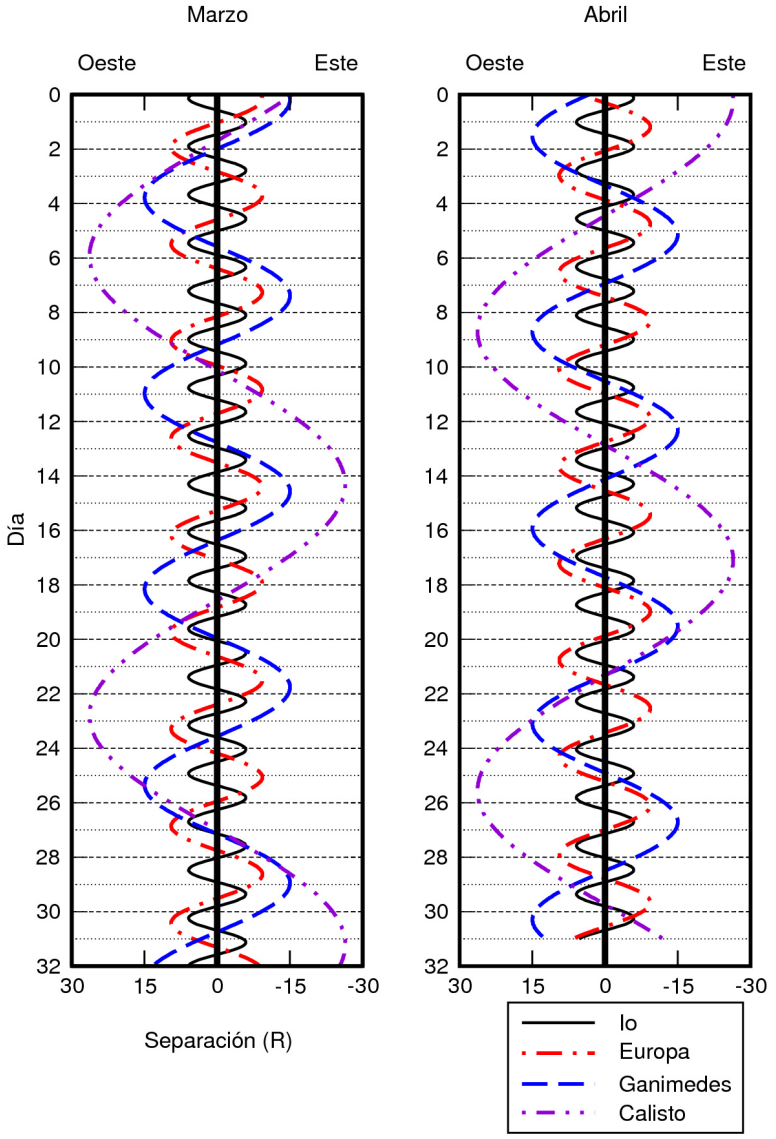
Posiciones relativas de los satélites galileanos de Júpiter

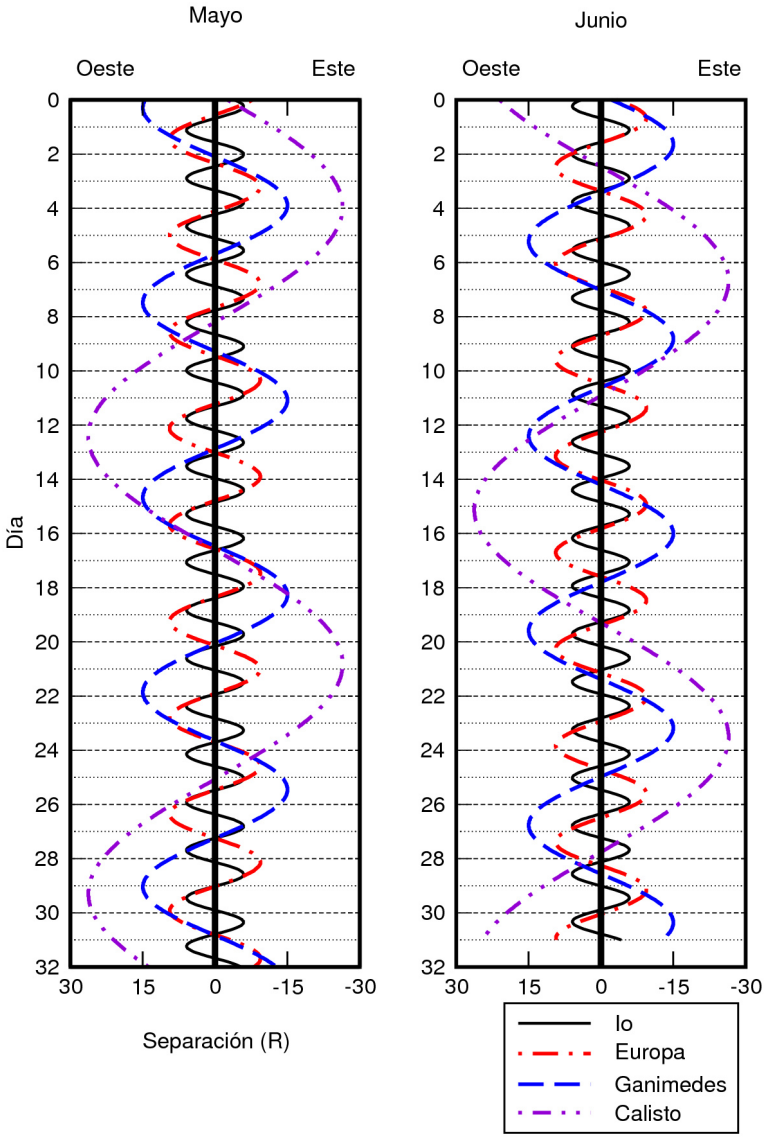
De mayor a menor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Calisto, Ganimedes, Europa e Io.

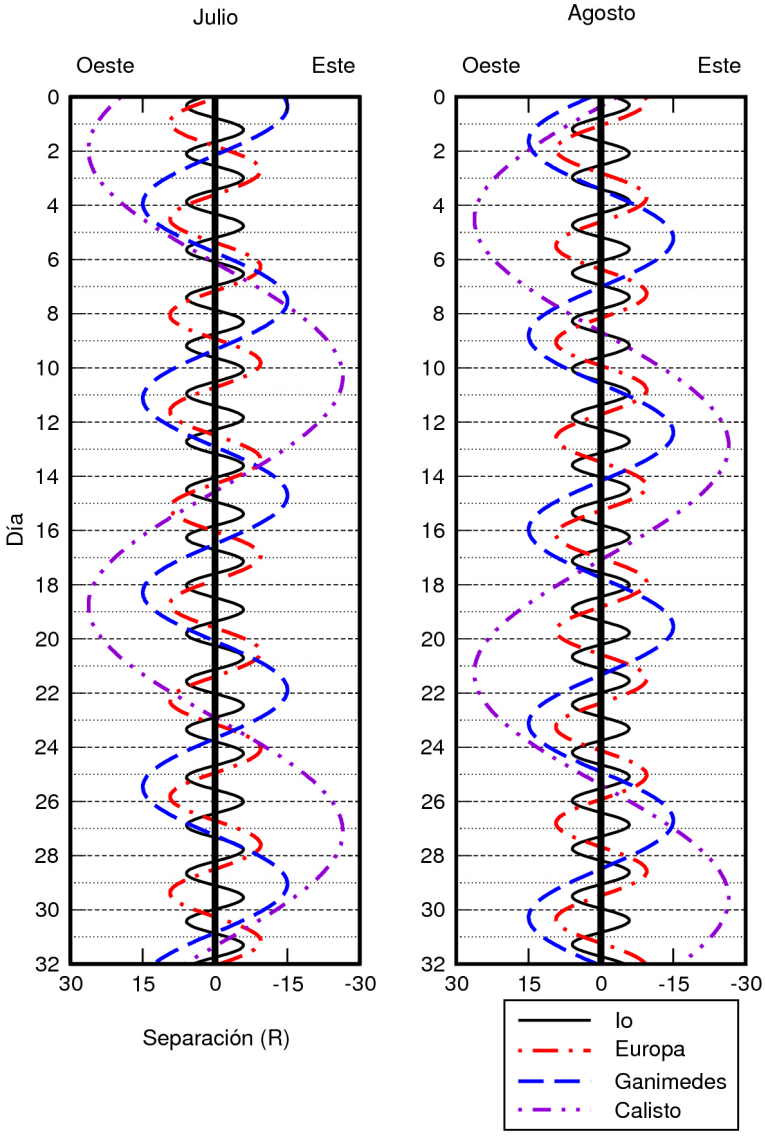


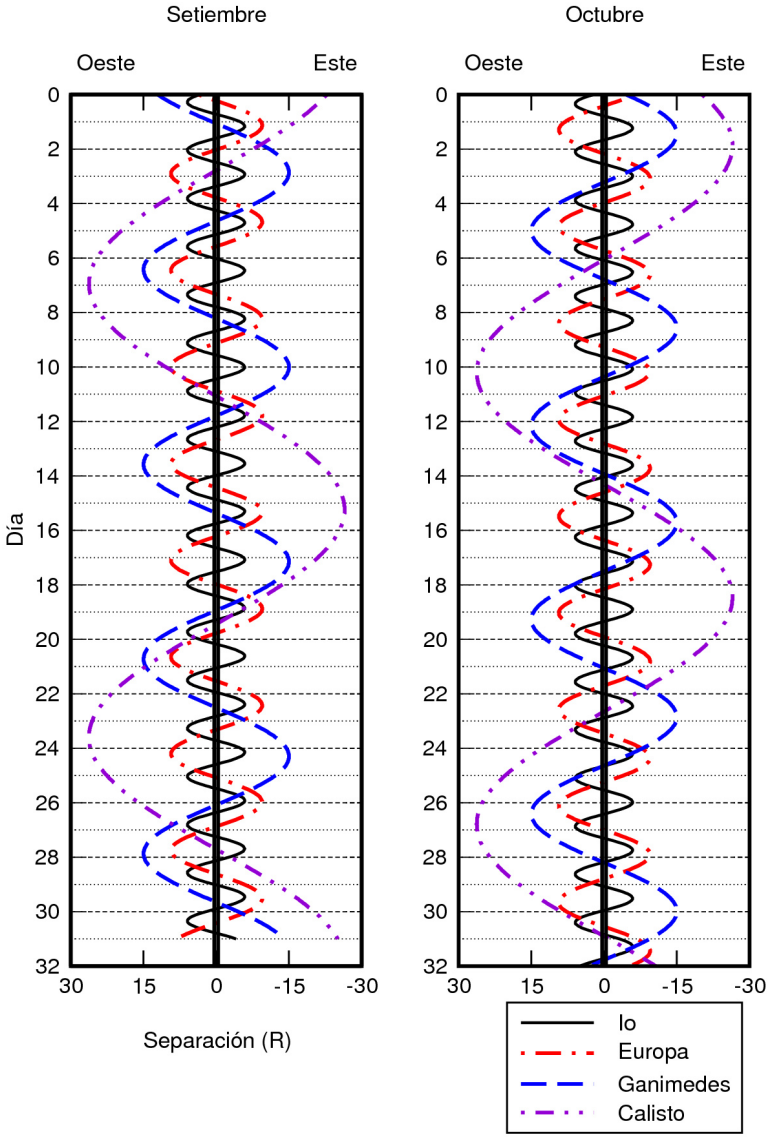
Obsérvese que Oeste y Este están colocados como se ven en un telescopio y al revés de como se ven con unos prismáticos.

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

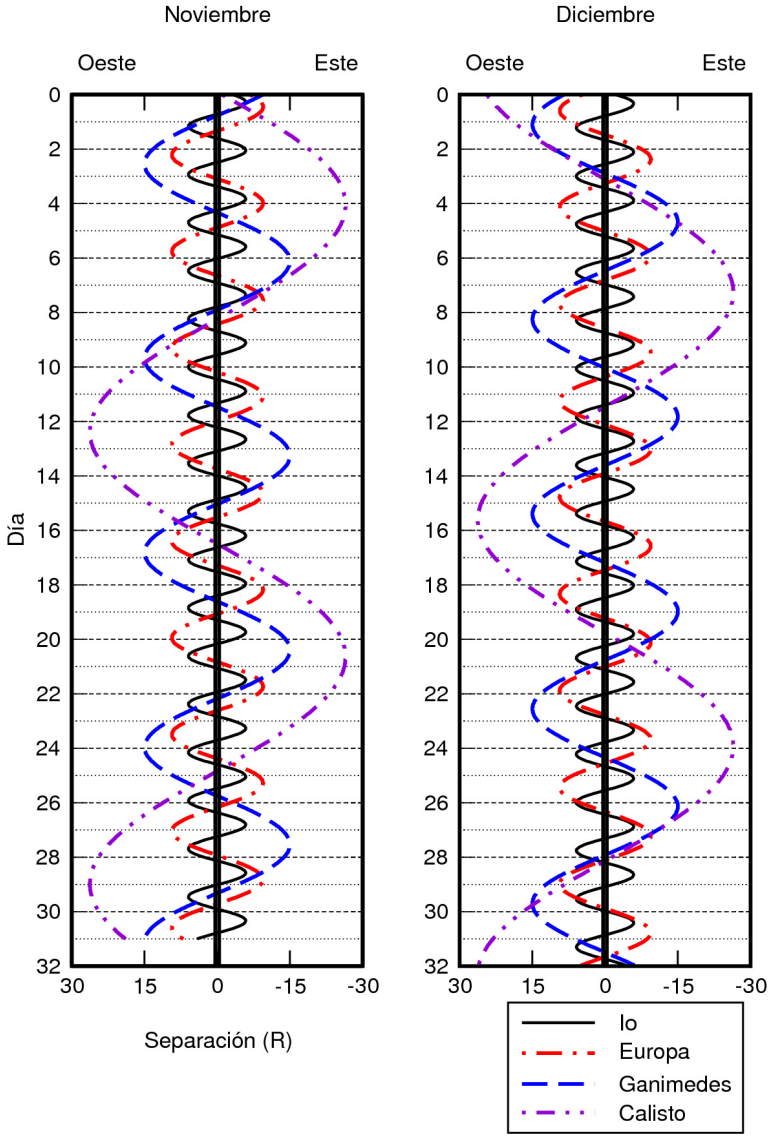

Noviembre
Diciembre
Oeste
Este
Oeste
Este
Día
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
30
15
0
-15
-30
Separación (R)
Io
Europa
Ganimedes
Calisto

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	$2063\ 10^3$	$1316\ 10^7$

OBJETOS MENORES DEL SISTEMA SOLAR

Planetas enanos
    Elementos orbitales y parámetros físicos
    Efemérides
Asteroides
    Efemérides de los asteroides principales
Cometas
Lluvias de meteoros

Estadísticas de objetos menores

Número de objetos conocidos de distinto tipo en octubre de 2010:

Planetas enanos:	5
Satélites de los planetas enanos:	6
Asteroides numerados:	$\sim$230 000
Asteroides nombrados:	$\sim$15 500
Ritmo anual de descubrimiento de asteroides:	$\sim$30 000
Asteroides potencialmente peligrosos:	1 087
Objetos Atenas ($Q > 0{,}983$ UA, $a < 1$ UA):	551
Objetos Apolo ($q < 1{,}017$ UA, $a > 1$ UA):	3 355
Objetos Amor ($1{,}017 < q < 1{,}3$ UA):	2 802
Objetos Centauro (entre Júpiter y Neptuno):	256
Objetos transneptunianos:	1 130
Cometas conocidos:	$\sim$ 3400
Cometas de corto periodo numerados:	245
Ritmo de descubrimiento de cometas:	$\sim$ 220 por año
Masa total de los asteroides:	$1{,}8\,10^{21}$ kg = 0,0003 $\mathcal{M}_\oplus$
Masa de la nube cometaria de Oort:	$\sim 2\ \mathcal{M}_\oplus$

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, desde junio y setiembre del año 2008, los plutoides Makemake y Haumea.

Elementos orbitales y parámetros físicos

En las páginas 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. Para tenerla en días basta multiplicar por 365,25. Un *día* corresponde a exactamente 86 400 segundos.

La explicación de las distintas magnitudes de 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,°089	110,°377	222,°974	112,°597
Eris	44,°179	35,°874	151,°506	187,°380
Makemake	28,°998	79,°597	298,°410	378,°007
Haumea	28,°225	122,°104	239,°360	361,°464

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	39,4451	5900,90	0,2502	29,573	49,316
Eris	67,6960	10127,18	0,4409	37,846	97,546
Makemake	45,4823	6804,06	0,1597	38,218	52,746
Haumea	43,0808	6444,80	0,1963	34,624	51,538

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	$0\overset{\circ}{,}214304$	17,882	466,718
Plutón	247,74	$0\overset{\circ}{,}003978$	4,749	366,723
Eris	557,00	$0\overset{\circ}{,}001770$	3,436	365,899
Makemake	306,74	$0\overset{\circ}{,}003213$	4,419	366,437
Haumea	282,77	$0\overset{\circ}{,}003486$	4,484	366,539

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 $\sqrt{2}$.

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	$\sim 0,5$	15,2	0,87	0,0006
Eris	0,9		17,1		0,0002
Makemake	0,8		16,0		0,0005
Haumea	0,7		16,5		0,0005

La constante solar de la Tierra es: 1370 W m^{-2} = 1,96 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.

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)
Ceres	0,076	975	909	0,068	$1\farcs3$	0,0004
Plutón	0,187	2390	= ecuat.	$\sim$0	$3\farcs3$	0,0066
Eris	0,188	2400	= ecuat.	$\sim$0	$3\farcs3$	0,0066
Makemake	$\sim$0,118	$\sim$1500	= ecuat.	$\sim$0	$\sim 2\farcs1$	$\sim 0,002$
Haumea	$\sim$0,157	$\sim$2000	$\sim$1000	$\sim$0,5	$\sim 2\farcs7$	$\sim 0,002$

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^{10} m^3 s^{-2})
Ceres	0,00016	2,2	0,56	6
Plutón	0,00218	1,8	0,61	87
Eris	0,00277	2,3	0,88	110
Makemake	$\sim 0,0007$	~ 2	$\sim 0,5$	~ 27
Haumea	$\sim 0,0007$	2,6	$\sim 0,3$	~ 27

Descubrimiento de los planetas enanos

Ceres:	1 de enero de 1801, por Giuseppe Piazzi (1746–1826) en Palermo.
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.
Eris:	21 de octubre de 2003, por Michael E. Brown, Chad A. Trujillo y David L. Rabinowitz en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU).
Makemake:	31 de marzo de 2005, por Michael E. Brown, Chad A. Trujillo y David L. Rabinowitz en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU).
Haumea:	7 de marzo de 2003, en el Observatorio de Sierra Nevada (España).

Satélites de los planetas enanos

planeta	satélite	diámetro (km)	magn. oposic.	periodo orbital (d)	descubrimiento
Plutón:					
I	Caronte	1186	17,3	6,38725	1978 J.W. Christy
II	Nix	48–132	23,9	∼26	2005 H.A.Weaver et al.
III	Hidra	60–165	24,4	∼38	2005 H.A.Weaver et al.
Eris:					
I	Disnomia	300–400	23,1	∼14	2005 M.Brown y AOT
Haumea:					
I	Hi'iaka	∼310	20,6	49,46	2005 M.Brown y AOT
I	Namaka	∼170	21,9	18,28	2005 M.Brown y AOT

AOT: adaptive-optics team del Observatorio Keck en Mauna Kea

Efemérides

Coordenadas astrométricas, incluyendo perturbaciones planetarias.

CERES 2011
(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	20 09 02,3	−25 59 04	3,863	2,955	6	9,1
Ene	11	20 25 58,6	−25 13 49	3,905	2,959	5	9,1
Ene	21	20 42 50,3	−24 23 24	3,932	2,962	3	9,0
Ene	31	20 59 33,2	−23 28 24	3,943	2,966	2	8,9
Feb	10	21 16 03,4	−22 29 31	3,940	2,969	3	9,0
Feb	20	21 32 16,7	−21 27 37	3,921	2,971	5	9,1
Mar	2	21 48 10,8	−20 23 33	3,888	2,974	6	9,2
Mar	12	22 03 42,7	−19 18 16	3,841	2,976	8	9,2
Mar	22	22 18 49,3	−18 12 48	3,780	2,978	10	9,3
Abr	1	22 33 28,7	−17 08 08	3,706	2,979	12	9,3
Abr	11	22 47 37,9	−16 05 24	3,620	2,981	13	9,3
Abr	21	23 01 13,2	−15 05 44	3,523	2,982	15	9,3
May	1	23 14 11,8	−14 10 15	3,416	2,983	16	9,3
May	11	23 26 28,6	−13 20 16	3,300	2,983	18	9,3
May	21	23 37 58,1	−12 36 58	3,177	2,984	19	9,2
May	31	23 48 34,3	−12 01 41	3,049	2,984	19	9,2
Jun	10	23 58 08,2	−11 35 49	2,917	2,984	20	9,1
Jun	20	00 06 30,3	−11 20 37	2,783	2,983	20	9,0
Jun	30	00 13 29,8	−11 17 22	2,649	2,982	20	8,9
Jul	10	00 18 52,9	−11 27 12	2,519	2,982	19	8,7
Jul	20	00 22 26,8	−11 50 37	2,395	2,980	18	8,6
Jul	30	00 23 58,5	−12 27 39	2,281	2,979	16	8,4
Ago	9	00 23 17,2	−13 17 05	2,181	2,977	14	8,2
Ago	19	00 20 20,6	−14 16 08	2,098	2,975	12	8,1
Ago	29	00 15 15,1	−15 20 26	2,036	2,973	9	7,9
Set	8	00 08 22,2	−16 23 50	1,999	2,970	6	7,7
Set	18	00 00 20,1	−17 19 29	1,988	2,968	5	7,7
Set	28	23 51 57,0	−18 01 14	2,005	2,965	7	7,7
Oct	8	23 44 07,0	−18 24 28	2,049	2,961	10	7,9
Oct	18	23 37 37,9	−18 27 23	2,117	2,958	12	8,1
Oct	28	23 33 03,0	−18 10 23	2,206	2,954	15	8,3
Nov	7	23 30 42,0	−17 35 17	2,312	2,950	17	8,4
Nov	17	23 30 38,6	−16 44 51	2,431	2,946	18	8,6
Nov	27	23 32 47,0	−15 41 44	2,558	2,942	19	8,7
Dic	7	23 36 56,3	−14 28 15	2,691	2,937	20	8,8
Dic	17	23 42 51,7	−13 06 34	2,825	2,932	20	9,0
Dic	27	23 50 18,9	−11 38 16	2,958	2,927	19	9,0

PLUTON 2011

(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	18 21 49,3	−18 49 58	32,932	31,955	0	14,1
Ene	11	18 23 19,2	−18 49 52	32,908	31,961	1	14,1
Ene	21	18 24 45,8	−18 49 30	32,856	31,966	1	14,1
Ene	31	18 26 07,1	−18 48 56	32,777	31,971	1	14,1
Feb	10	18 27 21,2	−18 48 13	32,674	31,977	1	14,2
Feb	20	18 28 26,3	−18 47 22	32,550	31,982	1	14,2
Mar	2	18 29 21,0	−18 46 30	32,409	31,988	2	14,1
Mar	12	18 30 04,0	−18 45 38	32,255	31,993	2	14,1
Mar	22	18 30 34,5	−18 44 51	32,094	31,998	2	14,1
Abr	1	18 30 51,8	−18 44 11	31,928	32,004	2	14,1
Abr	11	18 30 55,8	−18 43 42	31,765	32,009	2	14,1
Abr	21	18 30 46,8	−18 43 26	31,608	32,014	2	14,1
May	1	18 30 25,2	−18 43 26	31,463	32,020	2	14,1
May	11	18 29 52,2	−18 43 42	31,334	32,025	1	14,1
May	21	18 29 09,2	−18 44 14	31,224	32,031	1	14,1
May	31	18 28 17,7	−18 45 05	31,137	32,036	1	14,0
Jun	10	18 27 19,8	−18 46 12	31,077	32,042	1	14,0
Jun	20	18 26 17,6	−18 47 35	31,044	32,047	0	14,0
Jun	30	18 25 13,6	−18 49 13	31,039	32,053	0	14,0
Jul	10	18 24 09,9	−18 51 04	31,064	32,058	0	14,0
Jul	20	18 23 09,2	−18 53 06	31,117	32,063	1	14,0
Jul	30	18 22 13,6	−18 55 17	31,198	32,069	1	14,0
Ago	9	18 21 25,1	−18 57 36	31,303	32,074	1	14,1
Ago	19	18 20 45,8	−18 59 59	31,430	32,080	1	14,1
Ago	29	18 20 16,9	−19 02 24	31,575	32,085	2	14,1
Set	8	18 19 60,0	−19 04 49	31,735	32,091	2	14,1
Set	18	18 19 55,6	−19 07 11	31,905	32,096	2	14,1
Set	28	18 20 04,4	−19 09 27	32,079	32,102	2	14,1
Oct	8	18 20 26,3	−19 11 36	32,254	32,107	2	14,2
Oct	18	18 21 01,1	−19 13 34	32,425	32,113	2	14,2
Oct	28	18 21 48,0	−19 15 19	32,585	32,118	2	14,2
Nov	7	18 22 46,2	−19 16 49	32,732	32,124	1	14,2
Nov	17	18 23 54,3	−19 18 04	32,861	32,129	1	14,2
Nov	27	18 25 10,7	−19 19 01	32,968	32,135	1	14,2
Dic	7	18 26 33,6	−19 19 40	33,050	32,140	1	14,2
Dic	17	18 28 01,2	−19 20 00	33,105	32,146	0	14,2
Dic	27	18 29 31,3	−19 20 04	33,132	32,151	0	14,1

HAUMEA 2011

(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 49 58,7	+18 04 20	51,088	50,972	1	17,4
Ene	11	13 50 16,2	+18 08 36	50,932	50,970	1	17,4
Ene	21	13 50 25,8	+18 13 41	50,777	50,969	1	17,4
Ene	31	13 50 27,3	+18 19 26	50,628	50,967	1	17,4
Feb	10	13 50 20,8	+18 25 38	50,489	50,966	1	17,3
Feb	20	13 50 06,6	+18 32 05	50,365	50,964	1	17,3
Mar	2	13 49 45,3	+18 38 34	50,259	50,963	1	17,3
Mar	12	13 49 17,8	+18 44 52	50,175	50,961	1	17,3
Mar	22	13 48 45,2	+18 50 46	50,114	50,960	1	17,3
Abr	1	13 48 08,7	+18 56 05	50,079	50,958	1	17,3
Abr	11	13 47 29,5	+19 00 36	50,071	50,957	1	17,3
Abr	21	13 46 49,2	+19 04 13	50,089	50,955	1	17,3
May	1	13 46 09,1	+19 06 47	50,132	50,953	1	17,3
May	11	13 45 30,6	+19 08 15	50,200	50,952	1	17,3
May	21	13 44 55,2	+19 08 33	50,289	50,950	1	17,3
May	31	13 44 23,9	+19 07 41	50,397	50,949	1	17,3
Jun	10	13 43 57,8	+19 05 41	50,521	50,947	1	17,3
Jun	20	13 43 37,8	+19 02 37	50,656	50,946	1	17,4
Jun	30	13 43 24,6	+18 58 34	50,800	50,944	1	17,4
Jul	10	13 43 18,6	+18 53 39	50,948	50,943	1	17,4
Jul	20	13 43 20,1	+18 48 00	51,095	50,941	1	17,4
Jul	30	13 43 29,2	+18 41 45	51,238	50,940	1	17,4
Ago	9	13 43 45,7	+18 35 06	51,372	50,938	1	17,4
Ago	19	13 44 09,2	+18 28 12	51,494	50,937	1	17,4
Ago	29	13 44 39,3	+18 21 13	51,601	50,935	1	17,4
Set	8	13 45 15,4	+18 14 21	51,688	50,933	1	17,4
Set	18	13 45 56,4	+18 07 46	51,755	50,932	1	17,4
Set	28	13 46 41,6	+18 01 38	51,797	50,930	1	17,3
Oct	8	13 47 29,9	+17 56 06	51,816	50,929	1	17,3
Oct	18	13 48 20,0	+17 51 19	51,808	50,927	1	17,3
Oct	28	13 49 10,8	+17 47 26	51,775	50,926	1	17,3
Nov	7	13 50 01,1	+17 44 32	51,717	50,924	1	17,4
Nov	17	13 50 49,5	+17 42 42	51,635	50,922	1	17,4
Nov	27	13 51 34,8	+17 42 00	51,532	50,921	1	17,4
Dic	7	13 52 15,8	+17 42 28	51,411	50,919	1	17,4
Dic	17	13 52 51,4	+17 44 03	51,275	50,918	1	17,4
Dic	27	13 53 20,7	+17 46 45	51,127	50,916	1	17,4

ERIS 2011

(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	01 37 46,9	−04 21 00	96,436	96,623	1	18,8
Ene	11	01 37 43,2	−04 19 28	96,603	96,621	1	18,8
Ene	21	01 37 43,6	−04 17 32	96,771	96,619	1	18,8
Ene	31	01 37 47,9	−04 15 16	96,934	96,618	1	18,8
Feb	10	01 37 56,2	−04 12 41	97,087	96,616	1	18,8
Feb	20	01 38 08,1	−04 09 53	97,225	96,615	1	18,8
Mar	2	01 38 23,2	−04 06 56	97,346	96,613	0	18,8
Mar	12	01 38 41,2	−04 03 55	97,443	96,611	0	18,8
Mar	22	01 39 01,4	−04 00 53	97,516	96,610	0	18,8
Abr	1	01 39 23,3	−03 57 57	97,563	96,608	0	18,8
Abr	11	01 39 46,2	−03 55 09	97,581	96,606	0	18,7
Abr	21	01 40 09,6	−03 52 33	97,571	96,605	0	18,8
May	1	01 40 32,7	−03 50 15	97,533	96,603	0	18,8
May	11	01 40 55,0	−03 48 15	97,469	96,602	0	18,8
May	21	01 41 15,9	−03 46 38	97,380	96,600	0	18,8
May	31	01 41 34,8	−03 45 24	97,269	96,598	1	18,8
Jun	10	01 41 51,2	−03 44 36	97,139	96,597	1	18,8
Jun	20	01 42 04,6	−03 44 14	96,993	96,595	1	18,8
Jun	30	01 42 14,8	−03 44 17	96,837	96,593	1	18,8
Jul	10	01 42 21,5	−03 44 45	96,673	96,592	1	18,8
Jul	20	01 42 24,4	−03 45 37	96,507	96,590	1	18,8
Jul	30	01 42 23,6	−03 46 51	96,344	96,588	1	18,8
Ago	9	01 42 18,9	−03 48 23	96,186	96,587	1	18,8
Ago	19	01 42 10,6	−03 50 12	96,041	96,585	1	18,8
Ago	29	01 41 58,9	−03 52 12	95,910	96,583	1	18,8
Set	8	01 41 44,0	−03 54 20	95,799	96,582	0	18,7
Set	18	01 41 26,5	−03 56 32	95,711	96,580	0	18,7
Set	28	01 41 06,8	−03 58 43	95,648	96,578	0	18,7
Oct	8	01 40 45,5	−04 00 48	95,613	96,577	0	18,7
Oct	18	01 40 23,4	−04 02 42	95,606	96,575	0	18,7
Oct	28	01 40 01,0	−04 04 21	95,629	96,573	0	18,7
Nov	7	01 39 39,2	−04 05 42	95,680	96,572	0	18,7
Nov	17	01 39 18,6	−04 06 40	95,758	96,570	0	18,7
Nov	27	01 38 59,9	−04 07 13	95,862	96,568	0	18,8
Dic	7	01 38 43,7	−04 07 19	95,987	96,567	1	18,8
Dic	17	01 38 30,6	−04 06 58	96,130	96,565	1	18,8
Dic	27	01 38 20,9	−04 06 09	96,286	96,563	1	18,8

MAKEMAKE 2011

(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	12 41 22,8	+27 16 19	52,001	52,194	1	16,9
Ene	11	12 41 25,2	+27 21 55	51,857	52,196	1	16,9
Ene	21	12 41 19,3	+27 28 02	51,723	52,197	1	16,9
Ene	31	12 41 05,3	+27 34 29	51,604	52,199	1	16,9
Feb	10	12 40 44,0	+27 41 00	51,504	52,200	1	16,8
Feb	20	12 40 16,0	+27 47 23	51,425	52,201	1	16,8
Mar	2	12 39 42,5	+27 53 22	51,370	52,203	1	16,8
Mar	12	12 39 04,7	+27 58 46	51,340	52,204	1	16,8
Mar	22	12 38 24,1	+28 03 23	51,337	52,206	1	16,8
Abr	1	12 37 41,9	+28 07 02	51,361	52,207	1	16,8
Abr	11	12 36 59,9	+28 09 37	51,409	52,209	1	16,8
Abr	21	12 36 19,4	+28 11 02	51,482	52,210	1	16,8
May	1	12 35 41,9	+28 11 14	51,575	52,211	1	16,9
May	11	12 35 08,7	+28 10 13	51,688	52,213	1	16,9
May	21	12 34 40,8	+28 08 00	51,815	52,214	1	16,9
May	31	12 34 19,1	+28 04 40	51,953	52,216	1	16,9
Jun	10	12 34 04,5	+28 00 17	52,099	52,217	1	16,9
Jun	20	12 33 57,2	+27 55 00	52,248	52,218	1	16,9
Jun	30	12 33 57,7	+27 48 56	52,396	52,220	1	16,9
Jul	10	12 34 05,9	+27 42 15	52,539	52,221	1	16,9
Jul	20	12 34 21,8	+27 35 07	52,673	52,223	1	16,9
Jul	30	12 34 44,8	+27 27 42	52,795	52,224	1	16,9
Ago	9	12 35 14,7	+27 20 12	52,900	52,225	1	16,9
Ago	19	12 35 50,5	+27 12 47	52,987	52,227	1	16,9
Ago	29	12 36 31,5	+27 05 37	53,053	52,228	1	16,9
Set	8	12 37 16,8	+26 58 54	53,095	52,230	1	16,9
Set	18	12 38 05,2	+26 52 46	53,113	52,231	1	16,9
Set	28	12 38 55,7	+26 47 23	53,106	52,232	1	16,9
Oct	8	12 39 47,0	+26 42 54	53,074	52,234	1	16,9
Oct	18	12 40 37,9	+26 39 24	53,018	52,235	1	16,9
Oct	28	12 41 27,0	+26 36 59	52,939	52,237	1	16,9
Nov	7	12 42 13,2	+26 35 43	52,839	52,238	1	16,9
Nov	17	12 42 55,2	+26 35 39	52,721	52,239	1	16,9
Nov	27	12 43 31,9	+26 36 46	52,589	52,241	1	16,9
Dic	7	12 44 02,4	+26 39 02	52,446	52,242	1	16,9
Dic	17	12 44 25,7	+26 42 23	52,297	52,244	1	16,9
Dic	27	12 44 41,4	+26 46 42	52,145	52,245	1	16,9

Asteroides

En octubre de 2010 se han numerado unos 230 000 asteroides, de los cuales unos 15 500 han recibido un nombre. Por su órbita y su tamaño, unos 1 087 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	2009,17	2,7655	0,0792	72,626	80,393	10,587
2	Palas	2009,34	2,7725	0,2310	310,179	173,129	34,841
3	Juno	2010,25	2,6699	0,2549	248,098	169,912	12,982
4	Vesta	2007,50	2,3620	0,0887	149,824	103,913	7,134
5	Astrea	2007,84	2,5779	0,1905	358,172	141,655	5,370
6	Hebe	2007,09	2,4250	0,2025	239,427	138,740	14,754
7	Iris	2006,84	2,3861	0,2307	145,162	259,668	5,523
8	Flora	2007,83	2,2011	0,1568	285,332	110,958	5,889
9	Metis	2009,17	2,3865	0,1223	6,290	68,951	5,574
10	Hygiea	2005,92	3,1399	0,1169	313,083	283,445	3,841
11	Partenope	2008,67	2,4529	0,0994	194,919	125,611	4,626
12	Victoria	2007,34	2,3341	0,2202	69,791	235,507	8,363
13	Egeria	2008,92	2,5753	0,0858	80,508	43,276	16,545
14	Irene	2009,09	2,5857	0,1672	96,422	86,448	9,105
15	Eunomia	2007,42	2,6423	0,1882	97,829	293,255	11,739
16	Psyche	2005,34	2,9218	0,1380	226,921	150,298	3,099
18	Melpomene	2009,84	2,2955	0,2182	227,797	150,515	10,129
19	Fortuna	2009,67	2,4424	0,1577	182,085	211,248	1,573
20	Masalia	2006,92	2,4087	0,1418	256,690	206,199	0,708
27	Euterpe	2008,84	2,3460	0,1730	356,691	94,804	1,584
29	Amphitrite	2008,00	2,5536	0,0733	62,989	356,486	6,097
39	Laetitia	2006,26	2,7685	0,1152	209,180	157,162	10,387
40	Harmonia	2008,09	2,2670	0,0466	269,994	94,278	4,256
44	Nysa	2007,17	2,4233	0,1476	343,400	131,575	3,706
51	Nemausa	2007,50	2,3651	0,0677	3,022	176,096	9,978
89	Julia	2009,67	2,5499	0,1833	44,661	311,638	16,143
192	Nausikaa	2008,17	2,4030	0,2461	30,151	343,301	6,816
230	Atamantis	2008,09	2,3820	0,0615	140,152	239,940	9,439
349	Dembowska	2007,42	2,9241	0,0889	347,563	32,475	8,258
354	Eleonora	2005,67	2,7992	0,1145	6,553	140,407	18,393

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	975×909	C	9,074	6,79	3,34	0,12
2	Palas	570×525×500	V	7,813	7,59	4,13	0,11
3	Juno	290×240×190	S	7,210	8,58	5,33	0,32
4	Vesta	578×560×458	V	5,342	5,74	3,20	0,32
5	Astrea	167×123×82	S	16,801	9,89	6,85	0,15
6	Hebe	205×185×170	S	7,274	8,41	5,71	0,24
7	Iris	225×190×190	S	7,139	8,11	5,51	0,15
8	Flora	145×145×120	S	12,87	8,60	6,49	0,28
9	Metis	235×195×140	S	5,078	8,88	6,28	0,17
10	Hygiea	500×385×350	C	27,624	9,56	5,43	0,15
11	Partenope	153,3	S	9,43	9,31	6,55	0,15
12	Victoria	112,8	S	8,662	9,71	7,24	0,22
13	Egeria	217×196	C	7,044	9,78	6,74	0,15
14	Irene	181.8	S	15,06	9,37	6,30	0,15
15	Eunomia	330×245×205	S	6,084	8,47	5,28	0,23
16	Psyche	∼280×230×190	M	4,196	9,65	5,90	0,20
18	Melpomene	150×125	S	11,573	8,88	6,51	0,25
19	Fortuna	225,0	C	7,443	9,87	7,13	0,10
20	Masalia	160×145×130	S	8,098	9,15	6,50	0,25
27	Euterpe	124×75	S	10,41	9,5	7,0	0,15
29	Amphitrite	212,2	S	5,390	8,84	5,85	0,20
39	Laetitia	149,5	S	5,138	9,5	6,1	0,15
40	Harmonia	107,6	S	8,91	9,3	7,0	0,15
44	Nysa	70,6	E	6,422	9,72	7,03	0,46
51	Nemausa	147,8	C	7,783	9,91	7,35	0,06

Los diez mayores asteroides, de acuerdo con el diámetro de una esfera de volumen equivalente y ordenados de mayor a menor, son: 1 Ceres, 2 Palas, 4 Vesta, 10 Hygiea, 15 Eunomia, 511 Davida, 704 Interamnia, 52 Europa, 87 Sylvia y 16 Psyche, todos ellos mayores de 225 km

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 carbonáceno, con 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:

$$\log_e \Phi_1 = -3{,}33\left[\tan\left(\tfrac{\beta}{2}\right)\right]^{0{,}63}$$
$$\log_e \Phi_2 = -1{,}87\left[\tan\left(\tfrac{\beta}{2}\right)\right]^{1{,}22}$$

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 aprox., $R = 1$).

Fechas de la oposición en 2011 de los primeros asteroides

	nombre	oposición en longitud	magnitud V	oposición en asc. recta
1	Ceres	Set 16, 15^h	7,7	Set 16, 13^h
2	Palas	Jul 29, 13^h	9,5	Jul 21, 22^h
3	Juno	Mar 12, 9^h	8,8	Mar 12, 13^h
4	Vesta	Ago 5, 10^h	5,6	Ago 7, 0^h
7	Iris	Ene 24, 7^h	7,9	Ene 23, 1^h
9	Metis	Jul 27, 15^h	9,6	Jul 29, 6^h
10	Hygiea	May 13, 9^h	9,1	May 12, 7^h
11	Partenope	Abr 5, 11^h	9,9	Abr 7, 20^h
12	Victoria	Dic 6, 17^h	10,5	Dic 7, 3^h
13	Egeria	Set 27, 23^h	10,5	Oct 3, 19^h
14	Irene	Nov 12, 9^h	10,2	Nov 14, 5^h
15	Eunomia	Nov 28, 20^h	7,9	Nov 26, 9^h
18	Melpomene	Mar 17, 18^h	10,2	Mar 20, 5^h
19	Fortuna	Abr 6, 23^h	10,7	Abr 6, 18^h
20	Masalia	Mar 14, 21^h	8,8	Mar 14, 15^h
27	Euterpe	Oct 4, 0^h	9,3	Oct 5, 0^h
29	Amphitrite	Nov 6, 1^h	8,7	Nov 4, 1^h
40	Harmonia	May 28, 12^h	9,4	Nov 13, 7^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.

Atenas 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 2011
(coordenadas J2000 a 0^h de TU)

Consultar efemérides en la página 243, apartado de planetas enanos

2 PALAS 2011
(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
May	11	20 29 15,9	+15 30 52	3,150	3,383	17	10,2
May	21	20 31 04,3	+16 41 44	3,036	3,389	17	10,1
May	31	20 31 00,0	+17 44 16	2,927	3,394	16	10,0
Jun	10	20 28 58,9	+18 34 35	2,825	3,398	16	9,9
Jun	20	20 25 04,7	+19 08 36	2,735	3,402	14	9,8
Jun	30	20 19 27,9	+19 22 19	2,659	3,405	13	9,7
Jul	10	20 12 29,5	+19 12 07	2,601	3,408	12	9,6
Jul	20	20 04 41,8	+18 36 05	2,564	3,410	11	9,6
Jul	30	19 56 42,7	+17 34 18	2,549	3,412	10	9,5
Ago	9	19 49 13,7	+16 09 10	2,559	3,412	11	9,5
Ago	19	19 42 52,4	+14 25 36	2,593	3,413	11	9,6
Ago	29	19 38 06,9	+12 29 38	2,649	3,413	13	9,7
Set	8	19 35 16,1	+10 27 45	2,727	3,412	14	9,8
Set	18	19 34 27,6	+08 26 02	2,823	3,410	15	9,9
Set	28	19 35 40,6	+06 29 15	2,933	3,408	16	10,0
Oct	8	19 38 49,5	+04 41 02	3,055	3,406	17	10,2
Oct	18	19 43 44,0	+03 03 47	3,184	3,403	17	10,3

3 JUNO 2011

(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	1	11 48 03,0	−02 38 22	2,204	2,589	22	10,0
Ene	11	11 52 10,4	−02 38 31	2,099	2,617	21	9,8
Ene	21	11 53 54,4	−02 19 17	2,001	2,644	19	9,7
Ene	31	11 53 07,3	−01 39 22	1,914	2,671	16	9,6
Feb	10	11 49 49,8	−00 38 42	1,845	2,698	13	9,4
Feb	20	11 44 19,6	+00 40 15	1,797	2,724	9	9,3
Mar	2	11 37 10,1	+02 12 29	1,775	2,750	5	9,1
Mar	12	11 29 10,1	+03 50 32	1,782	2,776	0	8,9
Mar	22	11 21 17,9	+05 25 40	1,819	2,801	4	9,2
Abr	1	11 14 26,5	+06 50 17	1,884	2,826	8	9,4
Abr	11	11 09 17,3	+07 58 53	1,974	2,850	12	9,7
Abr	21	11 06 15,0	+08 48 47	2,087	2,874	15	9,9
May	1	11 05 26,1	+09 19 46	2,216	2,898	17	10,1
May	11	11 06 47,5	+09 32 52	2,358	2,921	18	10,3
May	21	11 10 07,5	+09 30 02	2,509	2,944	19	10,5
May	31	11 15 11,3	+09 13 25	2,666	2,966	20	10,6
Jun	10	11 21 44,6	+08 44 59	2,825	2,987	20	10,8

4 VESTA 2011

(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
May	1	20 51 07,2	−17 29 08	1,932	2,175	28	7,3
May	11	21 03 36,5	−17 06 18	1,821	2,180	27	7,2
May	21	21 14 10,3	−16 52 44	1,713	2,185	27	7,0
May	31	21 22 32,0	−16 51 25	1,609	2,191	26	6,9
Jun	10	21 28 21,4	−17 05 21	1,511	2,198	24	6,7
Jun	20	21 31 21,2	−17 36 36	1,422	2,205	21	6,5
Jun	30	21 31 16,5	−18 25 59	1,346	2,212	18	6,3
Jul	10	21 28 02,2	−19 32 02	1,286	2,219	14	6,1
Jul	20	21 21 55,4	−20 49 52	1,246	2,227	9	5,9
Jul	30	21 13 35,8	−22 11 56	1,228	2,236	4	5,7

4 VESTA (cont.) 2011
(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
Ago	9	21 04 12,0	−23 28 49	1,235	2,244	3	5,7
Ago	19	20 55 09,0	−24 32 11	1,267	2,253	8	5,9
Ago	29	20 47 44,5	−25 17 02	1,322	2,262	12	6,2
Set	8	20 42 58,6	−25 41 45	1,398	2,271	16	6,4
Set	18	20 41 20,6	−25 47 36	1,491	2,280	19	6,6
Set	28	20 42 53,3	−25 36 52	1,598	2,290	22	6,9
Oct	8	20 47 25,3	−25 11 47	1,716	2,300	24	7,1
Oct	18	20 54 33,5	−24 34 23	1,841	2,309	25	7,3
Oct	28	21 03 53,2	−23 46 03	1,972	2,319	25	7,4
Nov	7	21 15 01,6	−22 47 48	2,105	2,329	25	7,6

7 IRIS 2011
(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 41 38,3	+12 15 10	1,195	2,105	14	8,3
Ene	11	08 32 18,2	+12 11 44	1,174	2,131	8	8,1
Ene	21	08 21 25,4	+12 20 59	1,178	2,156	4	7,9
Ene	31	08 10 34,7	+12 38 54	1,207	2,182	5	8,0
Feb	10	08 01 19,0	+13 01 02	1,263	2,208	10	8,4
Feb	20	07 54 47,9	+13 23 08	1,342	2,235	14	8,7
Mar	2	07 51 32,6	+13 42 14	1,442	2,261	18	9,0
Mar	12	07 51 38,0	+13 56 08	1,557	2,287	21	9,3
Mar	22	07 54 48,8	+14 03 23	1,686	2,314	23	9,5
Abr	1	08 00 39,3	+14 03 06	1,823	2,340	24	9,8
Abr	11	08 08 43,8	+13 54 42	1,966	2,366	25	10,0
Abr	21	08 18 36,7	+13 37 51	2,113	2,392	25	10,2

9 METIS 2011

(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
May	1	20 41 20,7	−22 00 20	2,376	2,631	22	11,3
May	11	20 49 44,7	−21 53 59	2,238	2,624	22	11,2
May	21	20 56 10,9	−21 56 37	2,105	2,617	21	11,0
May	31	21 00 22,8	−22 10 03	1,978	2,609	20	10,8
Jun	10	21 02 02,3	−22 35 37	1,860	2,601	18	10,6
Jun	20	21 00 56,8	−23 13 22	1,756	2,592	16	10,4
Jun	30	20 56 59,8	−24 01 54	1,669	2,583	12	10,2
Jul	10	20 50 19,3	−24 57 35	1,603	2,574	9	9,9
Jul	20	20 41 26,9	−25 54 45	1,560	2,564	5	9,7
Jul	30	20 31 15,3	−26 46 55	1,544	2,553	3	9,6
Ago	9	20 20 57,1	−27 28 07	1,555	2,543	7	9,8
Ago	19	20 11 49,1	−27 54 46	1,591	2,532	11	10,0
Ago	29	20 04 53,0	−28 06 08	1,649	2,521	14	10,2
Set	8	20 00 50,6	−28 03 22	1,727	2,509	18	10,4
Set	18	19 59 57,4	−27 48 37	1,819	2,497	20	10,5
Set	28	20 02 09,5	−27 23 54	1,923	2,485	22	10,7
Oct	8	20 07 13,5	−26 50 34	2,033	2,472	23	10,9
Oct	18	20 14 47,9	−26 09 28	2,148	2,460	24	11,0
Oct	28	20 24 30,7	−25 20 56	2,265	2,447	24	11,1

10 HYGIEA 2011

(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	10	15 14 30,5	−22 01 51	2,645	2,801	21	10,8
Feb	20	15 23 20,6	−22 44 10	2,505	2,796	21	10,7
Mar	2	15 30 23,6	−23 19 04	2,368	2,792	20	10,5
Mar	12	15 35 20,4	−23 46 02	2,237	2,788	19	10,4
Mar	22	15 37 55,3	−24 04 26	2,115	2,785	17	10,2
Abr	1	15 37 57,2	−24 13 25	2,005	2,782	15	10,0
Abr	11	15 35 22,8	−24 11 53	1,912	2,779	13	9,8
Abr	21	15 30 25,9	−23 59 05	1,840	2,777	9	9,6
May	1	15 23 35,8	−23 34 58	1,790	2,775	5	9,4
May	11	15 15 39,9	−23 00 51	1,767	2,774	2	9,1

10 HYGIEA (cont.) 2011
(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	21	15 07 38,0	−22 19 56	1,771	2,773	4	9,2
May	31	15 00 27,4	−21 36 39	1,801	2,773	7	9,5
Jun	10	14 54 56,7	−20 55 54	1,856	2,773	11	9,7
Jun	20	14 51 37,7	−20 21 58	1,932	2,774	14	9,9
Jun	30	14 50 43,6	−19 57 31	2,027	2,775	17	10,1
Jul	10	14 52 16,4	−19 43 51	2,135	2,776	19	10,3
Jul	20	14 56 08,1	−19 40 52	2,254	2,778	20	10,4
Jul	30	15 02 06,1	−19 47 33	2,380	2,780	21	10,6
Ago	9	15 09 58,1	−20 02 25	2,512	2,783	21	10,7

11 PARTENOPE 2011
(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 12 19,0	−03 26 12	2,414	2,642	22	11,6
Ene	21	13 19 56,3	−03 49 10	2,272	2,635	22	11,5
Ene	31	13 25 43,4	−03 58 25	2,134	2,628	21	11,3
Feb	10	13 29 20,8	−03 52 38	2,003	2,621	19	11,1
Feb	20	13 30 32,8	−03 31 10	1,882	2,614	17	10,9
Mar	2	13 29 08,5	−02 54 08	1,777	2,606	14	10,7
Mar	12	13 25 06,8	−02 03 03	1,690	2,598	11	10,5
Mar	22	13 18 45,8	−01 01 39	1,627	2,589	7	10,2
Abr	1	13 10 42,0	+00 04 27	1,589	2,581	3	9,9
Abr	11	13 01 50,2	+01 07 59	1,579	2,572	4	9,9
Abr	21	12 53 15,8	+02 01 34	1,596	2,562	8	10,2
May	1	12 45 57,5	+02 39 38	1,638	2,553	12	10,4
May	11	12 40 40,6	+02 58 50	1,702	2,543	15	10,6
May	21	12 37 50,7	+02 58 26	1,784	2,533	18	10,8
May	31	12 37 33,8	+02 39 38	1,879	2,523	21	11,0
Jun	10	12 39 45,6	+02 04 20	1,984	2,513	22	11,1
Jun	20	12 44 13,5	+01 14 58	2,095	2,503	23	11,3
Jun	30	12 50 42,1	+00 13 56	2,209	2,492	24	11,4

12 VICTORIA 2011

(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
Set	18	05 16 42,4	+23 04 52	2,105	2,403	25	11,8
Set	28	05 23 49,5	+22 44 58	2,000	2,427	24	11,7
Oct	8	05 28 11,2	+22 19 06	1,899	2,450	22	11,6
Oct	18	05 29 30,0	+21 47 49	1,805	2,473	20	11,4
Oct	28	05 27 32,7	+21 11 27	1,722	2,495	17	11,2
Nov	7	05 22 19,7	+20 30 22	1,655	2,517	14	11,1
Nov	17	05 14 13,7	+19 45 13	1,608	2,538	10	10,9
Nov	27	05 04 00,3	+18 57 25	1,588	2,559	5	10,7
Dic	7	04 52 50,0	+18 09 38	1,595	2,579	2	10,5
Dic	17	04 42 03,6	+17 25 28	1,632	2,598	5	10,8
Dic	27	04 32 52,1	+16 48 33	1,697	2,617	10	11,0

13 EGERIA 2011

(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
Jun	30	00 51 38,5	−11 10 00	2,535	2,736	22	12,0
Jul	10	00 59 22,0	−10 50 16	2,402	2,730	22	11,9
Jul	20	01 05 24,4	−10 42 24	2,273	2,724	21	11,7
Jul	30	01 09 28,6	−10 46 46	2,148	2,717	20	11,6
Ago	9	01 11 16,4	−11 03 04	2,031	2,711	18	11,4
Ago	19	01 10 33,4	−11 29 45	1,926	2,703	16	11,2
Ago	29	01 07 10,0	−12 04 08	1,836	2,696	14	11,0
Set	8	01 01 08,5	−12 41 34	1,766	2,689	11	10,8
Set	18	00 52 51,5	−13 15 48	1,719	2,681	8	10,6
Set	28	00 42 59,9	−13 40 06	1,698	2,673	6	10,5
Oct	8	00 32 34,6	−13 48 10	1,704	2,665	7	10,6
Oct	18	00 22 43,7	−13 36 09	1,737	2,657	10	10,7
Oct	28	00 14 26,3	−13 03 06	1,795	2,649	13	10,9
Nov	7	00 08 26,3	−12 10 19	1,874	2,640	16	11,1
Nov	17	00 05 04,5	−11 00 48	1,970	2,632	19	11,3
Nov	27	00 04 23,8	−09 37 45	2,080	2,623	20	11,4
Dic	7	00 06 16,3	−08 04 00	2,199	2,614	21	11,6
Dic	17	00 10 26,1	−06 22 07	2,323	2,605	22	11,7

14 IRENE 2011

(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
Ago	19	03 33 42,7	+11 06 47	2,728	2,938	20	11,8
Ago	29	03 39 57,3	+11 15 43	2,583	2,928	20	11,7
Set	8	03 44 21,8	+11 17 19	2,442	2,918	19	11,5
Set	18	03 46 40,1	+11 11 59	2,307	2,908	18	11,4
Set	28	03 46 36,5	+11 00 16	2,182	2,897	16	11,2
Oct	8	03 44 00,9	+10 43 08	2,071	2,886	14	11,0
Oct	18	03 38 54,8	+10 22 09	1,980	2,874	11	10,7
Oct	28	03 31 33,4	+09 59 23	1,911	2,862	7	10,5
Nov	7	03 22 32,0	+09 37 47	1,870	2,849	4	10,3
Nov	17	03 12 44,0	+09 20 40	1,857	2,836	3	10,2
Nov	27	03 03 09,9	+09 11 17	1,874	2,822	7	10,4
Dic	7	02 54 50,6	+09 12 22	1,918	2,809	10	10,6
Dic	17	02 48 31,9	+09 25 23	1,987	2,794	14	10,8
Dic	27	02 44 40,8	+09 50 33	2,076	2,780	16	11,0

15 EUNOMIA 2011

(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
Ago	29	03 54 43,6	+33 51 44	1,868	2,146	28	9,4
Set	8	04 08 14,7	+35 03 46	1,763	2,148	28	9,3
Set	18	04 19 34,5	+36 07 31	1,662	2,151	27	9,1
Set	28	04 28 09,2	+37 02 35	1,565	2,155	25	9,0
Oct	8	04 33 23,3	+37 47 31	1,474	2,160	23	8,8
Oct	18	04 34 49,5	+38 19 41	1,393	2,167	21	8,6
Oct	28	04 32 11,4	+38 34 52	1,325	2,175	17	8,4
Nov	7	04 25 43,3	+38 27 32	1,275	2,184	14	8,2
Nov	17	04 16 21,4	+37 53 10	1,245	2,193	10	8,0
Nov	27	04 05 37,1	+36 50 38	1,238	2,204	7	7,9
Dic	7	03 55 25,0	+35 24 39	1,257	2,216	8	8,0
Dic	17	03 47 24,9	+33 45 16	1,302	2,229	11	8,2
Dic	27	03 42 38,1	+32 04 00	1,369	2,242	15	8,5

18 MELPOMENE 2011

(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	1	12 15 43,8	+00 44 11	2,350	2,652	22	11,4
Ene	11	12 21 06,6	+00 46 00	2,227	2,666	21	11,3
Ene	21	12 24 18,4	+01 05 27	2,109	2,680	19	11,1
Ene	31	12 25 05,1	+01 43 43	2,000	2,693	17	11,0
Feb	10	12 23 16,6	+02 41 00	1,906	2,706	15	10,8
Feb	20	12 18 55,7	+03 55 19	1,830	2,718	11	10,6
Mar	2	12 12 19,8	+05 22 22	1,779	2,728	7	10,4
Mar	12	12 04 04,8	+06 55 18	1,755	2,739	4	10,2
Mar	22	11 55 05,2	+08 25 28	1,759	2,748	3	10,2
Abr	1	11 46 20,8	+09 44 44	1,793	2,756	7	10,4
Abr	11	11 38 48,4	+10 46 50	1,855	2,764	11	10,6
Abr	21	11 33 10,9	+11 28 30	1,939	2,771	14	10,9
May	1	11 29 50,3	+11 49 26	2,043	2,777	17	11,1
May	11	11 28 53,9	+11 50 54	2,161	2,782	19	11,2
May	21	11 30 16,1	+11 35 14	2,289	2,787	20	11,4
May	31	11 33 43,4	+11 05 02	2,423	2,790	21	11,6
Jun	10	11 39 01,7	+10 22 31	2,560	2,793	21	11,7

19 FORTUNA 2011

(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 15 10,3	−08 53 57	2,567	2,741	21	12,5
Ene	21	13 21 43,2	−09 32 55	2,436	2,751	21	12,4
Ene	31	13 26 20,6	−09 59 53	2,307	2,760	20	12,2
Feb	10	13 28 45,4	−10 13 22	2,184	2,768	19	12,1
Feb	20	13 28 44,8	−10 12 14	2,072	2,776	17	11,9
Mar	2	13 26 12,8	−09 55 42	1,973	2,783	14	11,7
Mar	12	13 21 13,8	−09 23 47	1,894	2,790	11	11,5
Mar	22	13 14 11,1	−08 38 13	1,838	2,796	7	11,2
Abr	1	13 05 43,8	−07 42 29	1,808	2,802	3	11,0
Abr	11	12 56 45,3	−06 41 56	1,808	2,807	2	10,9

19 FORTUNA (cont.) 2011
(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
Abr	21	12 48 15,4	−05 43 02	1,836	2,812	6	11,2
May	1	12 41 04,7	−04 51 41	1,891	2,816	10	11,4
May	11	12 35 50,8	−04 12 27	1,969	2,819	13	11,7
May	21	12 32 53,4	−03 47 57	2,067	2,822	16	11,9
May	31	12 32 16,0	−03 38 46	2,180	2,824	18	12,1
Jun	10	12 33 53,6	−03 44 30	2,304	2,826	20	12,3
Jun	20	12 37 34,3	−04 03 47	2,435	2,827	21	12,4
Jun	30	12 43 03,6	−04 34 55	2,569	2,827	21	12,5

20 MASALIA 2011
(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	11 49 38,6	+00 19 42	1,717	2,156	26	10,4
Ene	11	11 56 30,6	−00 26 12	1,614	2,169	25	10,2
Ene	21	12 00 42,6	−00 54 34	1,517	2,181	23	10,1
Ene	31	12 01 56,7	−01 03 18	1,430	2,194	20	9,9
Feb	10	12 00 01,7	−00 50 58	1,356	2,208	17	9,7
Feb	20	11 55 06,6	−00 18 16	1,301	2,222	12	9,4
Mar	2	11 47 42,8	+00 31 34	1,268	2,237	7	9,2
Mar	12	11 38 48,4	+01 32 11	1,259	2,251	2	8,9
Mar	22	11 29 42,7	+02 34 47	1,277	2,266	4	9,1
Abr	1	11 21 42,2	+03 30 45	1,321	2,282	9	9,4
Abr	11	11 15 48,7	+04 13 15	1,388	2,297	14	9,7
Abr	21	11 12 37,6	+04 38 23	1,475	2,313	17	10,0
May	1	11 12 16,8	+04 45 16	1,579	2,329	20	10,2
May	11	11 14 39,3	+04 34 33	1,695	2,344	22	10,4
May	21	11 19 27,4	+04 07 56	1,820	2,360	24	10,6
May	31	11 26 19,2	+03 27 32	1,951	2,376	25	10,8
Jun	10	11 34 55,8	+02 35 12	2,086	2,392	25	11,0

27 EUTERPE 2011

(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	30	00 33 53,7	+01 53 40	2,193	2,404	25	11,8
Jul	10	00 43 52,1	+02 49 14	2,053	2,385	25	11,6
Jul	20	00 52 24,8	+03 34 21	1,915	2,366	25	11,4
Jul	30	00 59 13,3	+04 07 18	1,781	2,347	24	11,2
Ago	9	01 03 55,9	+04 26 12	1,654	2,327	22	11,0
Ago	19	01 06 12,4	+04 29 31	1,537	2,308	20	10,8
Ago	29	01 05 43,9	+04 15 55	1,433	2,288	17	10,5
Set	8	01 02 21,0	+03 45 12	1,345	2,268	13	10,2
Set	18	00 56 14,4	+02 59 17	1,277	2,248	9	9,9
Set	28	00 47 57,3	+02 02 27	1,232	2,229	4	9,5
Oct	8	00 38 32,5	+01 02 04	1,213	2,209	3	9,4
Oct	18	00 29 21,1	+00 07 04	1,219	2,190	8	9,7
Oct	28	00 21 40,7	−00 34 34	1,250	2,171	13	9,9
Nov	7	00 16 33,7	−00 56 55	1,301	2,152	17	10,2
Nov	17	00 14 32,8	−00 57 38	1,370	2,134	21	10,4
Nov	27	00 15 45,1	−00 36 56	1,452	2,116	24	10,6
Dic	7	00 20 02,9	+00 03 37	1,543	2,098	26	10,7
Dic	17	00 27 06,8	+01 01 20	1,639	2,081	28	10,9
Dic	27	00 36 35,9	+02 13 33	1,739	2,065	28	11,0

29 AMPHITRITE 2011

(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
Ago	9	02 41 04,5	+18 22 22	2,140	2,406	25	10,5
Ago	19	02 50 02,5	+19 31 49	2,015	2,401	25	10,3
Ago	29	02 57 05,0	+20 34 29	1,893	2,396	24	10,2
Set	8	03 01 47,0	+21 29 38	1,776	2,392	22	10,0
Set	18	03 03 46,5	+22 16 16	1,669	2,388	20	9,8
Set	28	03 02 43,5	+22 52 43	1,573	2,384	17	9,6
Oct	8	02 58 30,8	+23 16 45	1,493	2,381	14	9,4
Oct	18	02 51 24,4	+23 26 15	1,433	2,378	10	9,1
Oct	28	02 42 05,4	+23 19 52	1,397	2,375	6	8,9
Nov	7	02 31 45,6	+22 58 46	1,387	2,373	3	8,7

29 AMPHITRITE (cont.) 2011
(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
Nov	17	02 21 51,5	+22 27 16	1,403	2,371	6	8,9
Nov	27	02 13 41,6	+21 51 50	1,446	2,369	11	9,2
Dic	7	02 08 14,6	+21 19 43	1,512	2,368	15	9,4
Dic	17	02 05 57,9	+20 56 34	1,597	2,367	18	9,6
Dic	27	02 06 54,5	+20 45 34	1,697	2,366	21	9,8

40 HARMONIA 2011
(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
Ago	9	03 04 51,3	+12 36 01	1,938	2,165	28	11,4
Ago	19	03 16 48,5	+13 11 57	1,826	2,166	28	11,2
Ago	29	03 26 56,8	+13 37 32	1,715	2,168	27	11,1
Set	8	03 34 50,5	+13 52 46	1,608	2,170	26	10,9
Set	18	03 40 05,1	+13 58 00	1,506	2,172	24	10,7
Set	28	03 42 14,7	+13 53 35	1,413	2,175	21	10,5
Oct	8	03 40 59,8	+13 40 19	1,332	2,178	18	10,2
Oct	18	03 36 18,8	+13 19 40	1,267	2,181	14	10,0
Oct	28	03 28 32,0	+12 53 50	1,223	2,184	9	9,7
Nov	7	03 18 34,3	+12 26 29	1,203	2,188	4	9,5
Nov	17	03 07 49,5	+12 02 24	1,208	2,191	4	9,5
Nov	27	02 57 49,1	+11 46 32	1,240	2,195	9	9,8
Dic	7	02 49 55,9	+11 43 09	1,296	2,200	13	10,0
Dic	17	02 45 01,5	+11 54 21	1,373	2,204	17	10,3
Dic	27	02 43 26,1	+12 20 10	1,467	2,208	21	10,6

Cometas

En esta sección se dan datos relativos a algunos cometas de largo periodo y los elementos orbitales de todos los cometas de corto periodo cuyo regreso ha sido observado al menos una vez. En primer lugar figura una lista de los cometas 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 de ellos han aparecido sólo ocasionalmente.

Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2011

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación
			Sol (UA)	Tierra(UA)	(°)
9P/Tempel 1	Ene	10	1,51	2,33	25
231P/LINEAR-NEAT	May	18	3,02	2,70	99
164P/Christensen	May	21	1,65	2,65	6
213P/Van Ness	Jun	15	2,13	1,70	100
123P/West-Hartley	Jul	7	2,13	2,92	32
27P/Crommelin	Jul	13	0,73	1,70	12
130P/McNaught-Hughes	Jul	14	2,12	1,24	139
62P/Tsuchinshan 1	Jul	25	1,49	2,50	3
228P/LINEAR	Ago	29	3,42	4,42	9
49P/Arend-Rigaux	Oct	3	1,37	1,61	58
73P/Schwassmann-Wachmann 3	Oct	4	0,93	1,51	37
45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	Oct	7	0,53	0,67	30
48P/Johnson	Oct	8	2,31	1,84	105
115P/Maury	Oct	9	2,04	2,09	73
97P/Metcalf-Brewington	Oct	22	2,61	1,81	135
41P/Tuttle-Giacobini-Kresak	Nov	15	1,05	1,97	16
69P/Taylor	Nov	18	1,95	1,50	101
37P/Forbes	Dic	7	1,57	2,47	19
71P/Clark	Dic	8	1,56	2,52	8
131P/Mueller 2	Dic	28	2,41	2,14	94

UA = Unidad Astronómica = 149 597 870 km

Cometas de largo periodo

Aquellos cometas cuyo periodo de revolución alrededor del Sol es mayor que 400 años se suelen denominar cometas de largo periodo. A continuación se muestra una tabla que 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	P (años)	q (UA)	Q (UA)	e	i (°)	Código
Gran cometa de 1861 (Tebbutt)	409	0,822	109	0,9851	85	C/1861 J1
Gran cometa de 1843	513	0,006	128	0,9999	144	C/1843 D1
Gran cometa de setiembre 1882	759	0,008	166	0,9999	142	C/1882 R1
Ikeya-Seki	880	0,008	184	0,9999	142	C/1965 S1
IRAS-Araki-Alcock	963	0,991	185	0,9898	73	C/1983 H1
Bennett	1680	0,538	282	0,9962	90	C/1969 Y1
Donati	1950	0,578	312	0,9963	117	C/1858 L1
Brooks	2090	0,489	326	0,9970	34	C/1911 O1
Gran cometa de 1881	2440	0,735	362	0,9959	63	C/1881 K1
Hale-Bopp	2570	0,914	374	0,9951	89	C/1995 O1
Humason	2930	2,133	407	0,9896	153	C/1961 R1
Gran cometa de 1811 (Flaugergues)	3100	1,035	424	0,9951	107	C/1811 F1
Cometa meridional de 1947	3800	0,110	487	0,9995	139	C/1947 X1
Tempel	3950	0,909	497	0,9964	178	C/1864 N1
Gran cometa de 1844	6800	0,251	718	0,9993	46	C/1844 Y1
Daniel	8750	0,512	849	0,9988	9	C/1907 L2
Gran cometa de 1680 (Kirch)	9400	0,006	870	0,9999	61	C/1680 V1
Coggia	13700	0,676	1144	0,9988	66	C/1874 H1
Mrkos	$\sim 10^4$	0,355	1120	0,9994	94	C/1957 P1
Skjellerup-Maristany	$> 10^4$	0,176	2200	0,9998	85	C/1927 X1
Cometa del eclipse	$\sim 10^5$	0,135	4200	0,9999	23	C/1948 V1
Hyakutake	$\sim 10^5$	0,230	4400	0,9999	125	C/1996 B2
West	$\sim 10^6$	0,197	14000	1,0000	43	C/1975 V1
Perrine	$\sim 10^6$	0,401	25000	1,0000	156	C/1902 R1
Gran cometa de enero 1910	$> 10^6$	0,129	52000	1,0000	139	C/1910 A1
Finsler	$\sim 10^7$	0,863	$> 10^5$	1,0000	146	C/1937 N1
Gran cometa de 1577 (Tycho)		0,177		1,0	105	C/1577 V1
Cometa de 1744 (De Chéseaux)		0,222		1,0	47	C/1743 X1
Cometa Sarabat		4,051		1,0	77	C/1729 P1
Gran cometa de 1819		0,342		1,0	81	C/1819 N1
Winnecke		0,579		1,0	132	C/1868 L1
Gran cometa meridional de 1887		0,005		1,0	144	C/1887 B1
Gran cometa de 1901		0,245		1,0	131	C/1901 G1
Sugano-Saigusa-Fujikawa		0,471		1,0	97	C/1983 J1
Kohoutek		0,142		> 1	14	C/1973 E1
Arend-Roland		0,316		> 1	120	C/1956 R1
Morehouse		0,945		> 1	140	C/1908 R1
Cunningham		0,368		> 1	50	C/1940 R2
Bowell		3,364		> 1	2	C/1980 E1
Cernis		3,329		> 1	135	C/1983 O1
Wilson		1,200		> 1	147	C/1986 P1
Austin		0,350		> 1	59	C/1989 X1
Levy		0,939		> 1	132	C/1990 K1

Cometas de corto periodo

En la tabla que ocupa las páginas siguientes figuran todos los cometas de corto periodo (P < 200 años) que han aparecido al menos en dos ocasiones y aquellos descubiertos recientemente cuya órbita esté bien determinada. Están ordenados según el nuevo sistema de designación de cometas adoptada por la Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU) en agosto de 1994. El periodo, P, viene dado en la segunda columna. El año de su primera aparición conocida viene dado en la última columna.

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	1997,40	0,335	0,849	186,4	334,7	11,9	1786
3D/Biela	6,65	1832,91	0,879	0,751	221,7	250,7	13,2	1772
4P/Faye	7,52	1999,35	1,657	0,568	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	2002,10	1,353	0,613	178,1	138,9	19,5	1678
7P/Pons-Winnecke	6,37	2002,37	1,257	0,634	172,3	93,4	22,3	1819
8P/Tuttle	13,5	1994,48	0,997	0,824	206,7	270,6	54,7	1790
9P/Tempel 1	5,52	2005,51	1,506	0,518	178,8	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	8,20	2000,89	2,406	0,408	162,6	203,5	27,7	1884
15P/Finlay	6,75	2002,11	1,034	0,711	323,6	42,0	3,7	1886
16P/Brooks 2	6,87	2001,55	1,835	0,492	198,1	176,9	5,5	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	6,86	2001,71	1,358	0,624	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	6,46	2002,95	1,583	0,543	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	5,11	1997,67	0,997	0,664	359,3	213,3	21,1	1808
27P/Crommelin	27,4	1984,14	0,735	0,919	195,8	250,9	29,1	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	7,32	2002,98	1,877	0,502	13,3	119,8	8,1	1928
31P/Schwassmann-Wachmann 2	8,70	2002,05	3,409	0,194	18,3	114,2	4,6	1929
32P/Comas Sola	8,80	2005,25	1,834	0,570	45,9	60,8	12,9	1926

Cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (UA)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
33P/Daniel	8,06	2000,48	2,157	0,463	19,0	66,6	22,4	1909
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	6,35	2005,59	1,572	0,541	329,3	315,1	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	6,46	1997,75	1,582	0,544	187,1	254,7	18,5	1924
44P/Reinmuth 2	6,73	2001,15	1,903	0,466	47,3	296,0	6,9	1947
45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	5,26	1995,99	0,532	0,824	326,0	89,1	4,2	1948
46P/Wirtanen	5,45	1997,20	1,062	0,657	356,3	82,2	11,7	1948
47P/Ashbrook-Jackson	7,48	2001,02	2,307	0,397	349,2	2,5	12,5	1948
48P/Johnson	6,96	2004,78	2,310	0,367	207,7	117,3	13,7	1949
49P/Arend-Rigaux	6,63	2005,15	1,369	0,612	330,8	121,5	18,3	1951
50P/Arend	8,24	1999,59	1,917	0,530	49,0	355,4	19,2	1951
51P/Harrington	6,78	1994,65	1,572	0,561	233,5	119,3	8,7	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	7,31	2002,58	2,145	0,431	2,1	359,0	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	6,37	1983,42	1,708	0,503	115,2	189,2	2,8	1941
58P/Jackson-Neujmin	8,24	1995,77	1,381	0,662	200,4	160,7	13,5	1936
59P/Kearns-Kwee	9,44	1999,71	2,339	0,476	127,5	313,0	9,4	1963
60P/Tsuchinshan 2	6,78	2005,98	1,766	0,507	203,4	288,1	6,7	1965
61P/Shajn-Schaldach	7,47	2001,36	2,330	0,390	216,7	166,8	6,1	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	9,17	2000,31	1,339	0,694	92,4	306,1	8,4	1889
65P/Gunn	6,80	2003,36	2,444	0,319	196,4	68,4	10,4	1954
66P/du Toit	14,7	2003,66	1,274	0,788	257,2	22,2	18,7	1944
67P/Churyumov-Gerasimenko	6,56	2002,63	1,289	0,632	11,4	50,9	7,1	1969
68P/Klemola	10,8	1998,33	1,754	0,641	154,5	175,5	11,1	1965
69P/Taylor	6,97	1997,95	1,948	0,466	355,4	108,9	20,5	1915
70P/Kojima	7,06	2007,76	2,012	0,453	2,1	119,3	6,6	1970
71P/Clark	5,51	1995,41	1,555	0,501	208,9	59,7	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

Cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (UA)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
74P/Smirnova-Chernykh	8,52	2009,58	3,553	0,149	87,4	77,1	6,6	1967
75P/Kohoutek	6,67	1994,50	1,785	0,496	175,8	269,7	5,9	1975
76P/West-Kohoutek-Ikemura	6,48	2006,89	1,603	0,538	0,1	84,1	30,5	1975
77P/Longmore	6,83	2002,68	2,310	0,358	196,4	15,0	24,4	1975
78P/Gehrels 2	7,22	2004,82	2,009	0,462	193,0	210,5	6,3	1973
79P/du Toit-Hartley	5,28	2003,13	1,230	0,594	253,1	308,0	2,9	1945
80P/Peters-Hartley	8,12	1998,61	1,624	0,598	338,4	260,0	29,9	1846
81P/Wild 2	6,39	1997,35	1,585	0,540	41,8	136,2	3,2	1978
82P/Gehrels 3	8,42	2001,67	3,626	0,124	227,7	239,6	1,1	1975
83P/Russell 1	6,10	1985,51	1,612	0,517	0,4	230,8	22,7	1979
84P/Giclas	6,97	2006,60	1,852	0,492	276,3	112,5	7,3	1931
85P/Boethin	11,2	1986,05	1,114	0,778	11,7	26,5	5,8	1975
86P/Wild 3	6,93	2001,47	2,310	0,364	179,2	72,6	15,4	1980
87P/Bus	6,51	2007,52	2,173	0,376	24,2	182,2	2,6	1981
88P/Howell	5,50	2004,28	1,367	0,561	235,8	56,8	4,4	1981
89P/Russell 2	7,41	2002,23	2,290	0,398	249,2	42,5	12,0	1980
90P/Gehrels 1	14,9	2002,48	2,966	0,509	28,2	13,5	9,6	1972
91P/Russell 3	7,66	2005,49	2,602	0,331	354,7	247,9	14,1	1983
92P/Sanguin	12,4	2002,73	1,808	0,663	163,1	182,3	18,8	1977
93P/Lovas 1	9,16	1998,79	1,693	0,613	74,6	340,0	12,2	1980
94P/Russell 4	6,58	2003,66	2,231	0,364	92,9	70,9	6,2	1984
95P/Chiron	50,6	1996,13	8,461	0,382	339,8	209,2	6,9	1977
96P/Machholz 1	5,24	2007,26	0,125	0,959	14,6	94,6	60,0	1986
97P/Metcalf-Brewington	10,5	2001,29	2,611	0,456	229,7	186,4	18,0	1906
98P/Takamizawa	7,40	2006,18	1,663	0,562	157,9	114,8	10,6	1984
99P/Kowal 1	15,1	2007,04	4,719	0,226	172,8	28,4	4,3	1977
100P/Hartley 1	6,29	2003,63	1,980	0,419	181,5	37,9	25,7	1985
101P/Chernykh	13,9	2005,99	2,350	0,594	263,2	130,3	5,1	1977
102P/Shoemaker 1	7,23	2006,43	1,974	0,472	18,5	339,9	26,3	1984
103P/Hartley 2	6,41	2004,38	1,037	0,700	180,9	219,9	13,6	1986
104P/Kowal 2	6,18	1998,17	1,397	0,585	191,9	246,1	15,5	1979
105P/Singer Brewster	6,45	2005,70	2,041	0,411	46,7	192,5	9,2	1986
106P/Schuster	7,31	2007,25	1,556	0,587	355,8	50,6	20,1	1977
107P/Wilson-Harrington	4,29	2005,53	0,993	0,624	91,3	270,6	2,8	1949
108P/Ciffreo	7,24	2000,30	1,713	0,542	358,0	53,7	13,1	1985
109P/Swift-Tuttle	$\sim$ 133	1992,95	0,960	0,963	153,0	139,4	113,5	-68
110P/Hartley 3	6,88	2008,10	2,488	0,312	167,9	287,8	11,7	1988
111P/Helin-Roman-Crockett	8,14	2004,98	3,478	0,140	10,0	92,0	4,2	1989
112P/Urata-Niijima	6,67	2006,83	1,465	0,586	21,4	31,9	24,2	1986
113P/Spitaler	7,09	2001,16	2,127	0,424	50,1	14,5	5,8	1890
114P/Wiseman-Skiff	6,68	2006,70	1,578	0,555	172,9	271,0	18,3	1986
115P/Maury	8,79	2002,98	2,041	0,521	119,9	176,8	11,7	1985
116P/Wild 4	6,49	2009,55	2,173	0,375	173,6	21,1	3,6	1990
117P/Helin-Roman-Alu 1	9,52	1997,24	3,714	0,173	215,4	73,5	9,8	1989

Cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (UA)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
118P/Shoemaker-Levy 4	6,50	2003,54	2,010	0,423	302,0	152,0	8,5	1991
119P/Parker-Hartley	8,89	2005,40	3,044	0,290	181,4	244,1	5,2	1986
120P/Mueller 1	8,43	2004,75	2,747	0,337	30,2	4,5	8,8	1987
121P/Shoemaker-Holt 2	8,02	2004,67	2,648	0,339	6,3	99,7	17,7	1989
122P/de Vico	74,3	1995,76	0,659	0,963	13,0	79,6	85,4	1846
123P/West-Hartley	7,58	2003,94	2,128	0,448	102,9	46,6	15,4	1989
124P/Mrkos	5,75	2008,32	1,468	0,543	181,3	1,4	31,3	1991
125P/Spacewatch	5,53	2007,61	1,524	0,513	87,3	153,2	10,0	1991
126P/IRAS	13,3	1996,83	1,703	0,697	356,9	357,7	46,0	1983
127P/Holt-Olmstead	6,34	2003,45	2,159	0,369	6,5	14,0	14,4	1990
128P-A/Shoemaker-Holt 1	9,51	1997,89	3,047	0,321	210,2	214,5	4,4	1987
129P/Shoemaker-Levy 3	7,24	2005,43	2,807	0,250	181,8	303,6	5,0	1991
130P/McNaught-Hughes	6,67	2004,81	2,104	0,406	224,1	89,9	7,3	1991
131P/Mueller 2	7,07	2004,97	2,424	0,342	179,8	214,2	7,3	1990
132P/Helin-Roman-Alu 2	8,28	2006,13	1,924	0,530	221,1	178,4	5,8	1989
133P/Elst-Pizarro	5,61	1996,30	2,628	0,167	133,3	160,3	1,4	1979
134P/Kowal-Vavrova	15,6	1998,89	2,575	0,587	18,7	202,3	4,3	1983
135P/Shoemaker-Levy 8	7,50	1999,94	2,721	0,290	22,6	213,3	6,1	1992
136P/Mueller 3	8,69	1999,21	3,008	0,288	225,1	137,8	9,4	1990
137P/Shoemaker-Levy 2	9,36	2000,10	1,867	0,580	141,9	234,8	4,7	1990
138P/Shoemaker-Levy 7	6,91	2005,55	1,707	0,529	95,6	309,4	10,1	1991
139P/Vaisala-Oterma	9,54	1998,75	3,382	0,248	165,6	242,5	2,3	1939
140P/Bowell-Skiff	16,2	1999,37	1,972	0,692	173,1	343,5	3,8	1983
141P-A/Machholz 2	5,23	2005,16	0,753	0,750	149,3	246,2	12,8	1994
142P/Ge-Wang	11,2	1999,47	2,497	0,501	177,4	177,1	12,2	1988
143P/Kowal-Mrkos	8,93	2009,45	2,538	0,411	320,7	245,4	4,7	1984
144P/Kushida	7,57	2001,49	1,431	0,629	216,0	245,6	4,1	1994
145P/Shoemaker-Levy 5	8,68	2000,63	1,988	0,529	6,2	29,7	11,8	1991
146P/Shoemaker-LINEAR	7,88	2000,54	1,319	0,667	317,7	55,4	21,6	1984
147P/Kushida-Muramatsu	7,42	2001,33	2,751	0,277	347,3	93,7	2,4	1994
148P/Anderson-LINEAR	7,05	2001,34	1,694	0,540	6,7	89,8	3,7	1963
149P/Mueller 4	9,01	2001,11	2,647	0,389	43,6	145,4	29,7	2001
150P/LONEOS	7,66	2001,23	1,762	0,547	245,5	272,6	18,5	1978
151P/Helin	14,1	2001,73	2,531	0,566	215,4	143,5	4,7	1987
152P/Helin-Lawrence	9,49	2002,98	3,106	0,307	164,0	92,0	9,9	1993
153P/Ikeya-Zhang	$\sim$ 367	2002,21	0,507	0,990	34,7	93,4	28,1	1661
154P/Brewington	10,7	2003,14	1,590	0,672	48,0	343,6	18,1	1992
155P/Shoemaker 3	17,1	2002,96	1,813	0,727	14,9	97,3	6,4	1986
156P/Russell-LINEAR	6,84	2000,63	1,597	0,557	357,7	39,0	20,7	1986
157P/Tritton	6,45	2003,73	1,421	0,590	147,4	300,7	7,1	1978
158P/Kowal-LINEAR	10,3	2002,56	4,595	0,028	235,5	137,3	7,9	1979
159P/LONEOS	14,3	2004,17	3,651	0,381	5,0	55,2	23,4	1989
160P/LINEAR	7,94	2004,79	2,083	0,477	18,0	337,1	17,3	1996

Cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (UA)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
161P/Hartley-IRAS	21,4	2005,47	1,275	0,835	47,2	1,6	95,8	1983
162P/Siding Spring	5,32	2004,86	1,228	0,597	356,4	31,3	27,8	1990
163P/NEAT	7,01	2005,09	1,920	0,476	347,2	103,7	12,5	2004
164P/Christensen	6,91	2004,48	1,646	0,546	325,5	88,7	16,2	1998
165P/LINEAR	76,5	2000,46	6,830	0,621	126,2	0,6	15,9	2000
166P/NEAT	51,7	2002,39	8,564	0,383	321,9	64,5	15,4	2001
167P/CINEOS	3,82	2001,28	1,784	0,270	343,7	295,8	19,1	2002
168P/Hergenrother	6,92	2005,84	1,426	0,607	13,9	356,5	21,9	1998
169P/NEAT	4,20	2005,72	0,605	0,767	217,9	176,3	11,3	1989
170P/Christensen	8,63	2006,08	2,930	0,304	225,5	143,0	10,1	1997
171P/Spahr	6,62	1999,05	1,726	0,510	346,7	102,0	22,0	1998
172P/Yeung	6,59	2002,19	2,244	0,361	178,8	40,1	11,5	1995
173P/Mueller 5	13,6	2008,38	4,213	0,262	29,7	100,6	16,5	1992
174P/Echeclus	35,3	1980,18	5,866	0,455	162,5	173,3	4,3	1979
175P/Hergenrother	6,63	2000,22	2,095	0,407	51,2	127,0	6,1	2000
176P/LINEAR	5,71	2005,81	2,581	0,192	36,1	346,6	0,2	1999
177P/Barnard 2	$\sim$ 119	2006,66	1,108	0,954	60,3	272,3	31,2	1889
178P/Hug-Bell	7,05	2006,52	1,946	0,471	296,9	103,7	11,0	1999
179P/Jedicke	14,3	1993,63	4,076	0,308	295,6	116,0	19,9	1993
180P/NEAT	7,53	2000,85	2,471	0,357	94,6	84,8	16,9	1954
181P/Shoemaker-Levy 6	7,53	2006,90	1,127	0,707	333,6	37,9	16,9	1991
182P/LONEOS	5,02	2002,08	0,977	0,667	51,4	75,1	16,9	2002
183P/Korlevic-Juric	9,60	1998,75	3,907	0,135	161,1	6,0	18,7	1955
184P/Lovas 2	6,78	2000,23	1,459	0,593	71,4	283,7	1,5	1986
185P/Petriew	5,49	2001,67	0,945	0,696	181,9	214,1	13,9	2001
186P/Garradd	10,6	2008,22	4,266	0,117	278,6	327,9	28,9	1975
187P/LINEAR	9,43	1999,36	3,711	0,169	132,0	112,0	13,7	1999
188P/LINEAR-Mueller	9,13	2007,96	2,557	0,415	26,3	359,2	10,5	1998
189P/NEAT	4,98	2007,57	1,174	0,597	15,3	282,2	20,4	2002
190P/Mueller	8,72	2007,52	2,035	0,520	49,7	336,2	2,2	1998
191P/McNaught	6,63	2007,70	2,048	0,420	274,2	106,5	8,8	2000
192P/Shoemaker-Levy 1	17,2	2007,97	1,524	0,772	311,0	51,7	24,4	1990
193P/LINEAR-NEAT	6,55	2001,45	2,043	0,417	6,4	336,3	10,9	2001
194P/LINEAR	8,03	2000,12	1,702	0,575	130,7	352,1	11,1	2000
195P/Hill	16,5	2009,06	4,437	0,315	249,7	243,3	36,4	1993
196P/Tichy	7,37	2000,76	2,154	0,431	11,8	24,4	19,4	2000
197P/LINEAR	4,86	2003,53	1,062	0,630	188,7	66,4	25,5	2003
198P/ODAS	6,77	1998,55	1,975	0,448	68,9	358,8	1,4	1998
199P/Shoemaker 4	14,5	2009,28	2,946	0,506	191,8	92,9	24,8	1994
200P/Larsen	11,0	2008,66	3,307	0,330	132,9	234,8	12,1	1997
201P/LONEOS	6,47	2002,13	1,359	0,609	24,7	35,5	7,0	2001
202P/Scotti	7,32	2001,78	2,525	0,330	255,7	194,6	2,2	1929
203P/Korlevic	9,97	2000,13	3,169	0,316	154,6	290,5	3,0	1999

Cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (UA)	e	ω (°)	Ω (°)	i (°)	Prim. apar.
204P/LINEAR-NEAT	7,00	2001,94	1,936	0,471	355,2	109,1	6,6	2001
205P/Giacobini	6,66	2008,70	1,526	0,569	154,2	179,6	15,3	1896
206P/Barnard-Boattini	5,83	2008,82	1,145	0,646	181,4	204,2	32,9	1892
207P/NEAT	7,65	2001,20	0,940	0,758	271,2	200,7	10,2	2000
208P/McMillan	8,11	2008,37	2,525	0,375	310,4	36,4	4,4	2000
209P/LINEAR	5,03	2004,26	0,912	0,689	149,7	66,5	19,2	2004
210P/Christensen	5,71	2003,27	0,549	0,828	345,5	93,9	10,1	2003
211P/Hill	6,73	2009,35	2,362	0,338	4,4	117,3	18,9	2003
212P/NEAT	7,78	2008,93	1,654	0,579	15,1	98,9	22,4	2000
213P/Van Ness	6,34	2005,11	2,128	0,379	3,1	312,7	10,2	2005
214P/LINEAR	6,84	2002,17	1,840	0,489	190,1	348,3	15,2	2002
215P/NEAT	8,10	2002,35	3,229	0,199	222,2	75,5	12,8	1994
216P/LINEAR	7,64	2001,12	2,152	0,445	151,5	360,0	9,0	2001
217P/LINEAR	7,82	2009,69	1,223	0,690	246,8	125,6	12,9	2001
218P/LINEAR	6,11	2003,37	1,703	0,490	10,5	226,8	18,1	2003
219P/LINEAR	6,98	2003,20	2,368	0,352	107,9	231,1	11,5	2002
220P/McNaught	5,50	2004,46	1,554	0,501	180,8	150,1	8,1	2004
221P/LINEAR	6,50	2002,57	1,790	0,486	39,6	230,1	11,4	2002
222P/LINEAR	4,83	2009,67	0,781	0,727	345,4	7,1	5,1	2004
223P/Skiff	8,14	2002,23	2,308	0,430	35,6	347,3	27,7	2001
224P/LINEAR-NEAT	6,11	2003,71	1,882	0,437	9,3	43,5	14,7	2003
225P/LINEAR	6,68	2002,77	1,192	0,664	1,3	15,5	20,7	2002
226P/Pigott-LINEAR-Kowalski	7,09	2003,09	1,917	0,481	357,2	55,1	46,3	2003
227P/Catalina-LINEAR	6,79	2003,89	1,793	0,500	90,2	49,9	6,5	1997
228P/LINEAR	8,49	2003,17	3,424	0,177	115,4	31,1	7,9	2001
229P/Gibbs	7,77	2009,59	2,440	0,378	224,0	158,0	26,1	2001
230P/LINEAR	6,27	2009,61	1,486	0,563	308,7	112,5	14,6	1996
231P/LINEAR-NEAT	8,05	2003,33	3,017	0,249	42,6	133,1	12,3	1950
232P/Hill	9,49	2009,75	2,983	0,334	53,4	56,1	14,6	1999
233P/La Sagra	5,29	2010,20	1,792	0,409	27,1	75,0	11,3	2004
234P/LINEAR	7,46	2009,98	2,856	0,252	358,5	179,8	11,5	2002
235P/LINEAR	8,00	2002,22	2,741	0,315	333,9	204,5	8,9	2002
236P/LINEAR	7,20	2010,69	1,831	0,509	119,4	245,7	16,3	2003
237P/LINEAR	7,22	2009,92	2,419	0,353	20,4	252,5	16,2	2002
238P/Read	5,63	2005,57	2,365	0,253	325,8	51,6	1,3	2005
239P/LINEAR	9,42	2000,13	1,640	0,632	220,2	256,2	11,3	2000
240P/NEAT	7,78	2011,08	2,311	0,411	354,6	76,9	27,4	2003
241P/LINEAR	10,7	1999,88	1,848	0,619	111,4	307,0	20,4	1999
242P/Spahr	13,2	1999,16	3,845	0,310	251,9	181,7	31,5	1999
243P/NEAT	7,50	2003,69	2,457	0,359	284,2	87,8	7,6	2003
244P/Scotti	11,3	2000,82	4,045	0,195	88,1	354,9	2,3	2000
245P/WISE	8,03	2010,10	2,140	0,466	316,4	318,5	21,1	2002

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.

Cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
7,05	148P/Anderson-LINEAR	8,63	170P/Christensen
8,24	50P/Arend	6,57	67P/Churyumov-Gerasimenko
6,61	49P/Arend-Rigaux	7,25	108P/Ciffreo
7,46	47P/Ashbrook-Jackson	3,83	167P/CINEOS
118,84	177P/Barnard	5,51	71P/Clark
5,83	206P/Barnard-Boattini	8,80	32P/Comas Sola
6,65	3D/Biela	27,39	27P/Crommelin
11,81	85P/Boethin	7,06	33P/Daniel
6,86	19P/Borrelly	6,53	6P/d'Arrest
16,18	140P/Bowell-Skiff	9,01	72D/Denning-Fujikawa
10,66	154P/Brewington	74,35	122P/de Vico
6,87	16P/Brooks 2	7,38	54P/de Vico-Swift-NEAT
5,46	5D/Brorsen	14,71	66P/du Toit
70,52	23P/Brorsen-Metcalf	5,28	79P/du Toit-Hartley
6,52	87P/Bus	6,42	57P/duToit-Neujmin-Delporte
6,79	227P/Catalina-LINEAR	35,30	174P/Echeclus
13,94	101P/Chernykh	5,61	133P/Elst-Pizarro
50,70	95P/Chiron	3,30	2P/Encke
5,71	210P/Christensen	7,52	4P/Faye
6,91	164P/Christensen	6,76	15P/Finlay

Cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
6,35	37P/Forbes	6,18	104P/Kowal 2
10,99	34D/Gale	10,27	158P/Kowal-LINEAR
10,62	186P/Garradd	8,93	143P/Kowal-Mrkos
14,85	90P/Gehrels 1	15,56	134P/Kowal-Vavrova
7,22	78P/Gehrels 2	7,60	144P/Kushida
8,11	82P/Gehrels 3	7,40	147P/Kushida-Muramatsu
11,09	142P/Ge-Wang	10,96	200P/Larsen
6,66	205P/Giacobini	5,29	233P/La Sagra
6,61	21P/Giacobini-Zinner	10,67	241P/LINEAR
7,77	229P/Gibbs	4,83	222P/LINEAR
6,96	84P/Giclas	4,86	197P/LINEAR
5,11	26P/Grigg-Skjellerup	5,04	209P/LINEAR
6,79	65P/Gunn	5,71	176P/LINEAR
75,31	1P/Halley	6,11	218P/LINEAR
7,13	51P/Harrington	6,27	230P/LINEAR
7,53	52P/Harrington-Abell	6,50	221P/LINEAR
6,06	100P/Hartley 1	6,68	225P/LINEAR
6,39	103P/Hartley 2	6,84	214P/LINEAR
6,88	110P/Hartley 3	6,98	219P/LINEAR
21,43	161P/Hartley-IRAS	7,20	236P/LINEAR
14,12	151P/Helin	7,22	237P/LINEAR
9,49	152P/Helin-Lawrence	7,46	234P/LINEAR
9,52	117P/Helin-Roman-Alu 1	7,64	216P/LINEAR
8,28	132P/Helin-Roman-Alu 2	76,54	165P/LINEAR
8,14	111P/Helin-Roman-Crockett	7,82	217P/LINEAR
6,63	175P/Hergenrother	7,94	160P/LINEAR
6,92	168P/Hergenrother	8,00	235P/LINEAR
154,91	35P/Herschel-Rigollet	8,03	194P/LINEAR
16,49	195P/Hill	8,49	228P/LINEAR
6,73	211P/Hill	9,41	187P/LINEAR
9,49	232P/Hill	9,42	239P/LINEAR
7,07	17P/Holmes	9,13	188P/LINEAR-Mueller
6,38	127P/Holt-Olmstead	6,11	224P/LINEAR-NEAT
5,26	45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	6,56	193P/LINEAR-NEAT
5,58	88P/Howell	7,00	204P/LINEAR-NEAT
7,05	178P/Hug-Bell	8,05	231P/LINEAR-NEAT
366,50	153P/Ikeya-Zhang	14,31	159P/LONEOS
13,41	126P/IRAS	5,02	182P/LONEOS
8,24	58P/Jackson-Neujmin	6,47	201P/LONEOS
14,29	179P/Jedicke	7,67	150P/LONEOS
6,97	48P/Johnson	6,83	77P/Longmore
9,50	59P/Kearns-Kwee	9,14	93P/Lovas 1
10,82	68P/Klemola	6,78	184P/Lovas 2
6,67	75D/Kohoutek	5,23	96P/Machholz 1
7,04	70P/Kojima	5,22	141P-A/Machholz 2
6,46	22P/Kopff	8,79	115P/Maury
10,00	203P/Korlevic	8,11	208P/McMillan
9,59	183P/Korlevic-Juric	5,50	220P/McNaught
15,02	99P/Kowal 1	6,63	191P/McNaught

Cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
6,69	130P/McNaught-Hughes	7,23	102P/Shoemaker 1
10,52	97P/Metcalf-Brewington	17,09	155P/Shoemaker 3
5,75	124P/Mrkos	14,54	199P/Shoemaker 4
8,72	190P/Mueller	9,51	128P-A/Shoemaker-Holt 1
8,43	120P/Mueller 1	8,02	121P/Shoemaker-Holt 2
7,05	131P/Mueller 2	17,25	192P/Shoemaker-Levy 1
8,59	136P/Mueller 3	9,31	137P/Shoemaker-Levy 2
9,02	149P/Mueller 4	7,25	129P/Shoemaker-Levy 3
13,64	173P/Mueller 5	6,51	118P/Shoemaker-Levy 4
4,20	169P/NEAT	8,66	145P/Shoemaker-Levy 5
4,98	189P/NEAT	7,53	181P/Shoemaker-Levy 6
51,67	166P/NEAT	6,89	138P/Shoemaker-Levy 7
7,01	163P/NEAT	7,50	135P/Shoemaker-Levy 8
7,50	243P/NEAT	8,08	146P/Shoemaker-LINEAR
7,54	180P/NEAT	5,32	162P/Siding Spring
7,65	207P/NEAT	6,44	105P/Singer Brewster
7,78	212P/NEAT	8,41	223P/Skiff
7,78	240P/NEAT	11,54	56P/Slaughter-Burnham
8,09	215P/NEAT	8,57	74P/Smirnova-Chernykh
18,17	28P/Neujmin 1	5,54	125P/Spacewatch
5,43	25D/Neujmin 2	13,16	242P/Spahr
10,70	42P/Neujmin 3	6,62	171P/Spahr
6,77	198P/ODAS	7,09	113P/Spitaler
69,52	13P/Olbers	37,72	38P/Stephan-Oterma
19,53	39P/Oterma	9,34	64P/Swift-Gehrels
8,89	119P/Parker-Hartley	133,28	109P/Swift-Tuttle
6,72	18D/Perrine-Mrkos	7,21	98P/Takamizawa
8,12	80P/Peters-Hartley	6,97	69P/Taylor
5,49	185P/Petriew	5,51	9P/Tempel 1
7,09	226P/Pigott-LINEAR-Kowalski	5,48	10P/Tempel 2
70,84	12P/Pons-Brooks	6,37	11P/Tempel-Swift-LINEAR
6,38	7P/Pons-Winnecke	33,24	55P/Tempel-Tuttle
5,63	238P/Read	7,37	196P/Tichy
7,32	30P/Reinmuth 1	6,38	157P/Tritton
6,63	44P/Reinmuth 2	6,63	62P/Tsuchinshan 1
6,10	83D/Russell 1	6,79	60P/Tsuchinshan 2
7,38	89P/Russell 2	13,51	8P/Tuttle
7,49	91P/Russell 3	5,43	41P/Tuttle-Giacobini-Kresak
6,58	94P/Russell 4	6,65	112P/Urata-Niijima
6,83	156P/Russell-LINEAR	10,82	40P/Vaisala 1
12,43	92P/Sanguin	9,61	139P/Vaisala-Oterma
8,25	24P/Schaumasse	12,53	53P/Van Biesbroeck
7,29	106P/Schuster	6,34	213P/Van Ness
14,66	29P/Schwassmann-Wachmann 1	7,59	123P/West-Hartley
6,39	31P/Schwassmann-Wachmann 2	6,48	76P/West-Kohoutek-Ikemura
5,34	73P/Schwassmann-Wachmann 3	61,86	20D/Westphal
11,26	244P/Scotti	8,53	36P/Whipple
7,32	202P/Scotti	13,25	63P/Wild 1
7,46	61P/Shajn-Schaldach	6,39	81P/Wild 2

Cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
6,91	86P/Wild 3	6,66	114P/Wiseman-Skiff
6,48	116P/Wild 4	8,21	14P/Wolf
4,29	107P/Wilson-Harrington	6,46	43P/Wolf-Harrington
5,45	46P/Wirtanen	6,59	172P/Yeung
8,03	245P/WISE		

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.

Las lluvias de meteoros diurnas sólo son observables con radar. Dicha

observación se basa en que la onda radio emitida es reflejada por los gases que ioniza el meteoro en la atmósfera superior.

Lluvias de meteoros

nombre	máximo	visibilidad	radiante		velocidad	ritmo
			α	δ	(km s^{-1})	(h^{-1})
Cuadrántidas	3 Ene	28 Dic - 7 Ene	229°	49°	43	145
Virgínidas	18 Mar	13 Feb - 8 Abr	183°	3°	31	20
Líridas	20 Abr	16 Abr - 25 Abr	272°	33°	47	45
η Acuáridas	5 May	21 Abr - 12 May	336°	$-1°$	64	120
Ariétidas (diurnas)	8 Jun	22 May - 2 Jul	45°	24°	39	66 (rad.)
ζ Perséidas (diurnas)	13 Jun	20 May - 5 Jul	63°	26 °	29	42 (rad.)
Escorpiónidas -Sagitáridas	18 Jun	1 Jun - 15 Jul	278°	$-25°$		20
β Táuridas (diurnas)	30 Jun	5 Jun - 18 Jul	79°	21°	32	27 (rad.)
δ Acuáridas	30 Jul	20 Jul - 14 Ago	339°	$-10°$	41	65
Perséidas	12 Ago	23 Jul - 22 Ago	48°	57°	60	200
Dracónidas	9 Oct	6 Oct - 10 Oct	262°	54°	24	
Oriónidas	21 Oct	15 Oct - 29 Oct	95°	16°	66	75
Táuridas	4 Nov	20 Oct - 25 Nov	55°	17°	30	35
Andromédidas	14 Nov	25 Sep - 6 Dic	26°	37°	20	5
Leónidas	17 Nov	14 Nov - 20 Nov	153°	22°	72	45
Gemínidas	13 Dic	6 Dic - 19 Dic	112°	33°	36	150
Úrsidas	22 Dic	17 Dic - 24 Dic	217°	76°	36	45

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 $\sim 1^\circ$ 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 $< 1^\circ$), es la altura de la Polar. Su dirección sobre el horizonte da, en primera aproximación, la del meridiano.

α **UMi**	
α_{2000}	$2^{\mathrm{h}}31^{\mathrm{m}}48\overset{\mathrm{s}}{.}70$
δ_{2000}	$89^\circ 15' 50\overset{''}{.}7$
$\mu_\alpha \cos\delta$	0,0383″ 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:

$$\phi = h - p\cos H + 0{,}00873\ (p\,\mathrm{sen}\,H)^2 \tan h$$

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:

$$a = -p\,\mathrm{sen}\,H/\cos h$$

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 en el catálogo del satélite Hipparcos

	α **UMi** HIP 11767
α_{2000}	$2^{\mathrm{h}}31^{\mathrm{m}}49^{\mathrm{s}}{,}0837$
δ_{2000}	$89^\circ 15' 50''{,}794$
$\mu_\alpha \cos\delta$	0,04422″ por año
μ_δ	–0,01175″ por año
π	0,00756″
V	2,00
$B-V$	0,59
tipo espectral (HIC)	F7 Ib-IIv C

Posición aparente de la Polar en 2011
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^h45^m	$40'$	2^h44^m	$40'$	2^h44^m	$40'$	2^h44^m	$41'$	2^h44^m	$41'$	2^h44^m	$41'$
1	86^s,16	56″,6	96^s,70	52″,5	48^s,69	54″,3	10^s,35	1″,3	1^s,64	10″,6	24^s,32	19″,5
2	85^s,01	56″,4	94^s,77	52″,5	46^s,93	54″,4	9^s,42	1″,6	1^s,94	10″,9	25^s,69	19″,7
3	83^s,75	56″,1	92^s,78	52″,5	45^s,14	54″,6	8^s,60	1″,9	2^s,34	11″,3	27^s,05	19″,9
4	82^s,35	55″,9	90^s,76	52″,5	43^s,38	54″,8	7^s,89	2″,2	2^s,84	11″,6	28^s,34	20″,1
5	80^s,82	55″,6	88^s,75	52″,5	41^s,67	54″,9	7^s,31	2″,6	3^s,39	11″,9	29^s,55	20″,3
6	79^s,19	55″,4	86^s,79	52″,5	40^s,04	55″,2	6^s,82	2″,9	3^s,94	12″,2	30^s,69	20″,5
7	77^s,49	55″,2	84^s,90	52″,5	38^s,52	55″,4	6^s,41	3″,2	4^s,47	12″,5	31^s,77	20″,7
8	75^s,76	55″,0	83^s,10	52″,6	37^s,10	55″,6	6^s,05	3″,5	4^s,95	12″,7	32^s,86	20″,9
9	74^s,04	54″,9	81^s,39	52″,7	35^s,79	55″,8	5^s,68	3″,8	5^s,35	13″,0	34^s,00	21″,1
10	72^s,36	54″,8	79^s,76	52″,7	34^s,56	56″,0	5^s,28	4″,0	5^s,69	13″,3	35^s,26	21″,4
11	70^s,74	54″,6	78^s,20	52″,8	33^s,40	56″,3	4^s,82	4″,3	6^s,00	13″,5	36^s,68	21″,6
12	69^s,19	54″,5	76^s,68	52″,8	32^s,26	56″,5	4^s,28	4″,6	6^s,34	13″,8	38^s,24	21″,9
13	67^s,72	54″,4	75^s,14	52″,8	31^s,09	56″,6	3^s,68	4″,8	6^s,76	14″,2	39^s,93	22″,1
14	66^s,32	54″,3	73^s,55	52″,9	29^s,87	56″,8	3^s,07	5″,1	7^s,34	14″,5	41^s,67	22″,3
15	64^s,96	54″,2	71^s,85	52″,9	28^s,57	57″,0	2^s,51	5″,5	8^s,09	14″,8	43^s,41	22″,4
16	63^s,58	54″,0	70^s,04	52″,9	27^s,17	57″,2	2^s,08	5″,8	9^s,00	15″,2	45^s,08	22″,6
17	62^s,15	53″,8	68^s,12	52″,9	25^s,71	57″,4	1^s,83	6″,2	10^s,02	15″,5	46^s,64	22″,7
18	60^s,62	53″,7	66^s,15	53″,0	24^s,26	57″,6	1^s,76	6″,5	11^s,08	15″,8	48^s,10	22″,8
19	58^s,94	53″,5	64^s,22	53″,1	22^s,90	57″,8	1^s,83	6″,9	12^s,09	16″,0	49^s,48	23″,0
20	57^s,12	53″,3	62^s,40	53″,2	21^s,69	58″,1	1^s,98	7″,2	13^s,02	16″,2	50^s,83	23″,1
21	55^s,21	53″,2	60^s,73	53″,4	20^s,66	58″,4	2^s,12	7″,5	13^s,86	16″,5	52^s,17	23″,3
22	53^s,27	53″,1	59^s,21	53″,5	19^s,80	58″,7	2^s,19	7″,8	14^s,61	16″,7	53^s,55	23″,5
23	51^s,38	53″,1	57^s,79	53″,7	19^s,02	59″,0	2^s,17	8″,0	15^s,31	17″,0	55^s,01	23″,7
24	49^s,60	53″,0	56^s,42	53″,8	18^s,26	59″,2	2^s,08	8″,3	16^s,00	17″,2	56^s,56	23″,8
25	47^s,94	53″,0	55^s,03	53″,9	17^s,47	59″,5	1^s,92	8″,6	16^s,72	17″,5	58^s,21	24″,0
26	46^s,39	53″,0	53^s,57	54″,0	16^s,60	59″,7	1^s,74	8″,9	17^s,50	17″,8	59^s,96	24″,2
27	44^s,90	52″,9	52^s,03	54″,1	15^s,64	59″,9	1^s,57	9″,2	18^s,38	18″,1	61^s,80	24″,4
28	43^s,41	52″,8	50^s,40	54″,2	14^s,61	60″,2	1^s,44	9″,5	19^s,36	18″,4	63^s,71	24″,5
29	41^s,88	52″,8			13^s,54	60″,4	1^s,40	9″,9	20^s,46	18″,7	65^s,64	24″,6
30	40^s,27	52″,7			12^s,44	60″,7	1^s,46	10″,2	21^s,67	19″,0	67^s,56	24″,7
31	38^s,54	52″,6			11^s,37	61″,0			22^s,96	19″,2		

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 2011
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^h45^m	$41'$	2^h46^m	$41'$	2^h47^m	$41'$	2^h47^m	$41'$	2^h48^m	$40'$	2^h47^m	$40'$
1	$9^s.41$	$24''.8$	$7^s.79$	$25''.7$	$6^s.77$	$21''.9$	$54^s.80$	$14''.4$	$24^s.42$	$63''.8$	$84^s.96$	$52''.7$
2	$11^s.18$	$24''.9$	$9^s.53$	$25''.6$	$8^s.72$	$21''.8$	$56^s.38$	$14''.0$	$24^s.83$	$63''.4$	$84^s.27$	$52''.3$
3	$12^s.86$	$24''.9$	$11^s.33$	$25''.6$	$10^s.76$	$21''.6$	$57^s.87$	$13''.7$	$25^s.13$	$63''.0$	$83^s.58$	$52''.0$
4	$14^s.45$	$25''.0$	$13^s.24$	$25''.6$	$12^s.81$	$21''.4$	$59^s.23$	$13''.4$	$25^s.52$	$62''.3$	$82^s.94$	$51''.7$
5	$16^s.02$	$25''.1$	$15^s.28$	$25''.5$	$14^s.82$	$21''.1$	$60^s.44$	$13''.0$	$25^s.69$	$61''.9$	$82^s.35$	$51''.4$
6	$17^s.61$	$25''.2$	$17^s.43$	$25''.5$	$16^s.73$	$20''.9$	$61^s.53$	$12''.7$	$25^s.89$	$61''.6$	$81^s.81$	$51''.2$
7	$19^s.30$	$25''.3$	$19^s.66$	$25''.4$	$18^s.51$	$20''.6$	$62^s.52$	$12''.3$	$26^s.12$	$61''.3$	$81^s.30$	$50''.9$
8	$21^s.11$	$25''.4$	$21^s.89$	$25''.4$	$20^s.17$	$20''.4$	$63^s.45$	$12''.0$	$26^s.42$	$60''.9$	$80^s.81$	$50''.6$
9	$23^s.06$	$25''.5$	$24^s.08$	$25''.3$	$21^s.73$	$20''.1$	$64^s.36$	$11''.7$	$26^s.76$	$60''.6$	$80^s.31$	$50''.2$
10	$25^s.13$	$25''.6$	$26^s.17$	$25''.1$	$23^s.21$	$19''.9$	$65^s.28$	$11''.4$	$27^s.13$	$60''.3$	$79^s.76$	$49''.9$
11	$27^s.26$	$25''.7$	$28^s.14$	$25''.0$	$24^s.65$	$19''.6$	$66^s.24$	$11''.1$	$27^s.50$	$59''.9$	$79^s.12$	$49''.6$
12	$29^s.40$	$25''.8$	$30^s.01$	$24''.8$	$26^s.08$	$19''.4$	$67^s.26$	$10''.8$	$27^s.85$	$59''.5$	$78^s.37$	$49''.2$
13	$31^s.49$	$25''.8$	$31^s.78$	$24''.7$	$27^s.55$	$19''.2$	$68^s.33$	$10''.5$	$28^s.14$	$59''.2$	$77^s.50$	$48''.9$
14	$33^s.48$	$25''.8$	$33^s.49$	$24''.6$	$29^s.08$	$19''.0$	$69^s.45$	$10''.2$	$28^s.33$	$58''.8$	$76^s.50$	$48''.6$
15	$35^s.35$	$25''.8$	$35^s.19$	$24''.5$	$30^s.67$	$18''.8$	$70^s.60$	$9''.9$	$28^s.40$	$58''.4$	$75^s.42$	$48''.2$
16	$37^s.13$	$25''.8$	$36^s.92$	$24''.4$	$32^s.32$	$18''.5$	$71^s.76$	$9''.5$	$28^s.35$	$58''.0$	$74^s.29$	$48''.0$
17	$38^s.84$	$25''.8$	$38^s.69$	$24''.3$	$34^s.03$	$18''.3$	$72^s.88$	$9''.2$	$28^s.19$	$57''.6$	$73^s.17$	$47''.7$
18	$40^s.51$	$25''.8$	$40^s.54$	$24''.2$	$35^s.77$	$18''.1$	$73^s.93$	$8''.8$	$27^s.95$	$57''.2$	$72^s.11$	$47''.4$
19	$42^s.20$	$25''.8$	$42^s.46$	$24''.1$	$37^s.51$	$17''.8$	$74^s.90$	$8''.4$	$27^s.67$	$56''.9$	$71^s.14$	$47''.2$
20	$43^s.94$	$25''.9$	$44^s.46$	$24''.0$	$39^s.22$	$17''.5$	$75^s.74$	$8''.0$	$27^s.42$	$56''.5$	$70^s.28$	$47''.0$
21	$45^s.75$	$25''.9$	$46^s.52$	$23''.9$	$40^s.86$	$17''.2$	$76^s.47$	$7''.7$	$27^s.25$	$56''.2$	$69^s.50$	$46''.7$
22	$47^s.65$	$26''.0$	$48^s.60$	$23''.7$	$42^s.40$	$16''.9$	$77^s.09$	$7''.3$	$27^s.20$	$55''.9$	$68^s.73$	$46''.4$
23	$49^s.64$	$26''.0$	$50^s.69$	$23''.6$	$43^s.83$	$16''.6$	$77^s.65$	$6''.9$	$27^s.24$	$55''.6$	$67^s.90$	$46''.2$
24	$51^s.71$	$26''.0$	$52^s.75$	$23''.4$	$45^s.14$	$16''.3$	$78^s.20$	$6''.6$	$27^s.34$	$55''.3$	$66^s.95$	$45''.8$
25	$53^s.84$	$26''.0$	$54^s.73$	$23''.2$	$46^s.36$	$16''.0$	$78^s.81$	$6''.3$	$27^s.40$	$54''.9$	$65^s.84$	$45''.5$
26	$56^s.01$	$26''.0$	$56^s.60$	$23''.0$	$47^s.55$	$15''.7$	$79^s.54$	$6''.0$	$27^s.36$	$54''.5$	$64^s.57$	$45''.2$
27	$58^s.17$	$26''.0$	$58^s.35$	$22''.8$	$48^s.79$	$15''.4$	$80^s.39$	$5''.7$	$27^s.16$	$54''.1$	$63^s.17$	$45''.0$
28	$60^s.28$	$26''.0$	$60^s.01$	$22''.6$	$50^s.13$	$15''.2$	$81^s.33$	$5''.3$	$26^s.79$	$53''.7$	$61^s.70$	$44''.7$
29	$62^s.31$	$25''.9$	$61^s.61$	$22''.4$	$51^s.60$	$14''.9$	$82^s.27$	$5''.0$	$26^s.27$	$53''.3$	$60^s.20$	$44''.5$
30	$64^s.23$	$25''.8$	$63^s.23$	$22''.2$	$53^s.18$	$14''.7$	$83^s.13$	$4''.6$	$25^s.65$	$53''.0$	$58^s.71$	$44''.3$
31	$66^s.04$	$25''.7$	$64^s.93$	$22''.1$			$83^s.86$	$4''.2$			$57^s.27$	$44''.1$

El día 3 de noviembre la Polar culmina dos veces en Greenwich, siendo las coordenadas en su segundo paso: $\alpha = 2^h48^m25^s.34$ y $p = 41'2''.6$.

Distancia polar:

$$p = 90^\circ - \delta$$

Declinación de la Polar:

$$\delta = 90^\circ - p$$

Mínimos de β Persei (Algol)

fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora	
Ene 3	20^h36^m	Abr 2	18^h06^m	Jul 3	12^h13^m	Oct 3	06^h11^m
Ene 6	17^h25^m	Abr 5	14^h55^m	Jul 6	09^h02^m	Oct 6	02^h59^m
Ene 9	14^h14^m	Abr 8	11^h44^m	Jul 9	05^h51^m	Oct 8	23^h48^m
Ene 12	11^h04^m	Abr 11	08^h33^m	Jul 12	02^h40^m	Oct 11	20^h37^m
Ene 15	07^h53^m	Abr 14	05^h23^m	Jul 14	23^h28^m	Oct 14	17^h26^m
Ene 18	04^h42^m	Abr 17	02^h12^m	Jul 17	20^h17^m	Oct 17	14^h14^m
Ene 21	01^h32^m	Abr 19	23^h01^m	Jul 20	17^h06^m	Oct 20	11^h03^m
Ene 23	22^h21^m	Abr 22	19^h50^m	Jul 23	13^h54^m	Oct 23	07^h52^m
Ene 26	19^h10^m	Abr 25	16^h39^m	Jul 26	10^h43^m	Oct 26	04^h41^m
Ene 29	16^h00^m	Abr 28	13^h28^m	Jul 29	07^h32^m	Oct 29	01^h30^m
Feb 1	12^h49^m	May 1	10^h17^m	Ago 1	04^h20^m	Oct 31	22^h19^m
Feb 4	09^h39^m	May 4	07^h07^m	Ago 4	01^h09^m	Nov 3	19^h08^m
Feb 7	06^h28^m	May 7	03^h56^m	Ago 6	21^h58^m	Nov 6	15^h56^m
Feb 10	03^h17^m	May 10	00^h45^m	Ago 9	18^h46^m	Nov 9	12^h45^m
Feb 13	00^h07^m	May 12	21^h34^m	Ago 12	15^h35^m	Nov 12	09^h34^m
Feb 15	20^h56^m	May 15	18^h23^m	Ago 15	12^h23^m	Nov 15	06^h23^m
Feb 18	17^h45^m	May 18	15^h12^m	Ago 18	09^h12^m	Nov 18	03^h12^m
Feb 21	14^h35^m	May 21	12^h01^m	Ago 21	06^h01^m	Nov 21	00^h01^m
Feb 24	11^h24^m	May 24	08^h50^m	Ago 24	02^h49^m	Nov 23	20^h50^m
Feb 27	08^h14^m	May 27	05^h39^m	Ago 26	23^h38^m	Nov 26	17^h39^m
Mar 2	05^h03^m	May 30	02^h28^m	Ago 29	20^h27^m	Nov 29	14^h28^m
Mar 5	01^h52^m	Jun 1	23^h17^m	Set 1	17^h15^m	Dic 2	11^h17^m
Mar 7	22^h42^m	Jun 4	20^h05^m	Set 4	14^h04^m	Dic 5	08^h07^m
Mar 10	19^h31^m	Jun 7	16^h54^m	Set 7	10^h52^m	Dic 8	04^h56^m
Mar 13	16^h20^m	Jun 10	13^h43^m	Set 10	07^h41^m	Dic 11	01^h45^m
Mar 16	13^h10^m	Jun 13	10^h32^m	Set 13	04^h30^m	Dic 13	22^h34^m
Mar 19	09^h59^m	Jun 16	07^h21^m	Set 16	01^h18^m	Dic 16	19^h23^m
Mar 22	06^h48^m	Jun 19	04^h10^m	Set 18	22^h07^m	Dic 19	16^h12^m
Mar 25	03^h38^m	Jun 22	00^h58^m	Set 21	18^h56^m	Dic 22	13^h02^m
Mar 28	00^h27^m	Jun 24	21^h47^m	Set 24	15^h44^m	Dic 25	09^h51^m
Mar 30	21^h16^m	Jun 27	18^h36^m	Set 27	12^h33^m	Dic 28	06^h40^m
		Jun 30	15^h25^m	Set 30	09^h22^m	Dic 31	03^h29^m

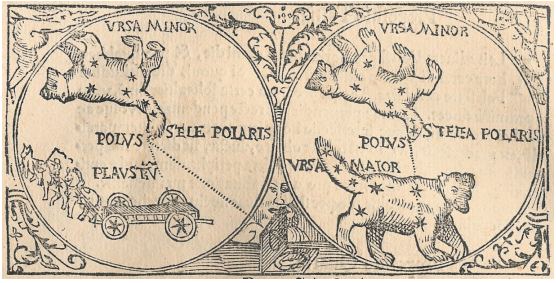
Mínimos de β Lyrae

fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora		fecha y hora	
Ene 3	02^h11^m	Abr 3	16^h23^m	Jul 3	06^h34^m	Oct 1	20^h54^m
Ene 16	00^h47^m	Abr 16	14^h59^m	Jul 16	05^h11^m	Oct 14	19^h32^m
Ene 28	23^h24^m	Abr 29	13^h34^m	Jul 29	03^h48^m	Oct 27	18^h10^m
Feb 10	22^h00^m	May 12	12^h10^m	Ago 11	02^h25^m	Nov 9	16^h47^m
Feb 23	20^h36^m	May 25	10^h46^m	Ago 24	01^h02^m	Nov 22	15^h25^m
Mar 8	19^h12^m	Jun 7	09^h22^m	Set 5	23^h39^m	Dic 5	14^h02^m
Mar 21	17^h47^m	Jun 20	07^h58^m	Set 18	22^h17^m	Dic 18	12^h39^m
						Dic 31	11^h16^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
V Cas	23 12	+59 42	6,9	13,4	228	Ene 08
R Vul	21 04	+23 49	7,0	14,3	136	Ene 13
R Aqr	23 44	−15 17	5,8	12,4	386	Ene 29
R LMi	09 46	+34 31	6,3	13,2	371	Feb 06
R Peg	23 07	+10 33	6,9	13,8	378	Feb 07
RT Cyg	19 44	+48 47	6,4	12,7	190	Feb 10
χ Cyg	19 51	+32 55	3,3	14,2	406	Feb 10
R Aql	19 06	+08 14	5,5	12,0	284	Feb 17
R Tri	02 37	+34 16	5,4	12,6	266	Feb 17
T UMa	12 36	+59 29	6,6	13,4	256	Feb 19
R Dra	16 33	+66 45	6,7	13,0	245	Feb 22
S Vir	13 33	−07 12	6,3	13,2	377	Feb 24
R Vir	12 39	+06 59	6,0	12,1	145	Mar 01
T Cep	21 10	+68 29	5,2	11,3	388	Mar 03
U Ori	05 56	+20 10	4,8	12,6	372	Mar 08
V Mon	06 23	−02 12	6,0	13,7	333	Mar 19
R Lep	05 00	−14 48	5,5	11,7	432	Mar 22
T Her	18 09	+31 01	6,8	13,9	165	Abr 11
R Cyg	19 37	+50 12	6,1	14,2	426	Abr 13
T Cas	00 23	+55 48	6,9	13,0	444	Abr 14
U Cyg	20 20	+47 54	5,9	12,1	462	May 02
R Cas	23 58	+51 24	4,7	13,5	430	May 18
S UMa	12 44	+61 06	7,0	12,4	226	May 20
R Leo	09 48	+11 26	4,4	11,3	312	May 24
R Sgr	19 17	−19 18	6,7	12,8	268	May 28
R Boo	14 37	+26 44	6,2	12,1	223	May 30
SS Vir	12 25	+00 48	6,0	9,6	354	Jun 27
U Cet	02 34	−13 09	6,8	13,4	234	Jul 03
S Her	16 52	+14 56	6,4	13,8	307	Jul 29
V Oph	16 27	−12 26	7,3	11,6	297	Ago 11
S Peg	23 21	+08 55	7,1	13,8	319	Ago 26
R Cnc	08 17	+11 44	6,1	11,8	361	Ago 28
R Ser	15 51	+15 08	5,2	14,4	356	Set 03
T Hya	08 56	−09 08	6,7	13,2	289	Set 08
R Crv	12 20	−19 15	6,7	14,4	317	Set 10
o Cet	02 19	−02 59	2,0	10,0	331	Set 12
W And	02 18	+44 18	6,7	14,6	395	Set 15
S CrB	15 21	+31 22	5,8	14,1	360	Set 16
R UMa	10 45	+68 47	6,7	13,4	301	Set 22
S CMi	07 33	+08 19	6,6	13,2	332	Oct 09
R Aur	05 17	+53 35	6,7	13,9	457	Oct 18
X Oph	18 38	+08 50	5,9	9,2	334	Oct 21
R And	00 24	+38 35	5,8	14,9	409	Nov 19
R Hya	13 30	−23 17	3,0	11,0	389	Nov 27
V CrB	15 50	+39 34	6,9	12,6	357	Dic 22

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 1,31 parsecs (4,3 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 5,2 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 12000 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.

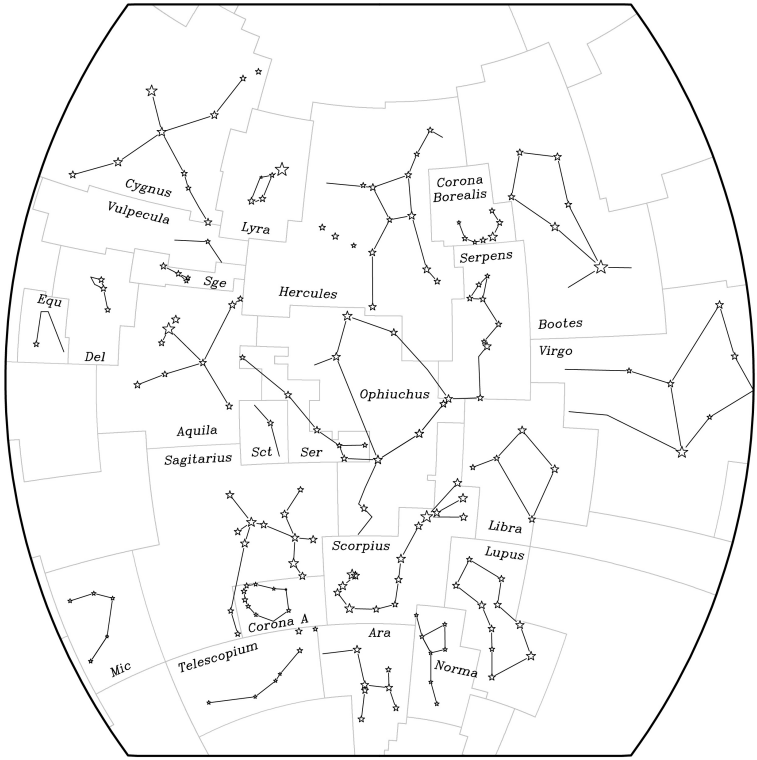
Constelaciones

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

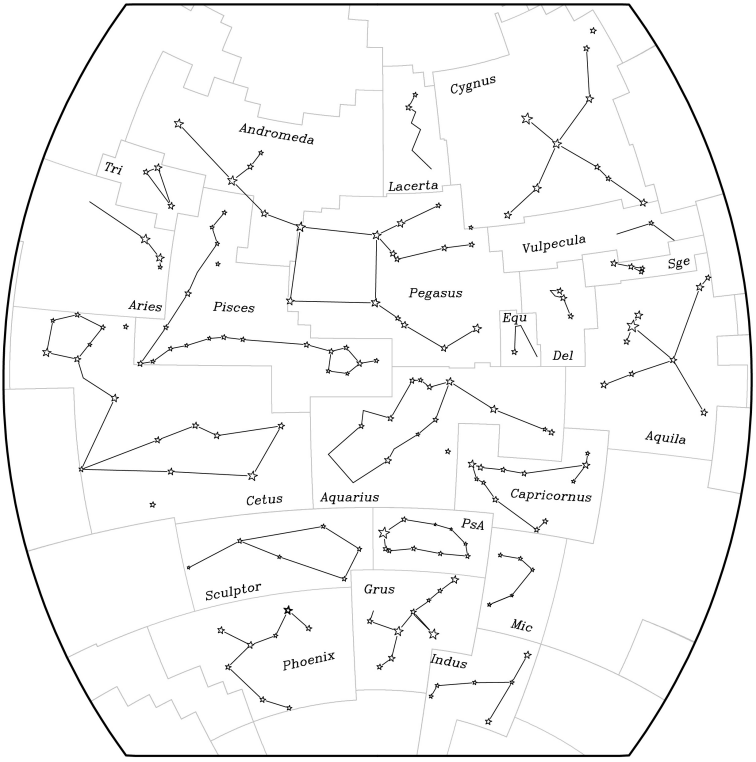
Constelaciones (cont.)

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

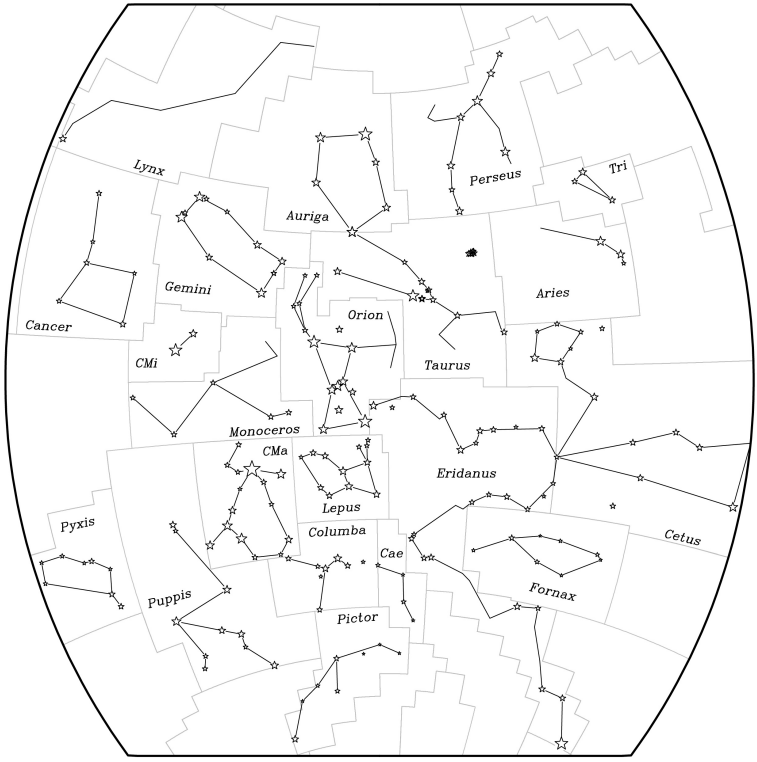
N_* es el número aproximado de estrellas más brillantes que la magnitud 6.



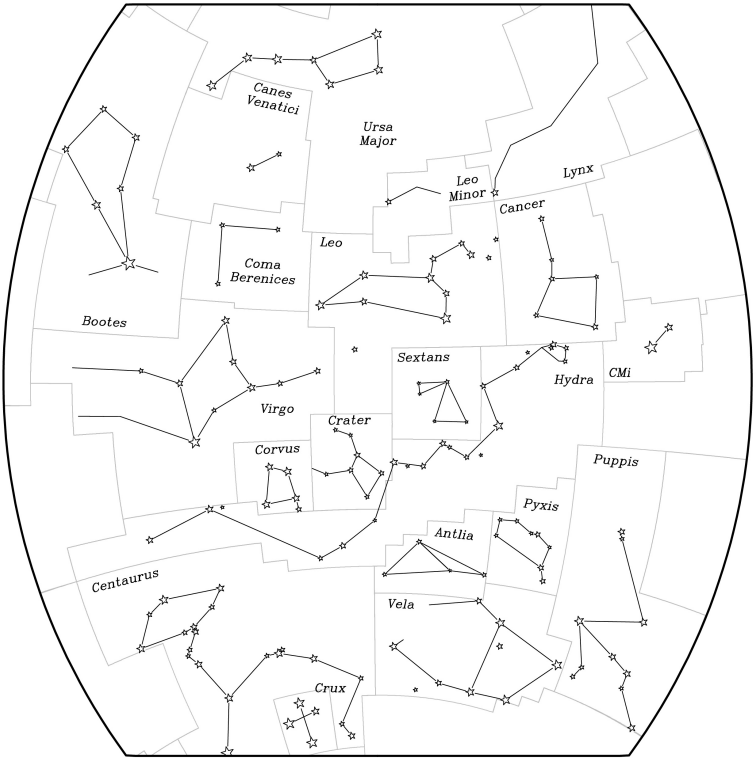
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, y con ascensiones rectas desde 13 a 21 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



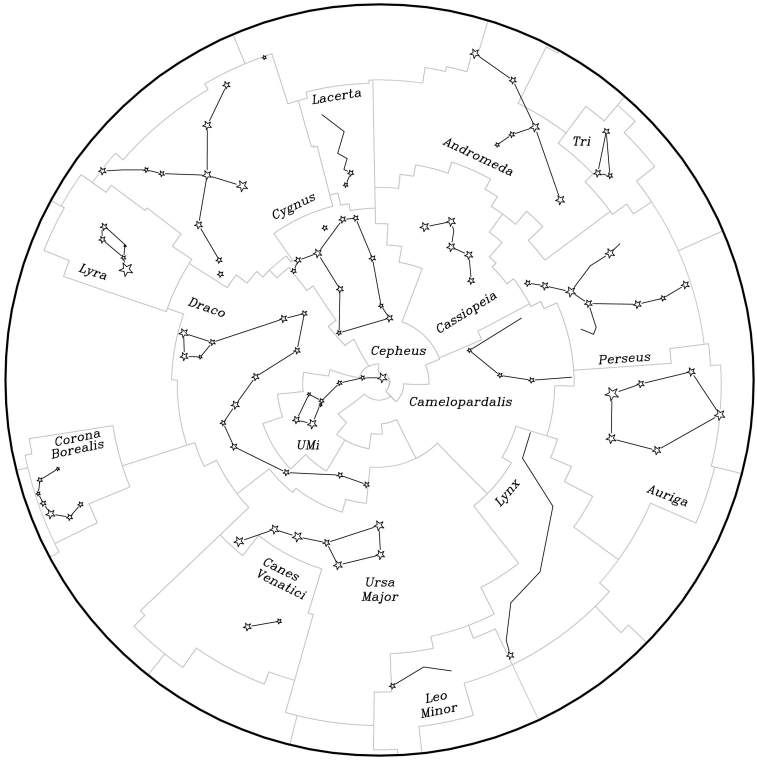
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, y con ascensiones rectas desde 19 a 3 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



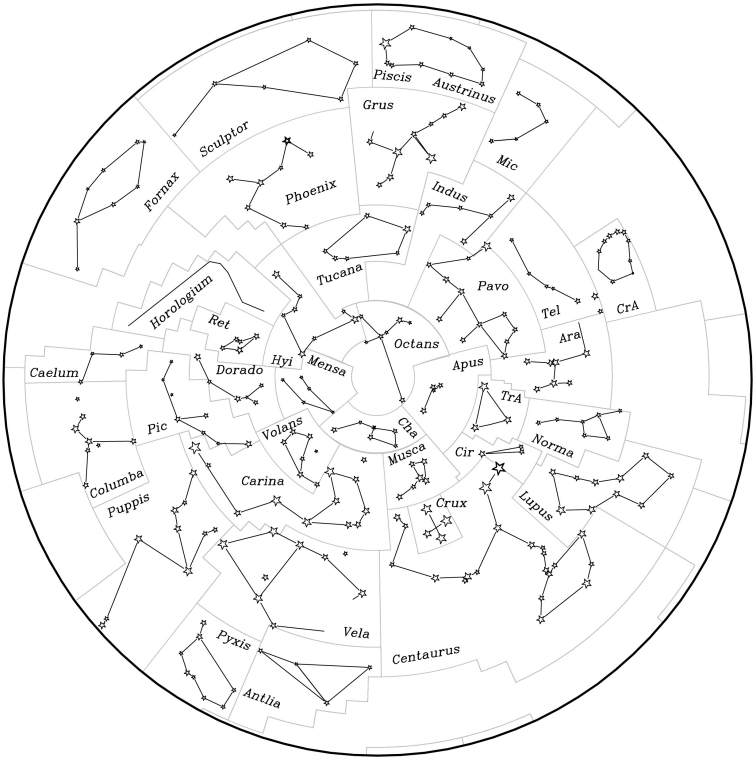
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, y con ascensiones rectas desde 1 a 9 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de -65° y $+65^\circ$, 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	2,85
Estérope	21 Tauri	3 45 54	24 33 16	5,76
Atlas	27 Tauri	3 49 10	24 03 12	3,63
Celeno	16 Tauri	3 44 48	24 17 21	5,45
Electra	17 Tauri	3 44 53	24 06 48	3,70
Maya	20 Tauri	3 45 50	24 22 03	3,88
Mérope	23 Tauri	3 46 20	23 56 54	4,18
Pléyone	28 Tauri	3 49 11	24 08 12	5,06
Táigete	19 Tauri	3 45 13	24 28 02	4,30

La estrella Atlas es una binaria con un periodo de 291 días.

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 Sheilak 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	0,194	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 dos 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/`). Cumplen, entre otras, las siguientes condiciones: la primaria es más brillante que magnitud 5, la secundaria es más brillante que la magnitud 8 y su separación es mayor que una cierta cantidad que es función de la diferencia

de brillos. Con tales criterios se pretende facilitar la identificación de las estrellas y su observación.

Las separaciones y ángulos de posición han sido calculados para el año actual en aquellos pocos casos en que se dispone de elementos orbitales precisos, estos casos están marcados con un asterisco.

Estrellas dobles o múltiples

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	componentes	magnitudes prim.	magnitudes sec.	separ. ($''$)	A.P. ($^\circ$)
η Cas	00 49,1	+57 49	AB	3,52	7,36	13,2*	322*
γ And	02 03,9	+42 20	A–BC	2,31	5,02	9,8	65
γ Cet	02 43,3	+03 14	AB	3,54	6,18	2,3	298
η Tau	03 47,5	+24 06	AB	2,83	6,27	117,5	290
32 Eri	03 54,3	−02 57	AB	4,80	5,89	7,2	353
κ Tau	04 25,4	+22 18	AB	4,22	5,29	339,7	174
β Ori	05 14,5	−08 12	A–BC	0,30	6,80	9,3	204
β lep	05 28,2	−20 46	AB	2,90	7,50	2,2	339
δ Ori	05 32,0	−00 18	Aa–C	2,41	6,83	52,8	359
λ Ori	05 35,1	+09 56	AB	3,51	5,45	4,9	50
ι Ori	05 35,4	−05 55	AB	2,90	7,00	10,2	135
σ Ori	05 38,7	−02 36	AB–D	3,73	6,56	12,1	85
σ Ori	05 38,7	−02 36	AB–E	3,73	6,34	42,2	62
ζ Ori	05 40,8	−01 57	Aa-B	1,88	3,70	2,2*	166*
γ Lep	05 44,5	−22 27	AB	3,64	6,28	95,6	348
θ Aur	06 59,7	+37 13	AB	2,60	7,20	4,0	304
ζ CMa	06 20,3	−30 04	AB	2,96	7,81	174,2	338
ε CMa	06 58,6	−28 58	AB	1,50	7,50	7,0	161
γ Vol	07 08,7	−70 30	AB	3,86	5,43	14,4	296
π Pup	07 17,1	−37 06	AB	2,89	7,94	66,5	213
η CMa	07 24,1	−29 18	AB	2,45	6,77	179,0	286
α Gem	07 34,6	+31 53	AB	1,93	2,97	4,7*	57*
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
ι Cnc	08 46,7	+28 46	AB	4,13	5,99	30,6	309
ε Hya	08 46,8	+06 25	AB–C	3,49	6,66	2,9*	306*
38 Lyn	09 18,8	+36 48	A–Bb	3,92	6,09	2,8	226
υ Car	09 47,1	−65 04	AB	3,02	6,00	5,0	129
ζ Leo	10 16,7	+23 25	AB	3,46	6,03	333,8	338
γ Leo	10 20,0	+19 50	AB	2,37	3,64	4,6*	126*
x Vel	10 39,3	−55 36	AB	4,38	6,06	51,7	105
μ Vel	10 46,8	−49 25	AB	2,82	5,65	2,6*	56*
u Car	10 53,5	−58 51	AB	3,88	6,23	159,4	204
54 Leo	10 55,6	+24 45	AB	4,48	6,30	6,1	114
α UMa	11 03,7	+61 45	AC	2,02	7,19	380,6	204

Estrellas dobles o múltiples

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	componentes	magnitudes prim.	magnitudes sec.	separ. ($''$)	A.P. ($^\circ$)
δ Cen	12 08,4	−50 43	AB	2,51	4,42	269,1	325
δ Cen	12 08,4	−50 43	AC	2,51	6,35	216,9	227
α Cru	12 26,6	−63 06	AC	1,25	4,80	90,6	203
α Cru	12 26,6	−63 06	BC	2,30	6,00	90,6	205
γ Cru	12 31,2	−57 07	AB	1,83	6,45	125,2	27
β Cru	12 47,7	−59 41	AC	1,28	7,17	373,1	23
μ Cru	12 54,6	−57 11	AB	3,94	4,95	34,6	17
α CVn	12 56,0	+38 19	AB	2,85	5,52	18,8	230
J Cen	13 22,6	−60 59	AB–C	4,49	6,15	60,7	346
ζ UMa	13 23,9	+54 56	AB	2,23	3,88	14,3	153
ζ UMa	13 23,9	+54 56	AC	2,23	4,01	706,1	70
ζ UMa	13 23,9	+54 56	AD	2,23	7,60	492,3	102
3 Cen	13 51,8	−33 00	AB	4,50	5,97	8,4	105
α Cen	14 39,7	−60 50	AB	0,14	1,24	6,1*	251*
ε Boo	14 45,0	+27 04	AB	2,58	4,81	3,0	343
α Lib	14 50,9	−16 02	AB	2,74	5,19	231,1	315
κ Lup	15 11,9	−48 44	AB	3,83	5,52	26,2	143
ζ Lup	15 12,3	−52 06	AB	3,50	6,74	71,2	252
η Lup	16 00,1	−38 24	AB	3,37	7,50	14,4	20
β Sco	16 05,4	−19 48	AC	2,59	4,52	14,2	21
ν Sco	16 12,0	−19 28	Aa–C	4,21	6,60	39,4	336
ε Nor	16 27,2	−47 33	AB	4,51	6,12	22,8	335
α Sco	16 29,4	−26 26	AB	0,96	5,40	2,6*	277*
α Her	17 14,6	+14 23	Aa–B	3,48	5,40	4,6*	103*
θ Sco	17 37,3	−43 00	AB	1,97	5,36	6,5	315
ψ Dra	17 41,9	+72 09	AB	4,60	5,59	29,6*	17*
70 Oph	18 05,5	+02 30	AB	4,22	6,17	5,8*	130*
ζ Lyr	18 44,8	+37 36	AD	4,34	5,62	42,2	148
β Lyr	18 50,1	+33 22	AB	3,63	6,69	45,1	147
θ Ser	18 56,2	+04 12	AB	4,59	4,93	22,4	104
α Vul	19 28,7	+24 40	AB	4,61	5,93	424,3	28
β Cyg	19 30,7	+27 58	Aa–B	3,19	4,68	34,6	55
δ Cyg	19 45,0	+45 08	AB	2,89	6,27	2,7*	219*
ε Dra	19 48,2	+70 16	AB	4,01	6,87	4,8	341
o Cyg	20 13,6	+46 44	Aa–C	3,93	6,97	106,7	174
β Cap	20 21,0	−14 47	Aa–Ba	3,15	6,08	206,0	267
γ Cyg	20 22,2	+40 15	A–BC	2,27	5,50	141,0	196
γ Del	20 46,7	+16 07	AB	4,36	5,03	9,1*	265*
γ Equ	21 10,3	+10 08	AD	4,70	6,06	334,6	152
ξ Cep	22 03,8	+64 38	Aa–B	4,45	6,40	8,4*	274*
ζ Aqr	22 28,8	−00 01	AB	4,34	4,49	2,2*	170*
δ Cep	22 29,2	+58 25	AC	4,21	6,11	40,8	187

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 282. 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 283.

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 β 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 $\mathcal{M}_\odot$	1,9891 10^{30} kg
1 $\mathcal{L}_\odot$	3,826 10^{26} W
1 pc	3,0856 10^{16} m
1 kpc	3,0856 10^{19} m

La Vía Láctea

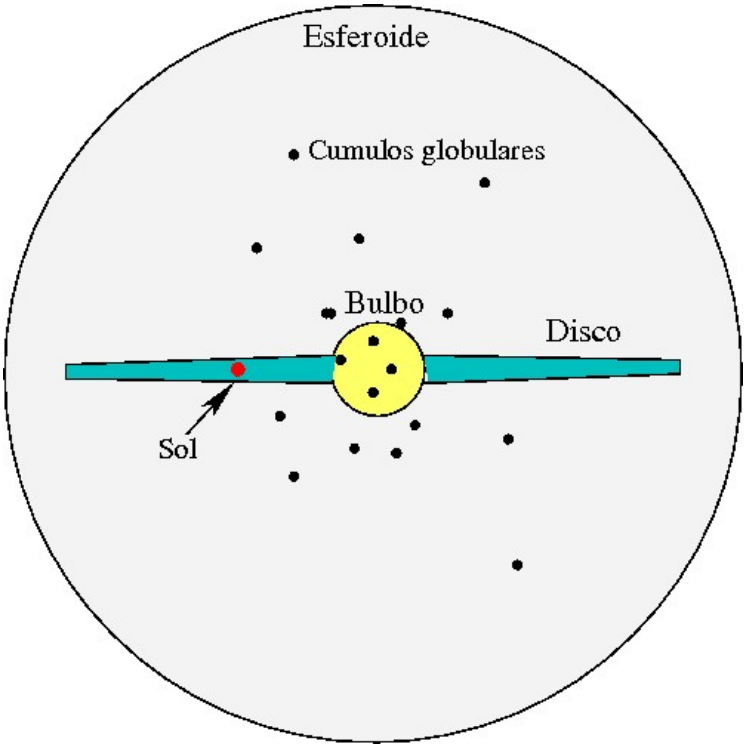
Características globales de la galaxia:

tipo morfológico	Sbc, SbI-II
masa incluyendo el halo invisible	$\sim 10^{12}\ \mathcal{M}_\odot$
masa excluyendo el halo invisible	$2\ 10^{11}\ \mathcal{M}_\odot$
diámetro del halo	40–50 kpc
dirección del polo norte galáctico	$\alpha = 12^{\rm h}51^{\rm m}26^{\rm s}$, $\delta = +27^\circ 07' 42''$
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	$3{,}6\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$
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	$3{,}0\ 10^9\ \mathcal{M}_\odot$
Esferoide:	
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	$0{,}2\ 10^{10}\ \mathcal{L}_\odot$

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)	$\alpha = 17^{\rm h}45^{\rm m}37^{\rm s}$, $\delta = -28^\circ 56' 10''$

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.

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 150 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 (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 (frío, caliente; difuso, denso; neutro, ionizado) constituyendo el denominado **medio interestelar**. En él destacan una serie de objetos, que se distiguen 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 (inical, final) puede dar lugar a varios tipos de nebulosas: nebulosas de emisión (o regiones HII), nebulosas de reflexión, nebulosas planetarias y remanentes 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 nebulosas preplanetarias y 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, 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 (Dumbbell)*	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		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.

M102 puede corresponder a la galaxia espiral NGC 5866 (cuyas coordenadas son $\alpha_{2000} = 15^h06\overset{m}{,}5$, $\delta_{2000} = +55^\circ46'$) o a una observación duplicada de M101.

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

Galaxias del Grupo Local

nombre	α_{2000} (^{h} ^{m})	δ_{2000} ($^\circ$ $'$)	mag. B_T	tamaño ($'\times'$)	tipo	dist. (kpc)
Andrómeda, M31	00 42,7	41 16	3,4	178×63	Sb	730
Vía Láctea	17 45,6	−28 56			Sb+	(8,5)
Triángulo, M33	01 33,9	30 39	5,7	62×39	Sc	900
Gran N. Magallanes	05 23,6	−69 45	0,1	650×550	SBm	50
IC 10	00 20,4	59 18	10,3	5×4	Ir+	1300
Peq. N. Magallanes	00 52,7	−72 50	2,3	280×160	SBmp	60
NGC 205, M110	00 40,4	41 41	8,0	17×10	E6	730
NGC 221, M32	00 42,7	40 52	8,2	8×6	E2	730
NGC 6822	19 44,9	−14 48	9	10×10	Ir+	520
NGC 185	00 39,0	48 20	9,2	12×10	dE0	730
NGC 147	00 33,2	48 30	9,3	13×8	dE4	730
IC 1613	01 04,8	02 07	9,3	12×11	Ir+	740
Sistema WLM	00 02,0	−15 28	10,9	12×4	Ir+	1600
Leo A	09 59,4	30 45	12,6	5×3	Ir+	2300
Enana de Fornax	02 39,9	−34 32	8	20×14	dE3	130
IC 5152	22 02,9	−51 17	11	5×3	Ir+	1500
Enana de Pegaso	23 28,6	14 45	12,0	5×3	Ir+	1300
Enana del Escultor	00 59,9	−33 42	10		dE3	85
Leo I	10 08,4	12 18	9,8	11×8	dE3	230
Andrómeda I	00 45,7	38 00	13,2		dE0	730
Andrómeda II	01 16,6	33 27	13		dE0	730
Andrómeda III	00 35,4	36 31	13		dE2	730
Enana de Acuario	20 46,9	−12 51			Ir	1500
Enana de Sagitario	19 30,0	−17 41	15		Ir−	1100
Leo II	11 13,5	22 10	11,5	15×13	dE0	230
En. de Osa Menor	15 08,8	67 12	12	27×16	dE6	75
Enana de Draco	17 20,2	57 55	11	34×19	dE3	80
LGS 3	01 03,8	21 53	15	2	Ir	900
Enana de Carina	06 41,6	−50 58			dE	170
Sextante	10 13,0	−01 36			dE	85

1 kpc = 1000 parsecs = $3{,}0856\ 10^{19}$ m
1 Mpc = 1000 kpc = $3{,}0856\ 10^{22}$ m

Los tipos morfológicos principales son:

E elíptica
Ir irregular
S espiral
SB espiral barrada
d prefijo indicativo de galaxia enana

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	8,8	8×3	S0/E5	0,7
221, M32	00 42 41	40 51,9	9,0	3×3	E2	0,7
224, M31	00 42 45	41 16,5	3,4	160×40	SbI,II	0,7
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
PNMagall.	00 52 38	−72 48,0	2,8	216×216	ImIV-V	0,06
300	00 54 53	−37 41,2	8,7	20×10	ScIII	2,4
598, M33	01 33 53	30 39,2	6,3	60×40	ScII-III	0,7
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
GNMagall.	05 23 36	−69 45,4	0,6	432×432	SBmIII	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	20×10	ImIV-V	0,7
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 = 3,0856 10^{19} km = 3,0856 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 1ª 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 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, lo que los convierte en los objetos más alejados observados. Los primeros fueron descubiertos como radiofuentes intensas. Son considerados los objetos más luminosos entre las galaxias con núcleo activo. Exploraciones en curso han permitido detectar decenas de miles de 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
151	Haufen A	1 08,9	−15 25		0,0527
194		1 25,6	−01 30	0,3	0,0177
400		2 57,6	+06 02		0,0240
426	Perseo	3 18,6	+41 32	4	0,0182
	Fornax II	3 28,0	−20 45	7	0,0052
	Fornax I	3 32,0	−35 20	7	0,0050
568	Gemini	7 07,6	+35 03	0,5	0,0780
	Cancer	8 21,0	+20 56	3	0,0160
	Hydra II	8 58,0	+03 09		0,2030
1020	Leo	10 27,8	+10 25	0,6	0,0650
1060	Hydra I	10 36,9	−27 32		0,0100
	Ursa Major II	10 58,0	+56 46	0,2	0,1367
1185	Leo A	11 10,9	+28 41		0,0350
1367		11 44,5	+19 50		0,0205
1377	Ursa Major I	11 47,1	+55 44	0,7	0,0510
	Virgo	12 30,0	+12 23	12	0,0040
	Centauro	12 50,0	−41 18	2	0,0107
1656	Coma	12 59,8	+27 59	4	0,0222
1930	Bootes	14 33,0	+31 33	0,3	0,1310
2065	Corona Borealis	15 22,7	+27 43	0,5	0,0720
2151	Hércules	16 05,2	+17 45	1,7	0,0373
2152		16 05,4	+16 27		0,0383
2197		16 28,2	+40 54		0,0303
2199		16 28,6	+39 31	0,2	0,0307
	Pegaso II	23 10,0	+07 36	2	0,0423
	Pegaso I	23 22,0	+09 02	1	0,0133

La última columna contiene el corrimiento hacia el rojo, z, definido como: $z = \Delta\lambda/\lambda$ siendo λ la longitud de onda. Según este convenio, usado en astronomía óptica, 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:

$$V_{rad} = \frac{V_{opt}}{1+z}$$

Tabla comparativa de distancias
a algunas galaxias, cuásares y cúmulos seleccionados

nombre (comentario)	distancia (Mpc) propia	luminosa	z
Nube Grande de Magallanes (galaxia "satélite"de la Vía Láctea)	0,055		
Galaxia de Andrómeda (galaxia espiral más próxima a la Vía Láctea)	0,73		
borde del Grupo Local	~ 2		
Centauro A (galaxia elíptica, radiofuente intensa)	7		
Galaxia de los Perros de Caza, M51 (galaxia espiral, interacciona con NGC 5195)	11		
Cúmulo de Virgo (cúmulo de galaxias hacia el que se desplaza el Grupo Local)	~ 20		0,004
Cúmulo de Coma	93	95	0,022
Cúmulo de Hydra II	820	990	0,203
3C48 (cuásar muy intenso en radio)	1 400	2 000	0,370
SDSS J1148 (el cuásar más lejano conocido)	8 600	64 000	6,42
IOK-1 (la galaxia más lejana conocida)	8 800	70 000	6,96

1 Mpc = 10^6 parsec = $3,086\ \ 10^{22}$ 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 la expresión:

$$\text{distancia (en Mpc)} = \frac{V}{H_0}$$

donde H_0 es la *constante de Hubble*, que tiene un valor entre 50 y 100 cuando la distancia se expresa en Mpc (megaparsecs) y la velocidad V en km s^{-1}. Las últimas determinaciones dan un valor $H_0 = 71$ km s^{-1} Mpc^{-1}.

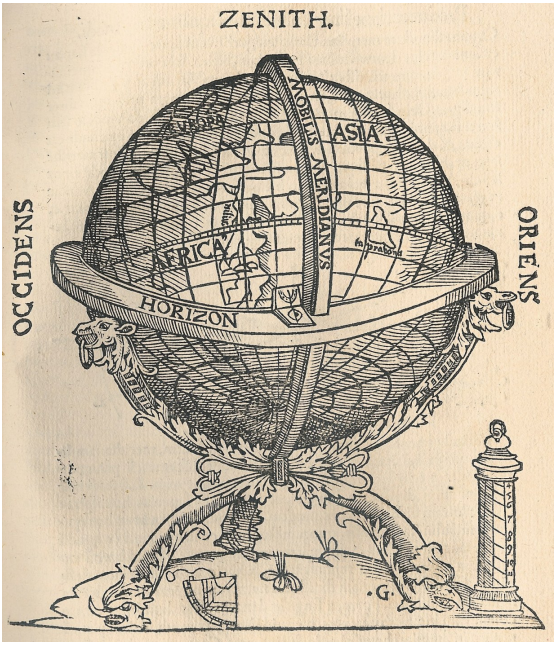
Para valores de z mayores la estimación de la distancia se hace más dependiente de la densidad media del Universo, parámetro desconocido. Para asignar distancias a los objetos en la tabla anterior se ha utilizado un valor para la constante de Hubble $H_0 = 71$ km s^{-1} Mpc^{-1} y se ha supuesto un universo plano con un cociente entre la densidad de materia y la densidad crítica de $\Omega_m = 0,27$. La distancia así determinada se denomina "distancia propia" o "distancia métrica". En ocasiones se utiliza la denominada "distancia luminosa", que se relaciona con la anterior mediante:

$$\text{distancia luminosa} = (1+z)\ \text{distancia propia}$$

Record de distancia

El objeto más lejano descubierto hasta la fecha tiene un corrimiento al rojo de $z \sim 6,96$. Se trata de la galaxia IOK-1 descubierta en 2006 por Masanori Iye y sus colaboradores del NAOJ.

LA TIERRA


ZENITH.
MOBILIS MERIDIANVS
ASIA
AFRICA
HORIZON
OCCIDENS
ORIENS
.G.

LA TIERRA

Datos terrestres
Elipsoide de referencia
Posición geográfica de capitales de provincia
Posición geográfica de observatorios

Unidades:

$\mathcal{R}_\oplus = 6378{,}14$ km
$\mathcal{M}_\oplus = 5{,}9742\ 10^{24}$ kg
G $\mathcal{M}_\oplus = 398\,600$ km^3 s^{-2}

Datos terrestres

Tamaño (IAU 1976)

Radio ecuatorial	$\mathcal{R}_\oplus$	= 6378,14 km
Radio polar	$(1-f)\mathcal{R}_\oplus$	= 6356,75 km
Radio medio		6371,00 km
Achatamiento	f	= 0,0033 5281 = 1/298,257
Excentricidad del elipsoide	e	= 0,0818 192
	e^2	= 0,0066 9439
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	$\mathcal{M}_\oplus$ =	5,9742 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		5,515 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 km^3 s^{-2}
Velocidad de escape		11,19 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:

$$J_1 = 0$$
$$J_2 = 0{,}001\,082\,63$$
$$J_3 = -2{,}54\ 10^{-6}$$
$$J_4 = -1{,}61\ 10^{-6}$$
$$J_5 = -0{,}21\ 10^{-6}$$
$$J_6 = 0{,}65\ 10^{-6}$$

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 (383), 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 $''/\mathrm{s}$
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., $1/f$
1783	Bouguer, Maupertuis	6397300	6367800	216,8
1800	Delambre	6375653	6356564	334,0
1841	Bessel	6377397,155	6356078,963	299,152813
1860	Struve	6378298,3	6357018,2	299,73
1866	Clarke	6378206,4	6356583,8	294,978698
1880	Clarke	6378249,145	6356514,966	293,4663
1907	Helmert	6378200	6356818	298,3
1909	Internacional (Hayford)	6378388	6356912	297,00
1942	Krassovsky	6378245	6356863	298,3
1964	IAU (Kaula)	6378160	6356775	298,25
1967	GRS	6378160	6356774,516	298,24716743
1972	WGS	6378135	6356751	298,26
1976	IAU	6378140	6356755	298,257
1980	GRS	6378137	6356752	298,25722210
1983	Estándares MERIT	6378137	6356752	298,257
1984	WGS	6378137	6356752	298,25722356
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 150 000 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 150 000 habitantes, Ceuta y Melilla

ciudad	latitud ϕ (° ′ ″)	longitud (+E,–O) (° ′ ″)		(^{h} ^{m} ^{s})	altitud (m)
Madrid	40 24 35	03 41 11	O	-14^m45^s	655
Málaga	36 43 18	04 25 07	O	-17^m40^s	8
Melilla	35 17 46	02 56 28	O	-11^m45^s	15
Móstoles	40 19 29	03 51 49	O	-15^m27^s	661
Murcia	37 59 09	01 07 38	O	-04^m31^s	42
Ourense (Orense)	42 20 15	07 51 43	O	-31^m27^s	139
Oviedo	43 21 48	05 50 32	O	-23^m22^s	232
Palencia	42 00 32	04 31 59	O	-18^m08^s	734
Palma de Mallorca	39 34 36	02 39 11	E	$+10^m37^s$	33
Palmas de G. C., Las	28 06 04	15 24 45	O	$-1^h1^m39^s$	13
Pamplona / Iruña	42 49 15	01 38 25	O	-06^m34^s	449
Pontevedra	42 26 05	08 38 46	O	-34^m35^s	20
Sabadell	41 32 53	02 06 33	E	$+08^m26^s$	190
Salamanca	40 57 43	05 39 56	O	-22^m40^s	803
Sta. Cruz de Tenerife	28 27 53	16 16 48	O	$-1^h5^m07^s$	5
Santander	43 27 51	03 48 14	O	-15^m13^s	15
Segovia	40 57 05	04 07 29	O	-16^m30^s	1002
Sevilla	37 23 15	05 59 29	O	-23^m58^s	10
Soria	41 46 10	02 27 56	O	-09^m52^s	1064
Terrassa (Tarrasa)	41 33 48	02 00 48	E	$+08^m03^s$	286
Tarragona	41 07 13	01 15 34	E	$+05^m02^s$	69
Teruel	40 20 43	01 06 29	O	-04^m26^s	913
Toledo	39 51 31	04 01 23	O	-16^m06^s	512
Valencia	39 28 35	00 22 29	O	-01^m30^s	16
Valladolid	41 39 12	04 43 19	O	-18^m53^s	692
Vigo	42 14 26	08 43 29	O	-34^m54^s	28
Vitoria-Gasteiz	42 51 05	02 40 17	O	-10^m41^s	550
Zamora	41 30 00	05 45 13	O	-23^m01^s	649
Zaragoza	41 39 28	00 52 43	O	-03^m31^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	$+42°52'.5$	$-00^h34^m14^s$	240
Ametlla de Mar (Tarragona)	$+40°55'.8$	$+00^h47^m35^s$	
Calar Alto (Almería)	$+37°13'.8$	$-00^h10^m09^s$	2168
La Cañada (Avila)	$+40°36'.3$	$-00^h17^m58^s$	1400
Consell (Mallorca)	$+39°39'.2$	$+00^h11^m70^s$	130
Ebro (Tarragona)	$+40°49'.2$	$+00^h01^m58^s$	50
Fabra (Barcelona)	$+41°25'.0$	$+00^h08^m30^s$	420
Izaña (I. Tenerife)	$+28°17'.5$	$-01^h05^m59^s$	2038
Madrid	$+40°24'.5$	$-00^h14^m45^s$	655
Mallorca	$+39°38'.6$	$+00^h11^m48^s$	160
Pico de Veleta (Granada)	$+37°04'.1$	$-00^h13^m36^s$	2870
Piera (Barcelona)	$+41°32'.4$	$+00^h07^m04^s$	390
Robledo de Chavela (Madrid)	$+40°25'.6$	$-00^h16^m60^s$	815
Roque de los Muchachos (I. La Palma)	$+28°45'.5$	$-01^h11^m30^s$	2327
La Sagra (Granada)	$+37°58'.9$	$-00^h10^m16^s$	1530
San Fernando (Cádiz)	$+36°28'.0$	$-00^h24^m49^s$	30
Sierra Nevada (Granada)	$+37°03'.8$	$-00^h13^m32^s$	2896
Universidad de Barcelona	$+41°23'.2$	$+00^h08^m28^s$	97
Universidad Complutense (Madrid)	$+40°27'.1$	$-00^h14^m54^s$	640
Yebes (Guadalajara)	$+40°31'.4$	$-00^h12^m21^s$	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`

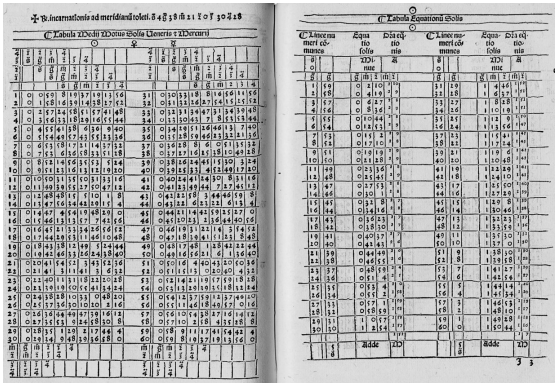
En esta última página web, la latitud geodésica ϕ_{gd} de los observatorios se obtiene a partir de los valores tabulados del seno y coseno de la latitud geocéntrica ϕ_{gc} y del achatamiento f del elipsoide:

$$\tan\phi_{gd} = \frac{\tan\phi_{gc}}{(1-f)^2} = 1{,}0067395\,\frac{\operatorname{sen}\phi_{gc}}{\cos\phi_{gc}}$$

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
Método de interpolación
Moléculas detectadas en el medio interestelar
Prefijos del Sistema Internacional de Unidades

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 a aquellos casos en que la época a que se refieren las coordenadas originales no es la época J2000, sino otra cualquiera (J1990.5, B1950, B1900, 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:

$$\text{T} = (\text{época origen} - 2000{,}0)/100 = (DJ_{origen} - 2\,451\,545{,}0)/36525$$
$$\text{t} = (DJ_{fecha} - DJ_{origen})/36525$$

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:

$$\text{corrección en } \lambda: \text{ multiplicar por: } \left[0{,}983 + \left(\frac{0{,}075}{\lambda}\right)^2\right]$$

$$\text{corrección en la presión: multiplicar por: } \frac{P}{1000}$$

$$\text{corrección en la temperatura: multiplicar por: } \frac{283}{273+T}$$

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

cantidad	símbolo	valor
velocidad de la luz	c	$2{,}99792458\ 10^{8}$ m s^{-1}
permeabilidad del vacio	μ_0	$4\pi\ 10^{-7}$ N A^{-2}
permitividad del vacio	ε_0	$1/\mu_0 c^2$ F m^{-1}
constante gravitacional de Newton	G	$6{,}6726\ 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}
constante de Planck	h	$6{,}6260688\ 10^{-34}$ J s
constante de Boltzmann	k	$1{,}380650\ 10^{-23}$ J K^{-1}

Constantes electromagnéticas y radiativas

cantidad	símbolo	valor
carga elemental	e	$1{,}60217733\ 10^{-19}$ C
constante de Faraday	F	$9{,}6485309\ 10^{4}$ C mol^{-1}
constante de Stefan-Boltzmann	σ	$5{,}67051\ 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}
primera constante de radiación	$2\pi hc^2$	$3{,}7417749\ 10^{-16}$ W m^2
segunda constante de radiación	hc/k	$1{,}438769\ 10^{-2}$ m K

Constantes atómicas y espectroscópicas

cantidad	símbolo	valor
número de Avogadro	N_A	$6{,}0221367\ 10^{23}$ mol^{-1}
constante de los gases perfectos	R	8,314510 J mol^{-1}K^{-1}
masa del electrón en reposo	m_e	$5{,}48579903\ 10^{-4}$ u
masa del protón en reposo	m_p	1,007276470 u
masa del neutrón en reposo	m_n	1,008665012 u
masa del muón en reposo	m_μ	0,113428913 u
momento magnético del electrón	μ_e	$9{,}284832\ 10^{-24}$ J T^{-1}
momento magnético del protón	μ_p	$1{,}41060761\ 10^{-26}$ J T^{-1}
momento magnético del muón	μ_μ	$4{,}4904514\ 10^{-26}$ J T^{-1}
magnetón de Bohr	μ_B	$9{,}2740154\ 10^{-24}$ J T^{-1}
magnetón nuclear	μ_N	$5{,}0507866\ 10^{-27}$ J T^{-1}
constante de estructura fina	α	$7{,}29735308\ 10^{-3}$
constante de Rydberg	R_∞	$1{,}0973731534\ 10^{7}$ m^{-1}
radio de Bohr	a_0	$0{,}529177249\ 10^{-10}$ m
longitud de onda Compton del electrón	λ_c	$2{,}4263089\ 10^{-12}$ m
(unidad de masa átomica	u	$1{,}6605387\ 10^{-27}$ 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 $6{,}62606876\ \ 10^{-34}$, con una incertidumbre de $0{,}00000052\ \ 10^{-34}$, el valor que figurará en la tabla será $6{,}6260688\ \ 10^{-34}$, siendo incierta la última cifra dada.

Constantes cosmológicas

cantidad	símbolo	valor
constante de Hubble	H_o	71 km s^{-1}Mpc^{-1}
distancia de Hubble	c/H_o	4200 Mpc
edad del Universo	t_0	1,37 10^{10} años
edad del desacoplamiento	t_{dec}	380 000 años
densidad crítica	ρ_c	9,5 10^{-30} g cm^{-3}
temperatura del fondo cósmico de microondas (CBR)	T_0	2,725 K
velocidad del Sol respecto del CBR		370 km s^{-1}

(1 Mpc = 10^6 pc = 3,085678 10^{22} m)

Constantes astronómicas

cantidad	símbolo	valor
unidad astronómica	UA	1,495 978 71 10^{11} m
masa de la Tierra	$\mathcal{M}_\oplus$	5,9742 10^{24} kg
radio ecuatorial de la Tierra	$\mathcal{R}_\oplus$	6,378140 10^6 m
masa solar	$\mathcal{M}_\odot$	1,9891 10^{30} kg
radio solar	$\mathcal{R}_\odot$	6,960 10^8 m
luminosidad solar absoluta	$L_\odot$	3,846 10^{26} W
constantes gravitacionales:		
Sol	$G\mathcal{M}_\odot$	1,3271244 10^{20} m^3 s^{-2}
Tierra	$G\mathcal{M}_\oplus$	3,9860045 10^{14} m^3 s^{-2}
Luna	$G\mathcal{M}_(\!)$	4,9027991 10^{12} m^3 s^{-2}
de Gauss	k	0,01720209895
razón de masa lunar a terrestre	$\mu_(\!)$	0,012300034

Algunos factores de conversión de interés práctico

1 año luz	$\simeq 10^{16}$ m = 10^{13} km
1 año luz	$\simeq$ 0,3 pc (parsecs)
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}	$\simeq$ 20 moléculas de H_2 por cm^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

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 (1er 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 (2do 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 (3er 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 (4to 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 2^{h} TU del día 7 de febrero de 2011. De la tabla correspondiente al mes obtenemos los valores:

T_{-2}:	5 de febrero	$V_{-2} = 22^{\mathrm{h}}{,}45433$
T_{-1}:	6 de febrero	$V_{-1} = 23^{\mathrm{h}}{,}17989$
T_0:	7 de febrero	$V_0 = 23^{\mathrm{h}}{,}90136$
T_1:	8 de febrero	$V_1 = 24^{\mathrm{h}}{,}63169$
T_2:	9 de febrero	$V_2 = 25^{\mathrm{h}}{,}38375$

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: $p = 2^{\mathrm{h}}0^{\mathrm{m}}/24^{\mathrm{h}} = 0{,}08333$. Siguiendo los pasos anteriores, obtenemos los siguientes valores:

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) = 23{,}96185$$

Dado que $|V_1 - 2V_0 + V_{-1}| = 0{,}00886 \geq 0{,}00003$, añadimos otro término:

$$V = 23{,}96185 + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) = 23{,}96188$$

Dado que $|V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}|/30 = 0{,}00086 \geq 0{,}00003$, añadimos otro término:

$$V = 23{,}96188 + \frac{p(p^2-1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}) = 23{,}96170$$

Dado que $|V_2 - 4V_1 + 6V_0 - 4V_{-1} + V_{-2}|/100 = 0{,}00000 \leq 0{,}00003$, no hace falta añadir ningún término más, resultando:

$$V = 23^{\mathrm{h}}57^{\mathrm{m}}42^{\mathrm{s}}{,}1$$

El valor que se obtiene a partir de las efemérides del JPL es: $23^{\mathrm{h}}57^{\mathrm{m}}42^{\mathrm{s}}{,}10$, 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 7 de febrero de 2011 la ascensión recta de la Luna es exactamente $0^h00^m00^s$. Ello corresponde a determinar el instante T para el que, en la notación anterior, $V = 24{,}0000$.

Primera iteración:

$$p = 2\,\frac{V - V_0}{V_1 - V_{-1}} = 0{,}1359$$

instante al que le corresponde un valor calculado: $V_{calc} = 23{,}99980$. La corrección a aplicar a p es:

$$\Delta p = 2\,\frac{V - V_{calc}}{V_1 - V_{-1}} = 0{,}0003$$

Al nuevo valor $p = 0{,}1362$ le corresponde $V_{calc} = 24{,}00002$,valor que consideramos suficientemente aproximado, pues su discrepancia con el valor buscado es menor o similar a $0^s{,}1 = 0^h{,}00003$. El instante de tiempo buscado es:

$$T = T_0 + p\,(T_1 - T_0) = 0^h + 0{,}1362 \times 24^h = 3^h{,}269$$

o sea, las $3^h16^m{,}1$ del día 7 de febrero de 2011. El instante calculado a partir de las efemérides es: $3^h16^m6^s$.

Moléculas detectadas en el medio interestelar y circumestelar

Moléculas con Hidrógeno

H_2	H_3^+	HD	H_2D^+
HD_2^+			

Moléculas con 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^-

Moléculas con Hidrógeno, Carbono y Oxígeno

CO	CO^+	C_3O	CCO
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	$(CH_3)_2CO$	C_2H_2O	CO_2
H_2COH^+	$[C_2H_4O]$	CH_2OHCHO	CH_2CHOH
CH_3CH_2CHO	CH_2CHCHO ?	$(CH_2OH)_2$	$[H_2C_3O]$
$C_2H_5OCH_3$?	C_2H_5OCHO		

Moléculas con Hidrógeno, Carbono y Nitrógeno

CN	C_3N	HC_3NH^+	HCCN
HCN	HC_3N	HCCNC	HNCCC
HC_5N	HC_7N	HC_9N	$HC_{11}N$
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^-			

Moléculas con Hidrógeno, Nitrógeno, Carbono y Oxígeno

NO	N_2O	HNO	HNCO
NH_2CHO	CH_3CONH_2	HCNO	HOCN ?
HC(O)CN	C_3H_7CN		

Moléculas con Azufre, Silico 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 ?

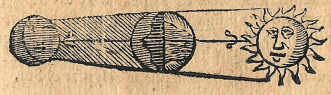
Moléculas "metálicas"

HCl	NaCl	KCl	AlCl
AlF	NaCN	MgNC	MgCN
HF	FeO ?	CF^+	AlNC
AlO	AlOH		

Tabla actualizada a mayo de 2010. En ella hay 164 moléculas. 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

La Medida del Tiempo
por *Pablo de Vicente Abad*

Apuntes sobre 30 años de Radioastronomía en España
por *Jesús Gómez González*



Cronómetro de tiempo sidéreo. Peyer Favarguer Cie (Suisse), hacia 1900. Reloj ajustado a la escala de tiempo sidéreo, de platinas circulares con sistema fusé de fuerza constante y mantenimiento de potencia; duración de la cuerda de 56 horas, con indicación de su estado en la esfera; escape de cronómetro a detente tipo Earnshaw, batiendo medios segundos, con contactos eléctricos en el volante y rueda de escape para el envío de señales eléctricas a cronógrafos registradores; maquinaria suspendida en un sistema cardan con posibilidad de bloqueo. Observatorio Astronómico Nacional (Madrid).

LA MEDIDA DEL TIEMPO

Pablo de Vicente Abad

Observatorio Astronómico Nacional
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

Abstract

The measure of time is a quest that has acompanied mankind since its origin thousands of years ago. Although the nature of time is still unknown, humans have made huge progress in the techniques to measure it. Such is the precission reached in the measurement of time that some of our basic measurement units, like the meter, depend currently on measurements of time. This article makes a historical trip from ancient calendars to clocks, making some stops on scientific and technical details that have played an important role on the development of the current time system.

Introducción

Escribir sobre el tiempo resulta mucho más difícil que hacerlo sobre la medida del tiempo. El tiempo es omnipresente y no ocupa espacio, se puede medir pero es inasible para los sentidos, todo el mundo comprende lo que es pero nadie sabe definirlo y parece que sólo crece en una dirección. El ahora es tan efímero que deja de serlo inmediatamente. Algunos filósofos y científicos, como Newton o Einstein, han dedicado muchos años a la búsqueda de una definición apropiada, de modo que parece bastante claro que escribir sobre el tiempo es más complicado que hacerlo sobre su medida.

El tiempo es una de las magnitudes fundamentales en Física y su unidad en el Sistema Internacional es el segundo. A primera vista resulta evidente que es diferente del resto de las magnitudes fundamentales, como

la masa o la longitud. Tradicionalmente la Oficina Internacional de Pesos y Medidas ha conservado patrones de las magnitudes fundamentales, como por ejemplo el patrón de longitud, una barra de platino e iridio, y el de masa, un cilindro del mismo material. En la actualidad la definición de la primera depende del tiempo y no está asociada a un elemento físico.

El tiempo se mide empleando eventos periódicos y midiendo cuantos de estos eventos periódicos transcurren mientras se desarrolla lo que se quiere medir. Parece claro que se deben elegir cuidadosamente los eventos periódicos en función de lo que se quiere medir.

Tradicionalmente los eventos periódicos más sencillos de usar han sido los asociados a los fenómenos astronómicos porque están siempre presentes en la vida de los humanos. El evento periódico por excelencia es la duración del día. Otro evento periódico de mayor duración son las fases de la Luna y uno mayor, la duración del año medida observando los ciclos de la naturaleza, es decir las estaciones, o la posición del Sol en el cielo en el mismo momento del día.

Por tanto podemos dividir los eventos periódicos en fenómenos de larga duración, que se emplean en la elaboración de los calendarios, y en eventos de corta duración basados en relojes que se emplean para la determinación de la hora. En este artículo se hablará por tanto sobre calendarios y relojes.

Definiciones básicas: el día, el mes y el año

El día es un fenómeno astronómico producido por la rotación terrestre y se corresponde aproximadamente con el tiempo que tarda la Tierra en completar dicha vuelta. Para medir el tiempo transcurrido es necesario utilizar un cuerpo celeste visible desde la Tierra. El más sencillo es el Sol.

En principio uno podría intentar definir el día solar como *el tiempo transcurrido entre dos posiciones «iguales» del Sol en el cielo*. Sin embargo si uno registra las trayectorias del Sol en una lámina a lo largo de un mismo año, a una cierta latitud, observará que el Sol describe trayectorias diferentes cada día. La técnica de registro de estas trayectorias se denomina solarigrafía y se pueden encontrar algunas de ellas en Internet. Las «fotografías» que se obtienen, producen líneas curvas que se corresponden con el camino seguido por el sol en el cielo a lo largo de los días. Cada día el Sol aparece por el horizonte, si nos encontramos fuera de los circulos polares, alcanza su máxima altura al Sur (si nos encontramos en el hemisferio norte) o al Norte (si nos encontramos en el hemisferio sur) y se oculta por el horizonte. A medida que nos desplazamos del invierno al verano la trayectoria registrada en el cielo se abomba hacia arriba y se estira por los lados, y en el intervalo de tiempo del solsticio de verano al de invierno la trayectoria se encoge hacia abajo y la trayectoria se hace más corta. En el hemisferio Sur el comportamiento es idéntico pero las

estaciones están cambiadas. Por tanto no exite una posición «idéntica» del Sol de un día para otro que nos permita decir que ha transcurrido un día.

Sin embargo es posible definir el día solar como algo más preciso advirtiendo que el Sol siempre culmina al Sur o al Norte, es decir alcanza su mayor altura a su paso por el meridiano local. Por tanto un día solar medio se puede definir como *el tiempo transcurrido entre dos tránsitos del Sol por el meridiano*. Los humanos han empleado diferentes momentos para marcar el comienzo del día: el paso por el meridiano (occidente en la antigüedad), la salida del sol (egipcios), la puesta del sol (sumerios y babilonios) o el paso por el meridiano opuesto o medianoche (en la actualidad).

Al igual que el Sol, el resto de los astros tambien dibujan una trayectoria en el cielo y alcanzan su máxima altura al pasar por el meridiano local. Se puede definir un día sidéreo medio como *el tiempo transcurrido entre dos tránsitos de una estrella por el meridiano*. Un día sidereo dura menos que un día solar, porque la Tierra está girando en torno al Sol y tras realizar una rotación completa en torno a su eje (día sidéreo) debe recorrer un pequeño arco más ($\simeq 1/365^\circ$) para que el Sol vuelva a estar en el meridiano del lugar. Es decir, el día solar es $1/365 \simeq 0,027$ veces más largo que el día sidéreo. La figura de la página siguiente muestra un esquema de la posición del Sol, la Tierra y una estrella para explicar la diferencia entre día sidéreo medio y día solar medio.

Un mes lunar sinódico se puede definir como el intervalo transcurrido entre dos fases idénticas de la Luna, o dos lunaciones. Dado que las fases lunares dependen de la orientación entre la Tierra, la Luna y el Sol, el mes lunar se repite cada vez que, por ejemplo, se produce una luna nueva, es decir, cada vez que la Luna se situa entre la Tierra y el Sol. También existe un mes sidéreo, que es más corto que el mes sinódico ya que se corresponde con una rotación de la Luna en torno a sí misma, utilizando como referencia el fondo de estrellas. El mes sinódico dura 29,53 días y el mes sidéreo 27,32 días.

Finalmente el otro gran evento periódico es el año. El año tropical es el tiempo transcurrido entre dos equinocios iguales (los de otoño o los de primavera) y por tanto está asociado al ciclo de las estaciones. Otro modo de expresar el año tropical es el tiempo transcurrido para que la Tierra se mueva entre dos pasos sucesivos por el primer punto de Aries. El primer punto de Aries es el lugar donde se corta la eclíptica con el ecuador terrestre en la dirección de la constelación de Aries. La eclíptica es el plano en el que orbita la Tierra en torno al Sol y forma aproximadamente 23 grados con el ecuador terrestre. Ambos planos se cortan produciendo una línea recta llamada línea de los equinocios. Esta línea a su vez corta la órbita terrestre en dos puntos. El punto que se encuentra en la dirección de la constelación de Aries vista desde la Tierra se llama primer punto de Aries. Este punto no permanece fijo en el tiempo porque la Tierra tiene un movimiento de precesión y de nutación que hace que el punto de Aries se desplace a través

de la trayectoria de la órbita, realizando una vuelta completa al cabo de 26 000 años.

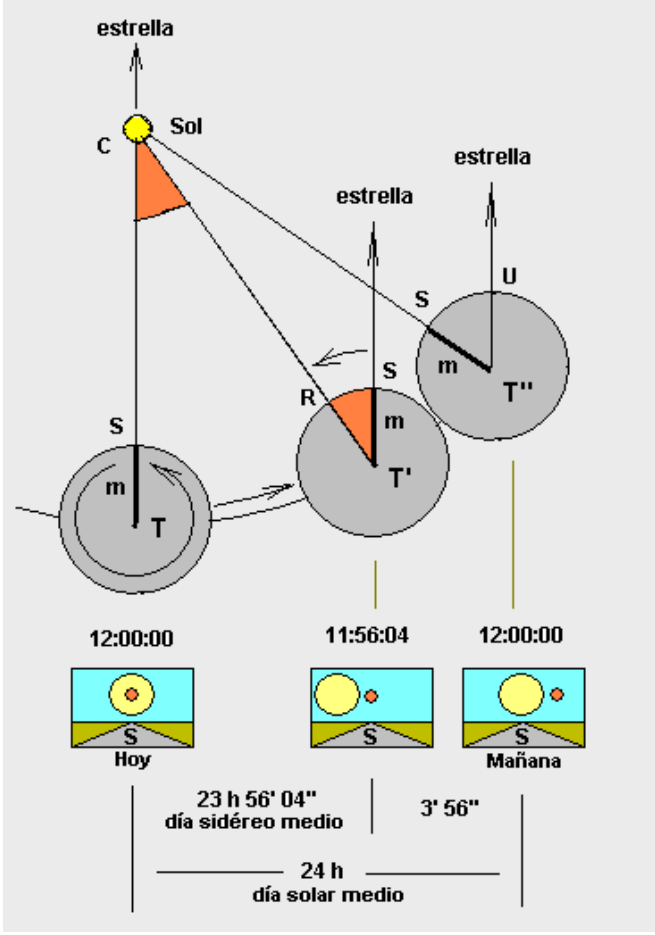


Figura 1: Día solar medio y día sidéreo medio. Se muestran la posición relativa del Sol, la Tierra y una estrella en tres momentos diferentes y desde dos perspectivas distintas: desde fuera de la Tierra y por encima del plano de la eclíptica, y el aspecto del Sol y de la estrella de referencia en el cielo desde la superficie de la Tierra. La escala no es correcta y está exagerada para poder apreciar la geometría fácilmente. La imagen es cortesía de Francisco Javier Blanco González (Wikimedia Commons).

El año sidéreo es el tiempo transcurrido para que la Tierra complete una vuelta al Sol tomando como referencia el fondo de estrellas y su duración es de 365,256363 días solares medios, diferente de la del año tropical. El año sidereo está directamente relacionado con los signos del zodiaco. El signo del zodiaco indica la constelación que se ve tras el Sol durante una cierta época del año. Estas constelaciones se pueden distinguir al amanecer y al atardecer, cuando el brillo del Sol molesta menos a los observadores. Las constelaciones del zodiaco están situadas aproximadamente en el plano de la eclíptica y en diferentes direcciones. Debido a la precesión de los equinocios el punto de corte entre la eclíptica y el ecuador varía lentamente respecto de esas constelaciones a lo largo de miles de años y por tanto el comienzo de cada estación sucede en posiciones diferentes de esas constelaciones. Sin embargo estos cambios son muy lentos y sólo se perciben a simple vista al cabo de miles de años. En la actualidad, el 21 de marzo el Sol aparece en la constelación de Piscis, y hace 4 000 años estaba en la constelación de Aries.

El problema de los calendarios

El objetivo de los calendarios es dividir el tiempo en unidades y subunidades que resulten prácticas para la sociedad. Idealmente las unidades son múltiplos de las subunidades pero esto no es posible si empleamos el año tropical como unidad y los meses lunares y los días solares medios como subunidades. El principal problema es que un año no dura un número entero de meses lunares y por tanto no se puede asociar un cierto mes lunar a una determinada época del año, algo que resulta muy útil para la organización de las fechas. Un año lunar, compuesto de 12 meses lunares, dura 354 días.

Las antiguas civilizaciones resolvieron este problema insertando meses o días de modo arbitrario o siguiendo una regla. Cada mes lunar recibía un nombre y estaba normalmente asociado a la constelación del zodiaco en la que estaba el Sol. Sin embargo como el año no está compuesto de un número entero de meses lunares era necesario duplicar algún mes cada cierto tiempo o añadir días extras.

A continuación se describen aquellos calendarios que han tenido importancia en el mundo occidental para comprender su evolución hacia el calendario civil que se utiliza en la actualidad.

Breve historia del calendario occidental

Existen tres tipos básicos de calendarios: los calendarios lunares, los lunisolares y los solares. Los primeros se rigen por las lunaciones y los meses se van desplazando a lo largo del año. Los calendarios lunisolares

intentan integrar las fases lunares con la duración del año, para conseguir que los meses lunares se produzcan siempre en la misma época del año. Los calendarios solares subdividen el año en partes iguales y están totalmente desconectados de las fases de la Luna.

Los calendarios lunares se han utilizado desde el paleolítico, porque son los más sencillos. Existen hallazgos arqueológicos, como los del hueso de Blanchard encontrado en una región de Francia, que demuestran que se utilizaban desde hace 27 000 años aproximadamente. El hueso de Blanchard muestra sobre su superficie las fases de la Luna durante tres meses. Este tipo de calendario resultaba adecuado para las sociedades cazadoras-recolectoras previas a la aparición de la agricultura.

Con la aparición de la agricultura, las estaciones del año se convierten en eventos muy importantes para la sociedades agrícolas, ya que son fundamentales los momentos de siembra y recolección. De hecho se comienzan a asociar las festividades religiosas con los actividades agrícolas más importantes. En el neolítico la sociedad se vuelve más compleja y aparece una diversificación de oficios y de estratos. La mayor parte de la población depende de la agricultura y de la ganadería. Aparece una clase dirigente y un ejercito que mantiene el poder de la primera y que justifica su existencia en la protección que ofrece al resto de la sociedad, fundamentalmente campesinos, de los enemigos externos. Surgen los impuestos con la finalidad de sufragar al ejercito, a la clase religiosa y a la clase dirigente. El calendario de los impuestos tiene que asociarse con la cosecha que es cuando los campesinos disponen de mayor riqueza. Por otra parte la cosecha se hace en el momento más propicio para la recolección, y cuando lo indica la clase religiosa. Este conocimiento reside en los sacerdotes que observan el cielo y determinan el momento del año, es decir de los solsiticios y equinocios, a partir de la posición del Sol respecto de las constelaciones del zodiaco.

En este tipo de sociedad surge la necesidad de establecer la subdivisión del año en partes aproximadamentes iguales, asociadas a las estaciones del año y por tanto a los ciclos de la naturaleza, pero ligadas a las fases lunares que permitan una contabilidad más sencilla. Sin embargo los meses lunares no se pueden ajustar fácilmente con la duración del año, por lo que se buscan soluciones en las que se añade 1 mes lunar cada cierto tiempo.

La agricultura surgió en el creciente fértil y con ella florecieron civilizaciones como Sumeria y Babilonia. Los sumerios y los babilonios utilizaban un calendario lunisolar. El año comenzaba después de la cosecha y estaba dividido en meses de 29 o 30 días. Cada 3 o 4 años el rey, aconsejado por los sacerdotes que a su vez se regían por las observaciones, añadía un mes. Cada mes comenzaba después de una luna nueva, y cada día se dividía en 6 partes diurnas y 6 nocturnas, cuya duración era variable dependiendo de la época del año. Cada mes lunar recibía un nombre. Habitualmente el mes que se insertaba era Adaru, que se duplicaba y estaba asociado a

la constelación de Piscis (febrero-marzo en el calendario gregoriano) y en algunas ocasiones se duplicaba Ululu. Los nombres de los meses de este calendario se emplearon después en el calendario hebreo y algunos de ellos en el asirio.

En el año 499 a. de C., a partir de Dario I, los meses se comenzaron a regular de acuerdo con un ciclo de 19 años compuesto por 235 meses lunares. Este ciclo debe su nombre al griego Metón, que lo aprendió de los babilonios y lo progagó por Occidente. Los meses se insertaban de acuerdo con la siguiente regla: en los años 3, 6, 8, 11, 14 y 19 de un ciclo se añadía un segundo mes de Adaru; en el año 17 se anadía un segundo mes de Ululu. El ciclo de Metón indica el número de años en los que un mes lunar comienza el mismo día del año. Es decir, cada 19 años se produce luna nueva el mismo día del año, por ejemplo el 26 de junio. El ciclo de Metón se obtiene de calcular el mínimo común múltiplo de 365 y 29,5 días, las duraciones aproximadas de un año tropical y un mes lunar.

El primer calendario solar de la historia que se conoce se utilizó en Egipto. Egipto vivía gracias al Nilo y los desbordamientos anuales del río marcaban el ritmo de la sociedad egipcia, que vivía de la agricultura en sus orillas. Los años duraban 365 días y se dividían en 12 meses de 30 días más 5 días adicionales conocidos, en griego, como epagómenos. El año comenzaba con el orto helíaco de Sirio, que se asociaba con la crecida del Nilo en Memphis, capital del antiguo reino, y con el solsticio de verano. Ese día, Sirio emergía por el horizonte unos instantes antes y por el mismo lugar que el Sol. A esta coincidencia se le atribuyó un origen divino. Esta relación se desfasaba debido a la errónea duración del año que empleaban pero sabían que se repetía cada 1460 años, en lo que se conocía como ciclo sótico (de Sótis). Es decir, se producía una diferencia de 365 días en 1460 años que es equivalente a añadir 1 día cada 4 años. Este hecho se tuvo en cuenta mucho tiempo después para reformar el calendario egipcio.

En el año 238 a. de C. los sacerdotes y miembros de la clase religiosa se reuniron en Cánope y establecieron que el año tropical duraba 365 días y 6 horas. Resolvieron añadir un día a los epágomenos cada 4 años. La resolución tomada se encuentra escrita en tres lenguas en la Piedra de Cánope, en lo que se conoce como el decreto de Canopus. La reforma del calendario Ptolomeico no se llevó a cabo, posiblemente por diferencias entre los miembros de la clase religiosa, pero fue retomada doscientos años después por los romanos.

En el año 46 a. de C., Julio Cesar encargó a Sosígenes, un astrónomo alejandrino, que le asesorara para crear un nuevo calendario. Antes de la reforma el calendario romano era lunisolar. La inserción de meses y el cómputo de años era función de los sacerdotes que mantenían esta actividad en secreto y en ocasiones la ejecutaban de manera arbitraria según sus propios intereses.

Sosígenes conocía la fallida reforma de Cánope y propuso a Julio Cesar abandonar el calendario lunisolar y adoptar un calendario solar. La implantación del nuevo calendario se hizo en el año 45 a. de C.. Entonces se estableció que el año duraba 365 días y que cada 4 años se añadiría un día extra. Con el tiempo, estos años recibirían el nombre de bisiestos. Se dispuso que hubiera 12 meses de duraciones de 29, 30 y 31 días y se desplazó el comienzo del año de marzo a enero. Este año fue conocido como el año de la confusión porque se añadieron 85 días para poder corregir el desfase del calendario anterior, y por tanto el año tuvo 445 días. Hasta el año 8 DC el calendario Juliano sufrió algunas pequeñas modificaciones por errores que se habían producido en el cómputo de los días.

El desplazamiento del comienzo del año de marzo a enero, se puede observar en el nombre de los meses: septiembre se refiere al mes siete, cuando en realidad es el nueve, y lo mismo ocurre con octubre, mes ocho, noviembre, mes nueve y diciembre, mes diez. El mes de Julio recibió su nombre para honrar a Julio Cesar y el de Agosto para hacer lo mismo con Augusto, que no quería ser menos que su tío abuelo Julio Cesar. De hecho para que Julio y Agosto tuvieran la misma duración de 31 días hubo que quitar un día a febrero que quedó con 28 días. Otros emperadores posteriores pretendieron cambiar los nombres de los meses, pero estas modificaciones no perduraron.

La semana de 7 días fue instaurada en el calendario Juliano por Constantino el Grande, copiandola del calendario lunisolar judío. Decretó que el domingo fuese el día del descanso para adorar a Dios, ya que Jesucristo resucitó en domingo. Los nombres de la semana están asociados a los planetas, nombre en griego que significa errantes. Los errantes eran los astros más luminosos que se movían respecto del fondo de estrellas y se corresponden con los 5 planetas del Sistema Solar más próximos a la Tierra más el Sol y la Luna. En castellano, el domingo es el día del Sol, «sunday» en inglés y el sábado, nombre heredado de los judios, es el día de Saturno, en inglés «saturday». La asociación del resto de los días de la semana con los planetas no require explicación porque es muy sencilla y se deja como ejercicio para el lector.

El calendario juliano comete un error de un día cada 125 años porque la duración del año tropical no es 365,25 sino 365,242189 días. En el año 1582, el papa Gregorio XIII promovió la reforma del calendario Juliano porque la fiesta de Pascua se iba adelantando a lo largo del año. En el año 325, el concilio de Nicea estableció que el domingo de Pascua se debía celebrar el domingo siguiente a la primera luna llena después del equinocio de primavera. Todas las demás fiestas religiosas cristianas estarían referidas a esta y debido a la diferencia de duración del año entre el calendario juliano y el año tropical esta fiesta se adelantó 10 días desde aquel concilio. Para resolver el problema se estableció una nueva regla para los bisiestos: Un año es bisiesto si es divisible por 4 excepto si es divisible por 100 y

no lo es por 400. Con este ajuste la duración del año queda en 365,2425 días. Además ese año se eliminaron los 10 días del calendario que se había desplazado la fiesta de Pascua desde el concilio de Nicea; al día 4 de octubre de 1582 del calendario siguió el día 15 de octubre de 1582.

Esta reforma fue adoptada inmediatamente por los paises de religión católica romana. Otros paises de religión protestante, anglicana y ortodoxa lo fueron adoptando años e incluso siglos después. Algunos paises ortodoxos, como por ejemplo Rusia, Bulgaria o Grecia lo implementaron en el siglo XX. Algunas iglesias ortodoxas todavía siguen utilizando el calendario juliano para la determinación de la fiesta de pascua y por eso la navidad se celebra en dichas iglesias en los primeros días de enero.

Día Juliano y día juliano modificado

En 1583 J. Scaliger, un religioso holandés, propuso la contabilización del paso del tiempo empleando una cuenta continua de días y fracciones. A la unidad empleada le llamó día Juliano y propuso como comienzo del día 0 el mediodía en Alejandría del 1 de enero del año 4713 a. de C.. Esta elección la hizo empleando algunos argumentos un tanto abstrusos para los contemporáneos. A finales del siglo XIX los astrónomos adoptaron la fecha juliana, o contabilización del paso del tiempo en días julianos, utilizando el meridiano de Greenwich en lugar del meridiano en Alejandría. Los días julianos comienzan a mediodía siguiendo el criterio de Ptolomeo, que contabilizaba los periodos astrónomicos contando los días desde el mediodía. La elección se hizo porque el paso del Sol por el meridiano local ocurre siempre a la misma hora aparente, independientemente de la época del año, al contrario de lo que sucede con el amanecer o el atardecer, momentos, que como hemos dicho antes, empleaban algunas civilizaciones para determinar el comienzo del día.

La fecha juliana se utiliza en la actualidad para el cálculo de las efemérides astronómicas. Existen algoritmos sencillos que permiten pasar de una fecha de calendario gregoriano a día Juliano y viceversa. El 1 de enero de 2000 a mediodía corresponde al día Juliano 2 451 545,0. La fecha juliana es muy útil para calcular intervalos temporales porque estos se obtienen por simple substracción.

El día Juliano modificado fue introducido por el Smithsonian Astrophysical Observatory en el año 1957 y se define como el día juliano menos 2 400 000,5. Por tanto los días julianos modificados comienzan a medianoche, como en el calendario civil. Este número también se emplea con frecuencia en astronomía para datar eventos.

La división del día

Para poder medir eventos cuya duración es menor que la de un día solar medio es necesario dividir este en fracciones. En la antigüedad los sumerios y babilonios dividían el día en doce partes: seis durante las horas de luz y seis durante la noche. Los egipcios dividían el día en doce partes diurnas y doce nocturnas. La subdivisión del día egipcio es por tanto el origen de las actuales horas. La división del día en doce o veinticuatro horas está relacionado con la utilización del sistema sexagesimal en el medio oriente. Se cree que procede de la costumbre de contar empleando el pulgar sobre las 12 falanges del resto de los dedos de esa mano. Además, el 60 es divisible por 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 y 30 lo que resultaba muy útil y facilitaba el cálculo de fracciones. Este es el origen de la subdivisión de las horas, y los grados, en 60 minutos y estos en 60 segundos.

La duración de las horas diurnas y nocturnas para los antiguos era diferente y además dependía de la época del año. En invierno las horas nocturnas eran más largas que las diurnas y en verano ocurría lo contrario. De hecho la duración del día, entendido en este caso como la fracción diurna del día solar medio, y de la noche dependen de la latitud del lugar y de la época del año. Esta variabilidad en la duración de la parte diurna y nocturna del día se debe a la inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto de la eclíptica. La inclinación, de 23 grados, también es el origen de las estaciones.

Este tipo de horas, llamadas temporarias o desiguales, se utilizaron hasta el siglo XIV, a pesar de que en el año 130 a. de C. Hiparcos propuso el uso de horas de igual duración. La desigual duración de las horas no tenía mayor importancia para las sociedades agrícolas porque el ciclo de vida de sus habitantes estaba regido por el amanecer y el atardecer.

Relojes antiguos

Los primeros relojes de los que se tiene noticia son los relojes de agua, también conocidas como clepsidras, y los relojes de sol.

Es posible que los relojes de agua fueran empleados por primera vez en China hace 4 000 años. El primer reloj de agua del que se tiene constancia física es una vasija egipcia datada entre los años 1415 a 1380 a. de C. perteneciente al reinado de Ahmenotep III encontrada en uno de los templos de Karnak. Los relojes de agua eran vasijas cerámicas, habitualmente con forma de cono truncado, con un orificio en el fondo y marcas en su interior. La vasija se llenaba una vez y el agua, al ir descendiendo, descubría las marcas que indicaban el paso de las horas. No es correcto suponer que el flujo del agua fuera uniforme porque el peso de la columna de agua varía a medida que la vasija se vacía. Más adelante los griegos inventaron mecanismos para corregir este efecto.

Los relojes de agua se utilizaban de noche en Egipto, pero en la sociedad griega y romana se empleaban para fijar el tiempo de los oradores en los juicios y en las guardias nocturnas del ejercito romano. Se siguió utilizando durante centenares de años después como un método eficiente para medir el tiempo. Cetsibius, un inventor y matemático griego, concibió un reloj de agua que marcaba las horas empleando un puntero y un dial. El reloj también empleaba un mecanismo que garantizaba un flujo de agua uniforme. La figura 2 muestra un grabado del siglo XIX.

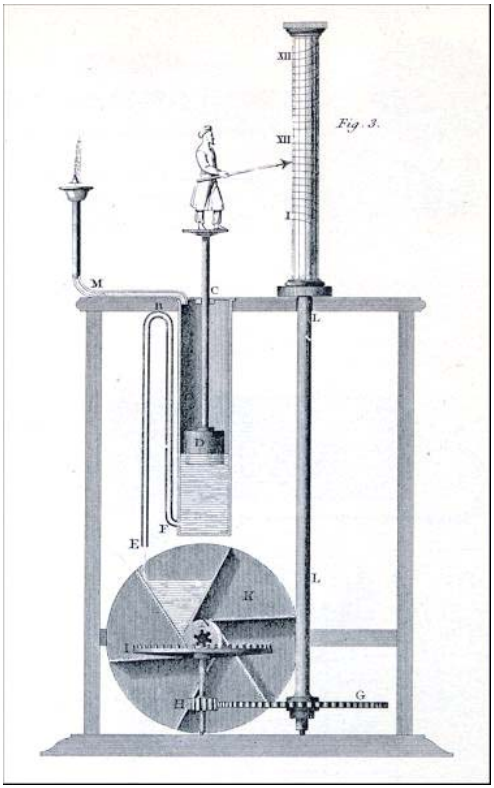


Figura 2: Diagrama de una clepsidra de Ctesibius según un grabado del siglo XIX. El indicador de las horas asciende a medida que lo hace el agua en el tubo. Cuando esta llega a su punto más alto, el tubo se vacía llenando el cangilón de debajo y se hacer rotar una rueda dentada que, a su vez, mueve la lámina sobre la que apunta el puntero. La lámina contiene líneas que tienen en cuenta la desigual duración de las horas.

Los primeros relojes de sol de los que se tiene constancia física son los obeliscos, algunos de los cuales datan del año 3500 a. de C.. Los relojes de sol están hechos de un estilete llamado gnomón que proyecta su sombra sobre una superficie plana habitualmente colocada verticalmente u horizontalmente. A medida que el sol se desplaza por el cielo la sombra del gnomón recorre la superficie, que está grabada con marcas, que se corresponden con las horas del día. Si el reloj de sol es vertical el gnomón debe estar en el meridiano local y formar un ángulo con la superficie igual a la latitud del lugar. El mayor reloj de sol de la antigüedad fue el reloj de Augusto y fue descrito por Plinio el Viejo. La figura 3 muestra una reconstrucción hipotética del siglo XIX. El gnomón era un obelisco que en la actualidad está en la plaza de Montecitorio en Roma.

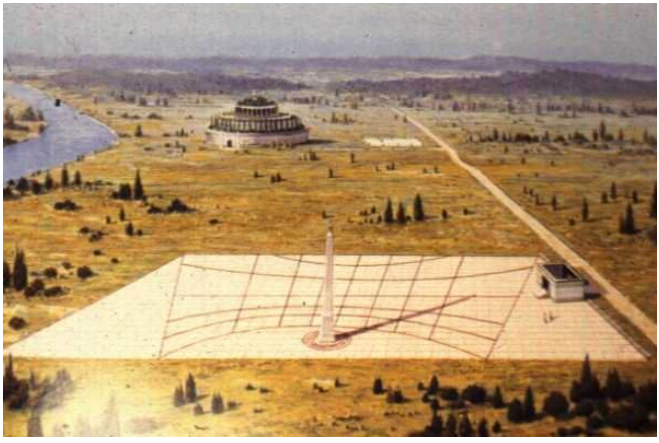


Figura 3: Reconstrucción del reloj de sol de Augusto según un grabado del siglo XIX. Estaba integrada con el Ara Pacis a lo largo de la Vía Flaminia.

Los relojes de sol marcan el tiempo solar aparente. El tiempo solar medio se obtiene a partir del día solar medio que es un promedio de los días solares aparentes a lo largo de un año tropical. La diferencia entre el tiempo solar medio y el tiempo solar aparente se conoce como ecuación del tiempo. El tiempo solar aparente, es decir el movimiento diario aparente del sol, no es uniforme debido a dos causas: la oblicuidad de la eclíptica que forma 23 grados aproximadamente con el ecuador terrestre como ya se mencionó anteriormente, y la excentricidad de la órbita elíptica de la Tierra en torno al Sol. La última causa es fácil de entender. La Tierra se mueve en torno al Sol siguiendo una órbita elíptica. De acuerdo con las ecuaciones de Kepler el movimiento de la Tierra en torno al Sol es más rápido en sus

proximidades de acuerdo con la ley de áreas iguales barridas en tiempos iguales. Cuando la Tierra está próxima al Sol los días son más largos que cuando está más alejada.

Un reloj de sol puede adelantarse hasta 16 minutos y retrasarse 14 minutos a lo largo del año. La figura 4 muestra la ecuación del tiempo en función del día del año. En el capítulo «Tiempos» de este anuario se incluye la ecuación del tiempo que permite corregir la medida de un reloj de sol y obtener el tiempo solar medio.



Figura 4: Representación gráfica de la ecuación del tiempo a lo largo del año. Los relojes de sol se adelantan hasta 16 minutos en Noviembre y se retrasan 14 minutos en febrero. Fuente: Wikimedia.

Relojes mecánicos

En la Edad Media comenzaron a aparecer relojes en Europa que usaban pesos y muelles. Los relojes medievales utilizaban un mecanismo de escape de paleta y balancín, también conocido como Verge y Foliot. Un peso unido a una cuerda enrollada en un cilindro movía una rueda de corona. La rueda de corona disponía de unos dientes en su circunferencia. La rueda giraba por el peso pero era detenida por unas paletas solidarias con un eje vertical que en su parte superior disponía de un balancín con dos pesos. El balancín oscilaba en un sentido y en otro y el eje solidario con el, permitía el paso de un diente de la rueda de corona. Este mecanismo se llama «de escape», ya que cada oscilación detiene la rueda y luego la libera brevemente, permitiendola girar un poco. La frecuencia del reloj se ajustaba separando o acercando los pesos. La oscilación del balancín

producia un sónido rítmico característico de los relojes. La figura 5 muestra un diagrama del mecanismo de escape.

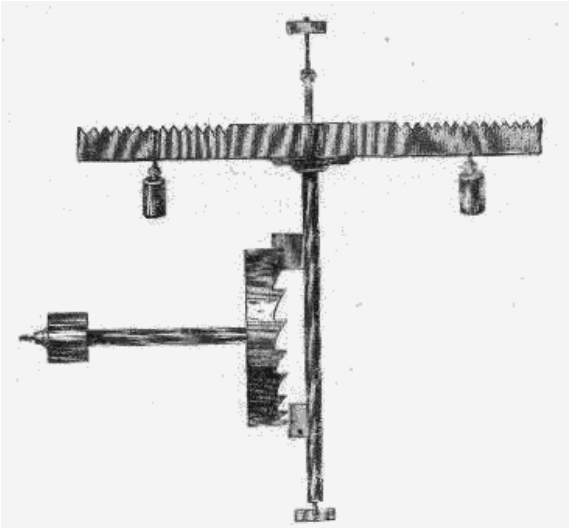


Figura 5: Mecanismo de paleta y balancín de Henri de Vick de 1379 (Paris). La imagen procede del tratado de 1849, «Historia de la Relojería» de Pierre Dubois. Fuente: Wikimedia.

A comienzos del siglo XIV el herrero alemán Peter Henlein inventó un reloj mecánico de muelle que utilizaba un mecanismo similar de rueda de escape. Estos relojes son los precursores de los relojes cronómetros que mencionaremos más adelante. Los relojes medievales mantenían el tiempo con un error de 15 minutos por día y por tanto no disponían de minutero.

A comienzos del siglo XVII Galileo descubrió el iscocronismo de los péndulos y propuso su uso para la medida del tiempo. Galileo advirtió que el periódo de oscilación de un péndulo no depende de la amplitud de la oscilación ni de de la masa suspendida en su extremo, tan sólo de su longitud y de la gravedad. Los péndulos largos oscilan más lentamente que los cortos. Este periodo de oscilación «natural» es una propiedad que permitía la fabricación sencilla y repetitiva de relojes con un funcionamiento similar y por tanto poco error. Más tarde se conoció que el periodo de oscilación depende ligeramente de la amplitud de esta, pero cuanto menor es la amplitud menor es el error cometido.

En 1656 Cristian Huygens, astrónomo, físico y matemático holandés, fabricó el primer reloj de péndulo empleando un mecanismo de escape de Verge (rueda de corona) similar a los de los relojes medievales. Este reloj

mantenía el tiempo con un error de 10 segundos por día lo que supuso un avance considerable respecto de aquellos. Este momento supone un cambio drástico en la medida del tiempo. La figura 6 muestra un dibujo del propio Huygens que corresponde al segundo reloj de péndulo que fabricó en 1673.

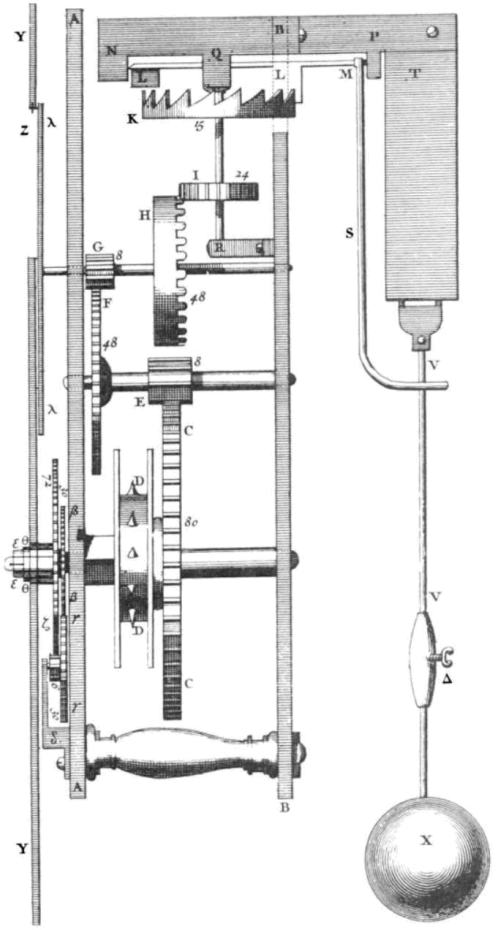


Figura 6: Diagrama de C. Huygens correspondiente al segundo reloj de péndulo que fabricó en 1673. El mecanismo de escape con la rueda de corona y las paletas están marcadas con las letras K y L en la parte superior del dibujo. Fuente: Wikimedia.

Los relojes de péndulo se emplearon hasta 1927. A lo largo de los siglos fueron mejorando constantemente. Se trabajó fundamentalmente en reducir la fricción, en minimizar las variaciones de longitud producidas por cambios de temperatura y en aportar energía de modo óptimo para mantener su oscilación. El péndulo más preciso que se fabricó fue el péndulo de Shortt que mantenía el tiempo en 2 ms por día. Se trataba de una combinación de dos péndulos: uno esclavo que suministraba energía y otro libre que oscilaba en el vacío y que actuaba de maestro.

El problema de la longitud

Desde el siglo XVI y sobre todo en el siglo XVII, Europa comenzó una expansión más allá del continente que dio lugar a un comercio marítimo muy importante. La navegación se convirtió en uno de los principales asuntos de estado. La dificultad de determinar la posición de los barcos en el mar era un problema muy grave que en ocasiones originaba el naufragio de navíos y grandes retrasos tras sufrir tormentas que modificaban la ruta de navegación de modo imprevisible. Todo ello generaba un considerable quebranto para los propietarios de los navíos, para la actividad comercial y para las naciones cuyos navíos de guerra sufrían los mismos problemas.

La posición sobre la superficie de la Tierra se determina estableciendo la latitud y la longitud del lugar. La latitud se obtiene, durante el día, a partir de la altura del sol sobre el horizonte a mediodía y por la noche, midiendo la altura de la estrella polar sobre el horizonte (en el hemisferio norte). La longitud se obtiene calculando la diferencia horaria entre la hora local y la de un lugar de referencia, por ejemplo la del Observatorio de Greenwich en Inglaterra. La hora local se puede determinar observando el sol y su paso por el meridiano. Sin embargo para conocer la hora de Greenwich es necesario disponer de un reloj que no se retrase ni adelante en exceso y que se pone en hora cuando el barco abandona el puerto. El péndulo no funcionaba bien en los barcos debido al balanceo de estos.

Hasta tal punto la determinación de la latitud era crucial que la corona inglesa estableció en 1713 un premio de 20 000 libras para quien construyese un reloj fiable que funcionara en el mar. John Harrison, un relojero inglés, empleó 40 años en la fabricación de cinco relojes, llamados cronómetros marinos. Tras una historia muy azarosa, descrita magnificamente por Dava Sobel en su novela «Longitud», pudo cobrar el premio completo. El H4, penúltimo reloj de la serie que fabricó, mantuvo el tiempo con un error de 54 segundos en una travesía de 5 meses de duración. El reloj era extraordinariamente complejo y empleaba un muelle como fuente de energía y un mecanismo de escape. Estaba preparado para minimizar la dilatación y contracción de su piezas por los cambios de temperatura. Harrison empleó rubíes y diamantes para minimizar el rozamiento. El H4 se conserva actualmente en el Museo Marítimo Nacional de Greenwich.

Los cronómetros marinos de Harrison son los precursores de los actuales relojes de pulsera de cuerda.

La calidad de un reloj

Un reloj es un dispositivo que produce un fenómeno periódico, contabiliza el número de ciclos transcurridos y los muestra en un visor. El dispositivo que produce un fenómeno periódico se llama resonador. Un resonador perfecto funcionaría eternamente, sin embargo, en la práctica la fricción hace que se detenga al cabo de un tiempo. Un resonador al que se aplica energía para que mantenga su oscilación se llama oscilador. Algunos resonadores son mejores que otros. El modo de medirlo es calcular el número de oscilaciones que realiza hasta que su energía disminuye una cierta cantidad respecto de la energía inicial que se le suministró. Este número se llama factor de calidad o «Q». Un resonador de Q alta tiende sólo a oscilar si lo hace en torno a su frecuencia natural.

La calidad de un reloj se mide fundamentalmente con dos parámetros: la precisión o estabilidad y la exactitud. Se denomina precisión a la capacidad de un oscilador para producir ciclos de duración similar. Se llama exactitud a la capacidad de un oscilador para producir ciclos de la duración deseada. Para comprender la diferencia podemos pensar en un reloj preciso, es decir cuyos ciclos son todos de duración similar, pero inexacto porque duran, por ejemplo, menos de lo esperado y por tanto se adelanta. Un reloj exacto pero impreciso sería aquel cuyos ciclos en promedio son de la duración correcta pero unas veces son más largos que otras y por tanto no tiene un comportamiento estable.

El factor de calidad de un reloj está muy ligado a la precisión y exactitud de un reloj. Un reloj que sólo oscila en su frecuencia natural y que por tanto mantiene su oscilación durante mucho tiempo es exacto y estable. Por tanto una Q alta implica mayor exactitud y precisión.

El valor de la Q oscila desde 1 000 para los relojes de pulsera económicos hasta 10^{10} para los fuentes de Cesio.

Relojes de cuarzo

En 1880 Jaques y Pierre Curie descubrieron la piezoelectricidad. Los materiales piezoeléctricos se deforman al aplicar sobre ellos una diferencia de potencial eléctrico. Del mismo modo, un material piezoeléctrico con electrodos en dos caras opuestas, al sufrir una deformación vertical a la superficie de sus caras, genera una corriente eléctrica. Esta propiedad que más tarde, se emplearía en el desarrollo del sónar, es la base de la fabricación de los relojes de cuarzo. Entre los años 1918 y 1927, Nicholson, Cady, Marrison y Die, estadounidenses los tres primeros y británico el

último, jugaron un papel fundamental en el desarrollo de los relojes de cristal de cuarzo.

El reloj de cuarzo está formado por un cristal cortado de un modo especial que vibra al serle aplicado un voltaje de corriente alterna. La fricción interna del cuarzo es muy pequeña y la Q vale desde 10^5 hasta $2 \cdot 10^6$. La frecuencia de oscilación del cuarzo depende del modo en que está cortado, de su tamaño y de la frecuencia resonante con la que se excite. Las oscilaciones del cristal pueden ser desde varios miles de ciclos hasta varios millones de ciclos por segundo. El resonador de cuarzo se conecta a un sistema de realimentación de modo que la frecuencia de oscilación se mantiene muy cercana a la frecuencia natural de resonancia. Los mejores cristales de cuarzo mantienen el tiempo con un error máximo de 0,1 ms por día. Algunos de ellos funcionan en pequeños hornos (de tamaño ligeramente superior al del cristal) para mantener su temperatura estable e impedir la contaminación por el entorno exterior.

Los relojes de cuarzo se comenzaron a utilizar en La Bell Telephone en 1932 y ese mismo año la Oficina de Patrones de EEUU (NIST) comenzó a utilizar un reloj de cuarzo como patrón para mantener la hora. La precisión de estos relojes permitió medir por primera vez variaciones estacionales en la rotación terrestre.

Estados Unidos, Suiza y Japón trabajaron en la utilización práctica de los cristales de cuarzo y contribuyeron a la aparición de los primeros prototipos de relojes de pulsera en la década de 1960, momento en el que comienza su popularización en la sociedad. Suiza llegó a emplear hasta 90 000 personas en la década de 1970 en la fabricación de los relojes de cuarzo. En la actualidad los relojes de cuarzo son omnipresentes, ya que no sólo están en las muñecas de muchas personas; también se utilizan en una gran cantidad de aparatos electrónicos como ordenadores, cámaras fotográficas y teléfonos móviles.

Relojes de atómicos

Los relojes atómicos son la última etapa en el desarrollo de la medida del tiempo. Se han otorgado 13 premios Nobel entre los años 1943 y 1997 por trabajos relacionados con los relojes atómicos, lo que nos da una idea de la magnitud del estudio y trabajo de científicos e ingenieros en este área de la Física.

Un reloj atómico está basado en la frecuencia natural de las partículas atómicas. Los átomos están compuestos de un núcleo y una nube de electrones a su alrededor que ocupan diferentes orbitales. El estado de energía de un átomo depende del estado de los protones, neutrones y electrones que lo componen. Por ejemplo, en un estado excitado un electrón puede estar en un orbital de mayor energía, habitualmente más lejano

del núcleo. Como dicho estado no es estable, el electrón pasa a otro orbital de menor energía, emitiendo, en dicho paso, un fotón de frecuencia equivalente a la diferencia de energía entre ambos estados. La emisión de ese fotón se podría considerar una «oscilación» natural del átomo. Un de los ejemplos más sencillos y cómunes es la transición hiperfina del átomo de hidrógeno que sirve para ilustrar el funcionamiento de casi todos los relojes atómicos actuales.

El átomo de hidrógeno está compuesto por un protón y un electrón que orbita en torno a él. El protón y el electrón tienen una propiedad física denominada espín, asociada con su momento angular intrínseco, que puede tomar dos valores: 1/2 o -1/2 en el caso del electrón y 1, 0 o -1 en el caso del protón. El espín se descubrió porque al hacer pasar partículas atómicas por un campo magnético se advertía que las particulas se desviaban en varios haces. Cuando las partículas eran electrones estos se dividían en dos haces, dependiendo del valor del espín. Cuando en un atómo de hidrógeno bajo un campo magnético externo, el espín del protón y del electrón son paralelos (ambos tiene el mismo signo) el átomo está en un estado de energía ligeramente superior a cuando son opuestos. El átomo de hidrógeno tiende a pasar espontáneamente del estado de mayor energía al de menor, es decir el electrón cambia su espín, y en esa transición emite un fotón de longitud radio de aproximadamente 1420 MHz de frecuencia. Los relojes atómicos hacen uso de esta propiedad y utilizan la radiación emitida para para controlar la señal de un reloj de cuarzo.

El reloj atómico más paradigmático es el de Cesio. También se basa en una transicion hiperfina causada por un cambio de espín en el electrón más exterior. El mecanismo utlizado para generar una señal útil es como sigue. Se hace pasar un flujo de átomos de Cesio a través de un imán que divide los átomos en dos grupos. Aquellos en los que el electrón de la capa exterior tiene un espín paralelo al núcleo y aquellos cuyo espín es opuesto. Uno de los haces se inyecta dentro de un tubo, que en realidad es una cavidad resonante, sobre la que se aplica una radiación electromagnética de frecuencia similar a la del fotón que se emite con el paso de un espín del electrón al otro. La mayor parte de los átomos que atraviesan la cavidad, al recibir la radiación, cambian de estado. A este proceso se le llama absorción estimulada. A su salida del tubo otro imán los vuelve a separar en dos haces. Aquellos cuyo estado final era el que se deseaba conseguir se dirigen a un detector y los demás se descartan. El detector controla un cristal de cuarzo que a su vez controla la radiación electromagnética en el tubo de tal modo que cuando la señal en el detector es máxima, la señal del cristal de cuarzo no cambia y si desciende se modifica hasta conseguir aumentar el número de detecciones. Se trata pues de un mecanismo de realimentación para conseguir la señal que maximiza el cambio de estado en el Cesio y que se corresponde con una frecuencia determinada de gran pureza.

El primer reloj atómico que se construyó fue en realidad un reloj mo-

lecular de amoniaco en 1949 en Estados Unidos. Este reloj, que utilizaba una transición molecular, presentó una Q menor de lo esperado y su desarrollo se abandonó. Los esfuerzos se dirigieron a la fabricación de un reloj atómico de Cesio. El primer prototipo fue ideado por Polykarp Kusch (premio Nobel en 1955) y contruido por Harold Lyons en 1952 en Washington DC. Sin embargo presentó algunos problemas de funcionamiento y no sería hasta tres años después, en 1955, cuando Louis Essen y Jack Parry, a partir de un método nuevo de Norman Ramsey (también premio Nobel en 1989), finalizaron el primer reloj atómico operativo en Gran Bretaña. Durante un año fue el único reloj atómico funcional en todo el mundo.

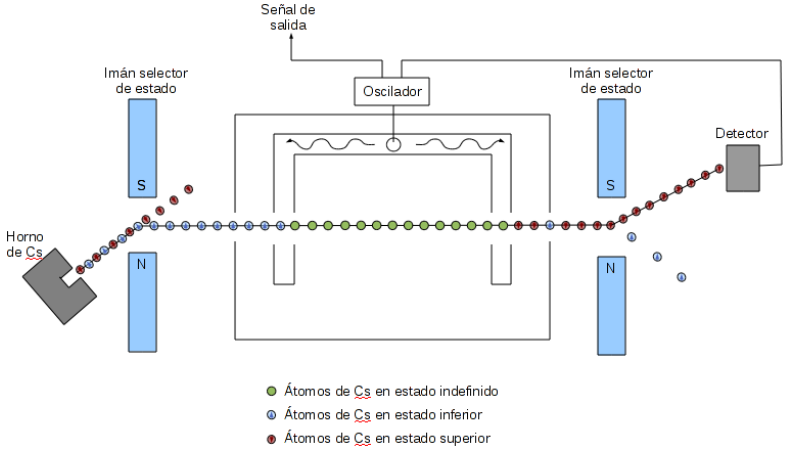


Figura 7: Esquema de un reloj de Cesio. Un horno produce atómos de Cesio en los dos estados descritos en el texto. Un imán selecciona los átomos dejando pasar hacia la cavidad resonante sólo aquellos que están en el estado inferior. La radiación estimula el paso del estado inferior al superior. Este proceso es tanto más eficiente cuanto más próxima es la frecuencia de la radiación a la de la transición hiperfina. A la salida se vuelven a separar los átomos entre aquellos que están en el estado inferior, y que no han cambiado a su paso por la cavidad, y los que estén en el estado superior. Estos últimos llegan a un detector que controla la frecuencia del oscilador que genera la radiación electrómagnética en la cavidad. El sistema es realimentado de modo que la frecuencia del oscilador se modifica para maximizar el recuento del número de átomos en el estado superior. La frecuencia del oscilador es la que se emplea para generar una señal exterior.

En la actualidad los relojes atómicos comerciales tienen una calidad superior a la del Cesio de Essen y Parry. Más tarde se han fabricado

relojes de Cesio bombeados ópticamente, o fuentes de Cesio que emplean mecanismos para reducir el ensanchamiento de la línea. El error que cometen es de aproximadamente 1 nanosegundo (10^{-9} segundos) por día. La incertidumbre en frecuencia más pequeña conseguida hasta la fecha es de 10^{-17} con fuentes de Cesio. Otros relojes atómicos en uso son los de Rubidio y los máseres de hidrógeno. Estos últimos se emplean habitualmente en observatorios astronómicos, como el Centro Astrónomico de Yebes en España, que realizan observaciones de VLBI.

Los últimos desarrollos científicos y técnicos están dirigidos a conseguir relojes compuestos por un sólo átomo o ión de modo que la línea producida por la transición atómica sea extraordinariamente estrecha y produzca una línea muy pura, es decir muy precisa y exacta. También se están realizando trabajos para conseguir relojes atómicos de bolsillo.

Cuadro resumen con las fechas y la mejor precisión y factor de calidad de algunos relojes a lo largo de la historia

Reloj	Fecha	Precisión	Q
Paleta y Balancín	1200 – 1650	1000 s/día	
Péndulo	1650 – 1927	2 ms/día	10^5
Cronómetro	1761 –	0,2 s/día	10^3
Cuarzo	1927 –	0,1 ms/día	10^6
Reloj atómico de Cesio	1955 –	10 ns/día	10^8
Máser de hidrógeno	1960 –	400 ps/día	10^9
Fuente de Cesio	1999 –	100 ps/día	10^{10}

El cuadro anterior contiene un breve resumen sobre las fechas aproximadas de uso de diferentes tipos de relojes y su mejor grado de precisión o estabilidad y factor de calidad. Los péndulos en el aire tiene un factor de calidad, Q, de 10 000, mientras que en el vacío es de aproximadameente 100 000. En el cuadro figura el mejor valor (el más alto).

¿Cuánto dura un segundo?

En los siglos XVIII y XIX se habían ido acumulando evidencias, basadas sobre todo en la posición de la Luna, de que la rotación de la Tierra no es uniforme. El uso de los relojes de cuarzo en la década de 1920 permitió confirmar esa hipótesis ya que se observaron variaciones estacionales. Con el advenimiento de los relojes atómicos fue posible medir con mucho más detalle las irregularidades de la rotación de la Tierra.

En este momento se sabe que existen tres tipos de irregularidades:

- La velocidad de rotación de la Tierra se hace cada vez menor debido a los efectos de marea producidos fundamentalmente por la Luna.

Se cree que un día terrestre duraba 21 horas hace 600 millones de años. Como consecuencia la Luna se aleja de la Tierra.

- Los polos (asociados a la rotación terrestre) realizan un movimiento aproximadamente circular de varios metros de amplitud en un año respecto del polo asociado a la figura geométrica de la Tierra. Su movimiento se representa como un trazo sobre la superficie de la Tierra en el polo. Estos movimientos están probablemente causados por efectos estacionales y reorganización de las capas internas de la Tierra.

- Las fluctuaciones regulares están asociadas con las variaciones estacionales sobre la superficie de la Tierra. Estas variaciones tienen que ver con la conservación del momento angular y los cambios producidos por la evaporación del agua en los mares y su acumulación en hielos y nieve en las montañas y en su proceso inverso.

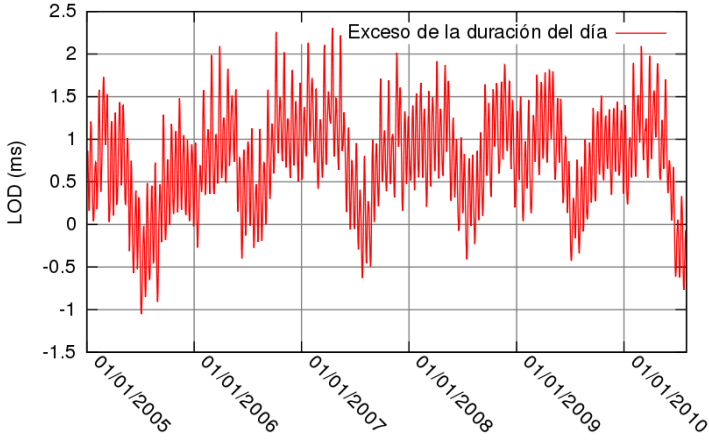


Figura 8: Variaciones en la longitud del día en los últimos 5 años. Las variaciones rápidas son debidas a efectos de marea. Las oscilaciones anuales que se observan corresponden a variaciones estacionales. Imagen generada a partir de los datos del IERS.

Todos estos efectos ocasionan que la escala de tiempo basada en la rotación terrestre, y a la que se llama Tiempo Universal o UT («Universal Time» en inglés), no sea adecuada por su falta de uniformidad y han originado los cambios de definición del segundo como unidad de tiempo. La escala UT es importante a efectos prácticos, porque la humanidad y todas sus actividades están ligada a la Tierra y su rotación.

Existen tres tipos de escalas de UT: UT0, que es la escala asociada a la rotación terrestre con todas sus irregularidades. UT1 que es la escala anterior corregida por el movimiento del polo. Esta escala es la que se emplea para realizar observaciones astronómicas y para el cálculo de las efemérides tanto de satélites artificiales como astros naturales. Finalmente la escala UT2 es un intento de hacer la escala más uniforme y de eliminar las fluctuaciones estacionales de la escala UT1. Apenas se utiliza.

Antes de 1960 el segundo, o segundo solar, se definía como la 86 400 parte de un día solar medio. Esto implicaba que se estaba utilizando una escala variable (UT) que requería un ajuste de vez en cuando. Entre 1960 y 1967 la unidad de tiempo era el segundo de efemérides que se definió como la 31 556 925,9747 parte del año tropical de 1900, y la escala de tiempo se denominó Tiempo de Efemérides (ET). Al contrario que en el caso anterior esta escala es uniforme pero requería muchas observaciones a lo largo de los años para compararla con la rotación terrestre, y poder determinar cuánto se alejaba de la escala UT.

En 1960 un conjunto de observatorios y laboratorios decidió establecer la escala UTC (Tiempo Universal Coordinado en inglés) como escala de uso civil. El objetivo era la utilización de una escala uniforme similar a la del tiempo atómico pero que se mantuviera sincronizada aproximadamente con la rotación terrestre. Se decidió que los años tuvieran el mísmo número de segundos, pero dada la deceleración de la rotación terrestre esto significaba que cada año los segundos tenían una duración diferente. El ajuste se hacía cada vez que los segundos UT diferían más de una décima de los segundos ET. La escala UTC utilizaba por tanto una unidad de medida variable que se ajustaba a posteriorí a partir de las observaciones. Esta estrategia resultó ser muy engorrosa y fuente contínua de problemas y se abolió en 1971.

A partir de 1967 la IAU estableció como unidad de tiempo el segundo de Tiempo Atómico Internacional (TAI) que se define como la duración de 9 192 631,770 oscilaciones de la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del Cesio 133 a 0 K de temperatura. La escala de tiempos TAI está totalmente desacoplada de la rotación terrestre y de cualquier fenómeno astronómico, aunque el segundo se eligió para que coincidese con el segundo de la escala ET, tras un programa de observación de tres años de duración que finalizó en 1958. La primera escala de tiempo atómico comenzó en Junio de 1955.

Para resolver la falta de sincronismo entre el TAI y el UT, en 1971 se acordó que el Tiempo Universal Coordinado (UTC), como escala de uso civil, tuviese la misma unidad que el Tiempo Atómico Internacional y que se mantuviese en sincronismo con la rotación terrestre, intercalando o sustrayendo un segundo a final de año según fuera necesario. La regla actual dice que el UTC debe permanecer siempre a una distancia máxima de 0,9 segundos respecto de la escala UT1. En enero de 1972 la diferencia

entre el TAI y el UTC se estableció en 10 segundos y desde entonces ha ido creciendo hasta 34 segundos.

Uno de los problemas que el TAI heredó de la escala ET es que esta última se eligió de modo que un segundo sea igual a un segundo solar medio en 1900. La elección de esta fecha, aparentemente arbitraria, se debe a que fueron necesarias numerosas observaciones astronómicas hechas en los siglos XVIII y XIX para determinar su duración. Desde entonces hasta que se estableció la escala de Tiempo Atómico Internacional la deceleración de la rotación terrestre continuó y esto implica que la escala ET ya no reflejaba en la década de 1950, y aún menos en la actual, la duración del segundo UT2. Por tanto el segundo TAI, y el ET, son más cortos que el UT2 y esta es la principal razón por la que es necesario el uso del segundo intercalar.

La diseminación del tiempo

Actualmente la escala de tiempos TAI se realiza a partir de un grupo de 260 relojes atómicos situados en todo el mundo, calibrados por unos pocos patrones primarios de frecuencia. Los patrones primarios son el núcleo del sistema mundial de tiempos. Lo forman unos 10 relojes de Cesio, fuentes de Cesio, y Cesios bombeados ópticamente en Alemania, Estados Unidos, Francia y Japón. Los relojes comerciales sirven para generar el UTC local en cada pais. La realización del TAI es función de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) que emplea observaciones con satélites GPS para comparar los diferentes relojes.

El servicio Internacional de La Rotación Terrestre (IERS) realiza medidas de la rotación terrestre y produce el tiempo universal UT1. Este tiempo se pasa a la BIPM que decide si añade o sustrae un segundo intercalar al TAI. El UTC se distribuye en una circular en la que se indica a 69 instituciones diferentes, las correcciones que deben hacer a las escalas de tiempos UTC locales. Estas instituciones retransmiten el UTC local corregido a la sociedad mediante diversas técnicas. En España el encargado del mantenimiento y diseminación del UTC local es el Real Observatorio de la Armada en San Fernando.

Existen tres esquemas básicos para la diseminación del tiempo desde un reloj maestro y la sincronización de otros relojes con el. La diseminación en una sóla dirección es el método más usado. Desde el reloj maestro se emite una señal con el tiempo y el receptor sincroniza su reloj cuando la señal llega hasta el. El principal problema es el retraso desconocido introducido por la transmisión de la señal. La diseminación del tiempo en dos direcciones pretende resolver este problema. El emisor envía una señal de prueba con la hora del reloj maestro y el receptor envía de vuelta el eco. Entonces el emisor modifica el momento de su emisión para compensar por el retraso introducido en la propagación de la señal. El tercer

esquema utiliza el método de visión común. Un tercer reloj, que no debe ser necesariamente exacto, envía señales que el emisor y el receptor reciben. Entonces el emisor envía la señal del reloj maestro junto con una marca temporal correspondiente al momento de la emisión, según el reloj común. El receptor recibe la señal y la marca también con la hora del reloj común, realiza la diferencia entre ambas marcas, que indica el retraso producido por la transferencia, y corrije su reloj. Es importante que el receptor y el emisor conozcan su distancia al reloj común para que la corrección sea buena. Puede haber variaciones sobre estos tres esquemas básicos.

El método de una sóla dirección se emplea para difundir el tiempo a la sociedad a través de campanadas, señales acústicas de TV y radio y ondas de radio especialmente dedicadas para ello. En el capítulo de Tiempos de este anuario hay un cuadro resumen con las emisoras de señales horarias de emisión continua. Se dividen en dos, de onda corta (5 a 15 MHz) y onda larga (60 a 78 KHz).

La sincronización a través de Internet se realiza a través de NTP. NTP (Network Time Protocol) es el protocolo de sincronización de Tiempo de Red, y puede emplear tres sistemas de diseminación que se corresponden básicamente con los esquemas descritos anteriormente. En uno de ellos el emisor de señales, y el receptor, habitualmente ambos son dispositivos con microprocesadores, intercambian paquetes marcados temporalmente con sus respectivos relojes para medir el retraso de la señal a través de Internet o de una red local. El cliente en el receptor corrige la señal recibida y pone el reloj del ordenador cliente en hora. NTP utiliza un sistema de estratificación en el que se clasifican los servidores de acuerdo con la calidad de sus señales. Los servidores «stratum 0» son relojes atómicos, receptores GPS o radios. Los servidores estrato 1, obtienen su hora de los estrato 0, y transmiten su hora a los de estrato 2.

Otro de los métodos de recepción de la hora son los receptores GPS. El GPS es un sistema de navegación global por satélites. El segmento espacial está formado por una constelación de 24 satélites distribuidos en 6 órbitas en torno a la Tierra, equipados con relojes atómicos. El segmento de tierra sirve para la operación y gestión de los satélites y para sincronizar los relojes en órbita. Los receptores GPS comerciales reciben la señal de al menos 4 satélites diferentes, permitiendoles determinar la posición del receptor, y el tiempo UTC. El receptor procesa las señales de los diferentes satélites y, utilizando un algoritmo, corrige el tiempo de transmisión de la señal. La hora se puede conocer con una precisión de 1 nanoseguno.

Otra constelación de satélites actualmente en uso es el sistema ruso GLONASS. En el futuro cercano, estará operativo el sistema europeo Galileo.

El tiempo relativista

La precisión alcanzada en la medida del tiempo, hace necesario tener en cuenta los efectos relativistas sobre los relojes. Este hecho es especialmente relevante en los sistemas de navegación global con satélites como el GPS, GLONASS y Galileo, donde los relojes están en órbita. Finalizaremos este artículo del anuario con un breve repaso sobre la influencia de la relatividad especial y general sobre la determinación del tiempo.

La relatividad especial fue formulada por Albert Einstein en 1905. De acuerdo con ella no existe un marco de referencia absoluto, las leyes de la física son iguales en dos sistemas que se mueven con una velocidad de traslación uniforme entre ellos y la velocidad de la luz se emite a la misma velocidad independientemente de la velocidad del emisor de la luz. Este último principio es extraordinariamente importante para la sincronización de dos relojes en movimiento entre sí. De acuerdo con la relatividad especial un reloj que sufre una aceleración respecto de un reloj en reposo, marcha más lentamente que el que está en reposo. Este principio, conocido popularmente por la paradoja de los gemelos, se ha observado en relojes que se han trasladado en avión desde su emplazamiento original a otro y luego han regresado a su lugar de origen.

En 1915 Albert Einstein publicó la teoría de la relatividad general. Según ella la gravedad es una propiedad geométrica del espacio tiempo y la luz se desplaza siguiendo sus curvas geodésicas. Esto significa que en la práctica la radiación electromagnética, la luz, es atraida por un campo gravitatorio. Este efecto se ha visto confirmado por observaciones astronómicas. Muy relacionado con la propiedad anterior está el del enlentecimiento del tiempo en las proximidades de un cuerpo masivo. Este efecto también se ha confirmado midiendo la frecuencia de la señal de los relojes situados en valles y montañas. Un reloj situado primero en una montaña, donde la gravedad es menor, marcha más rápido que cuando se le situa después en un valle.

Las consecuencias de la relatividad especial y general sobre los relojes son especialmente importantes cuando están montados sobre satélites en órbita. Estos efectos se tienen en cuenta en su operación y sincronización con los relojes maestros en tierra. De hecho resulta curioso advertir que los relojes en órbita marchan más rápido que los terrestres por estar en un entorno de gravedad menor pero también marchan más lentos por encontrarse en rotación en torno a la Tierra. Se estima que un satélite GPS se atrasa 7 microsegundos por día por su movimiento relativo respecto de un observador en tierra, y se adelanta 45 microsegundos por día por la curvatura del espaciotiempo debida la masa de la Tierra. El efecto neto es un adelanto de 38 microsegundos por día que es necesario corregir. Otros efectos de orden menor también se tienen en cuenta.

Conclusión

El tiempo es probablemente la cantidad que los humanos han conseguido medir con mayor precisión, y como resultado, otras unidades básicas se pueden obtener a partir de el. Este es el caso del metro, que actualmente se define a partir del segundo, asumiendo que la velocidad de la luz es constante e igual para todos los observadores independientemente de su velocidad relativa. De hecho en astronomía las distancias se miden en tiempo. Por ejemplo, el Sol se encuentra a 8 minutos luz, y las estrellas más cercanas en Alfa Centauri están a 4,4 años luz de la Tierra. Existen intentos para definir la carga eléctrica a partir del tiempo empleando el efecto Josephson.

Todavía seguimos sin poder definir el tiempo pero la búsqueda de métodos de medida cada vez más precisos ha ensanchado nuestro conocimiento sobre él e impulsado el desarrollo científico y técnico de la humanidad.

Referencias

J. Jespersen, J. Fitz-Randolph, *From Sundials to Atomic Clocks.* Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office 1999.

T. Jones, *Splitting the Second. The Story of Atomic Time.* IOP Publishing 2000.

Marrison, *The Evolution of the Quartz Crystal Clock.* The Bell System Technical Journal, Vol. XXVII, pp. 510-588, 1948.

A. Pannekoek, *A History of Astronomy*. Dover Publications 1989.

Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia.
`http://www.iers.org.`

Oficina Internacional de Pesos y Medidas.
`http://www.bipm.org.`

APUNTES SOBRE 30 AÑOS DE RADIOASTRONOMÍA EN ESPAÑA

Jesús Gómez González

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento

En la noche del 1 a 2 de noviembre de 1979, el ingeniero geógrafo Alberto Barcia (ingeniero de telecomunicaciones) y el astrónomo que escribe estas líneas (físico), realizábamos, en solitario, la primera observación radioastronómica llevada a cabo en nuestro país desde un centro español (el Observatorio de Yebes, en Guadalajara) y con un radiotelescopio (el de 14 metros para ondas milimétricas) que, con excepción de la antena (suministrada por la empresa norteamericana ESSCO) había sido construido, instalado y puesto en funcionamiento únicamente por científicos, ingenieros y técnicos españoles del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de Madrid, y de las empresas participantes en el montaje e instalación de la antena y en la construcción de las infraestructuras necesarias.

Alberto y yo nos ocupábamos de la gestión y coordinación del proyecto (y del propio Observatorio de Yebes), de los trabajos (hardware y software) de control del radiotelescopio (movimiento y toma de datos), y de los trabajos de montaje, ajuste, calibración y puesta a punto de éste para su utilización en observaciones astronómicas. Los profesores y técnicos de la ETSIT de Madrid habían construido el receptor de 90 GHz, no refrigerado, con el que se realizó esa primera observación radioastronómica y los posteriores trabajos de calibración y puesta a punto. Su temperatura de ruido[1] era de unos 7000 K, lo que lo hacía unas 10-12 veces menos sensible que los receptores refrigerados utilizados por aquel entonces en los observatorios con radiotelescopios de ondas milimétricas; es decir, que para alcanzar la misma razón señal/ruido que con éstos, con nuestro radiotelescopio

[1] Parámetro que mide la sensibilidad de un receptor.

de 14 metros (en adelante, RT14m) necesitábamos un tiempo de observación (integración) unas 100-150 veces mayor. Y en lo que se refiere a los trabajos de calibración y puesta a punto (puntería, seguimiento, enfoque, eficiencia de apertura,...) para las que resulta necesaria la detección de las radiofuentes en tiempo real, únicamente el Sol, la Luna y, en sus momentos de mayor proximidad, Venus y Júpiter, tenían la intensidad suficiente para ser utilizados como fuentes de calibración. Hay que señalar también que, como más tarde determinaríamos una vez realizados esos trabajos de calibración, la eficiencia de apertura a 90 GHz (3 mm de longitud de onda) del RT14m era de, tan sólo, un 10-12 %.

Estas eran las razones técnicas por las que aquella noche de noviembre de 1979, la fuente que tratábamos de localizar y detectar para hacer una primera corrección de los errores de puntería del telescopio era la Luna. Para ello, cubríamos un área de varios grados cuadrados en torno a las coordenadas celestes de posición de la Luna en cada momento, haciendo barridos en acimut para ángulos de elevación separados unos 10′ de arco (el disco de la Luna tiene unos 30′ de arco de diámetro).

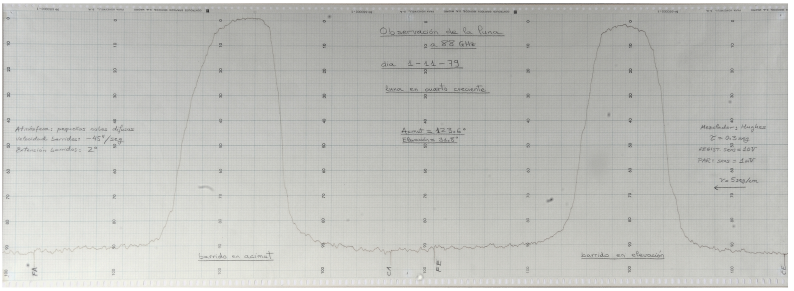


Figura 1: Barridos en acimut y elevación de la Luna a 90 GHz realizados con el radiotelescopio de 14 metros de Yebes por A. Barcia y J. Gómez González, el día 1 de noviembre de 1979.

Durante bastante tiempo (un tiempo largo pero lleno de expectación) no conseguíamos atinar con la dichosa Luna y llegamos a pensar que, tal vez, el sistema tuviera o introdujera un error muy grande de puntería debido a un defecto en la mecánica del radiotelescopio o a un fallo de hardware o de software en el sistema de control. Recuerdo que mientras uno de nosotros movía la antena desde la sala de control, el otro salía al exterior (el RT14m está encerrado dentro de un radomo[2]) para comprobar que, "groso modo", el telescopio apuntaba en la dirección de la Luna. Aquellos momentos, en la soledad -entonces mucho mayor- de los campos de Yebes donde se encuentra el Observatorio, fueron para nosotros algunos de los más

[2]Estructura esférica de material transparente a las ondas radioeléctricas.

emocionantes que hemos tenido la suerte de vivir (y que sólo se pueden "comprar" con entusiasmo y esfuerzo). Sobre todo cuando, por fin, en uno de esos barridos, la aguja del registrador gráfico de papel comenzó a trazar la señal, ¡espléndida señal!, de la emisión térmica de la Luna a 3 milímetros de longitud de onda (figura 1).

El pasado 3 de abril de 2009, durante la sesión de 100 horas de observaciones astronómicas organizadas a nivel mundial como el acto más significativo del Año Internacional de la Astronomía (que conmemoraba el 400 aniversario de la primera observación con un telescopio realizada por Galileo en 1609), 30 años después de aquella primera observación de la Luna, el nuevo radiotelescopio de 40 metros de diámetro para ondas milimétricas del Observatorio de Yebes realizaba, con éxito, su primera observación de interferometría de muy larga base con los telescopios conectados en tiempo real. En esta técnica observacional, conocida por sus siglas en inglés como e-VLBI, radiotelescopios situados a distancias de miles de kilómetros observan simultáneamente la misma radiofuente enviando, en tiempo real, las señales captadas a los centros de procesado (correlación), a través de redes globales de transmisión de datos de muy alta capacidad. Esta es, sin duda, la técnica observacional más compleja -conceptual, instrumental y organizativamente hablando- de cuantas en la moderna astronomía se llevan a cabo desde emplazamientos en Tierra.

Por otra parte, en la actualidad, el Observatorio de Yebes se ha convertido en uno de los observatorios radioastronómicos más importantes del mundo, en el que una treintena de científicos y técnicos llevan a cabo actividades, no sólo de astronomía, sino también de geodesia y geofísica. Así mismo, el Observatorio de Yebes cuenta con algunos de los mejores laboratorios de electrónica y microondas de Europa en los que se realizan trabajos de I+D+i sobre componentes, equipos e instrumentación utilizados en esas disciplinas, habiéndose convertido, recientemente, en la sede del Centro de Desarrollos Tecnológicos (CDT) de astronomía, geodesia y geofísica del IGN.

Con esa base de conocimientos, experiencia y equipamiento, los radioastrónomos del IGN -científicos y técnicos- participan muy activamente, y desde posiciones muy destacadas, en los más importantes proyectos y organismos internacionales a escala europea y mundial (EVN/JIVE, ALMA, FIRST-Herschel, SKA, VSOP2,...) y han ampliado sus actividades a los campos de aplicación de la radioastronomía en geodesia y geofísica, donde se ha comenzado a proponer, planificar y liderar proyectos de gran envergadura y proyección internacional (proyecto RAEGE).

Las páginas que siguen no son más que unos breves apuntes personales de los "capítulos" más importantes que dan cuenta y razón del recorrido de la radioastronomía en el IGN (o lo que es lo mismo, de la radioastronomía instrumental en España), desde sus inicios, hace más de treinta años, hasta el momento presente. El planteamiento en esos "capítulos" y no en otros

sigue, obviamente, un criterio personal, pero no es un planteamiento arbitrario: hacen referencia a los temas que, como responsable de la radioastronomía del IGN durante todos esos años, han constituido, o sobre lo que han versado mis sucesivas decisiones. Y eso nadie lo sabe mejor que yo.

El Centro Astronómico de Yebes. El radiotelescopio de 14 metros (RT14m)

Durante los primeros años 70, y gracias a los, por entonces en aplicación, Planes de Desarrollo, el Real Observatorio de Madrid (ROM) recibió una importante cantidad de presupuestos de inversión que tenían como objetivo la modernización de sus instalaciones y de sus instrumentos de observación astronómica.

Como principal instalación del Observatorio, se creó el Centro Astronómico de Yebes (CAY), en la provincia de Guadalajara, en una parcela de unos 25 hectáreas, a unos 80 kilómetros al nordeste de Madrid. Como instrumentación para este nuevo centro, los seis astrónomos del ROM que constituían toda su plantilla habían encargado la construcción de un astrógrafo doble de 40 centímetros (a la empresa Carl Zeiss de la República Democrática Alemana); de un telescopio óptico infrarrojo de 1,5 metros de diámetro[3] (a la empresa REOSC, de Francia); y, sorprendentemente, de un radiotelescopio de 14 metros de diámetro para longitudes de onda milimétricas (a la empresa ESSCO de Estados Unidos) que incorporaba la más alta tecnología de la época ("estado del arte") en ese tipo de instrumentos. Y digo que la adquisición de este radiotelescopio resultaba sorprendente porque, en aquel momento, y entre esos seis astrónomos, no había ninguno que tuviera conocimientos científicos ni técnicos en radioastronomía. También se tenía previsto instalar en el CAY, en una torre solar construida al efecto, el telescopio y espectrógrafo de 15 centímetros (de la empresa Zeiss de la República Federal de Alemania) que venía utilizándose en el propio Observatorio de Madrid.

De los seis astrónomos que constituían la plantilla del ROM, uno estaba a punto de jubilarse (su plaza sería la que yo ocupase interinamente en noviembre de 1974); otro era el Director y, prácticamente, dedicaba todo su tiempo a la gestión del observatorio; y un tercero, tenía como tarea la confección de las efemérides astronómicas del Anuario del Observatorio. Así que, cada uno de los otros tres restantes se habría de ocupar de uno de los nuevos instrumentos: telescopio solar, astrógrafo doble y telescopio de 1,5 metros; pero quedaba el radiotelescopio de 14 metros que estaba construyéndose en Estados Unidos.

[3]Telescopio que, finalmente, y a instancia nuestra, se instalaría en el Centro Astronómico hispano-alemán de Calar Alto (Almería), emplazamiento mucho más adecuado que el de Yebes para ese telescopio.

Esta era la situación del ROM a mediados de 1974 con la que se encontró, al poco de ocupar su puesto, el entonces Director General del IGN, Rodolfo Núñez de las Cuevas, hombre de inagotable entusiasmo y grandes deseos de contribuir a la mejora de nuestro país, cualidades que le llevaron a jugar un importante papel en el desarrollo de la radioastronomía en España.



Figura 2: En la residencia del Observatorio de Yebes (1979). De derecha a izquierda: Rodolfo Núñez de las Cuevas (Director General del IGN); José Pedro Pérez Llorca (Ministro de la Presidencia); José Pensado Iglesias (Director del Observatorio Astronómico Nacional); Jesús Gómez González (Jefe de la Sección de Radioastronomía y del Observatorio de Yebes); Alberto Barcia Cancio (Ingeniero Geógrafo).

En septiembre de ese mismo año, tras unas estancias de 3 años en el Departamento de Radioastronomía del Observatorio de París y de 6 meses en el Observatorio Nacional de Radioastronomía (NRAO) de EEUU, durante las que había realizado mi tesis doctoral, regresé a la Universidad Complutense de Madrid donde tenía reservado un puesto de profesor adjunto en el Departamento de Electromagnetismo de la Facultad de Ciencias Físicas; puesto desde el que iba a impartir un curso de radioastronomía y donde debía comenzar a formar un grupo en esa especialidad en colaboración con el Departamento de Astronomía (la idea era utilizar el radiotelescopio de 64 metros que la NASA estaba construyendo en la Estación Espacial de

Robledo de Chavela, a 60 kilómetros de Madrid). El caso es que el Director del IGN, enterado de mi existencia y de que había realizado una tesis en radioastronomía, me convocó a una reunión en su impresionante despacho del IGN y me ofreció entrar en el Observatorio (inicialmente como astrónomo interino) para hacerme cargo del radiotelescopio que se estaba construyendo en Estados Unidos (el RT14m) y de desarrollar y dirigir las actividades de radioastronomía. Cuando le hablé de mi compromiso con el Departamento de Electromagnetismo, Rodolfo Núñez de las Cuevas me pidió permiso para contactar con su director, Prof. Maximino Rodríguez Vidal y explicarle la situación. Recuerdo que D. Maximino me dijo entonces que lo importante de verdad era que se desarrollase en España la radioastronomía (ciencia que, por entonces, estaba haciendo aportaciones merecedoras de Premio Nobel) y no el lugar o la institución donde se realizara ese desarrollo; así que la propuesta no solo le pareció bien, sino que me animó -"en interés de nuestro país"- a que aceptase la oferta del IGN. De vez en cuando siento nostalgia de aquellos tiempos, entre otras cosas porque había aquellos hombres.

Así fue como, en noviembre de 1974, me vi como Jefe de la Sección de Radioastronomía (que sólo contaba con un astrónomo: yo mismo) y como Director del CAY (del que sólo existía el cercado y la carretera interior, y que todavía no contaba con ningún personal). Eso sí, Rodolfo Núñez de las Cuevas me había prometido que al cabo de un año contaría con 4 titulados superiores. La realidad fue que al cabo de 4 años solo tenía 1 ingeniero (Alberto Barcia), pero yo entonces tenía 26 años y mucha ilusión; y, además, quise creerle.

La particularidad más destacable del diseño del RT14m (figura 3) era la simplicidad de su estructura trasera y su construcción en aluminio. Resultaba de esta forma una estructura muy ligera de la que se esperaba que las deformaciones gravitatorias de su superficie colectora (formada también por paneles de aluminio) fueran muy pequeñas, con lo que se minimizarían las variaciones de su eficiencia al observar a distintos ángulos de elevación. El precio a pagar era que, al no ser su estructura muy rígida, la antena tenía que estar protegida dentro de un radomo, esto es, de una cúpula esférica formada por paneles triangulares de plástico que dejan pasar las ondas radio con una pequeña atenuación, pero que la protegen del viento y de las deformaciones térmicas debidas a la irradiación solar. En realidad, la empresa constructora del radiotelescopio, ESSCO, era una empresa especializada en el diseño y construcción de grandes radomos para antenas de comunicaciones y de radares. Con todo, los costes de fabricación de estas antenas eran muy competitivos y, por aquellos años, centros dedicados a la radioastronomía de Brasil, Finlandia y EEUU (años más tarde, también, de Corea) habían encargado radiotelescopios a ESSCO. Más tarde se vería que el diseño de las estructuras traseras no era suficientemente bueno (por entonces, los modelos y cálculos de elementos

finitos no estaban muy desarrollados) y que, incluso siendo muy ligeras, esas estructuras se deformaban mucho al variar el ángulo de elevación. De hecho, las estructuras de todas ellas, incluida la nuestra, tuvieron que ser reforzadas para su uso a altas frecuencias.



Figura 3: Radiotelescopio de 14 metros de Yebes con el receptor de bandas S/X utilizado en observaciones de VLBI astronómico y geodésico.

Para la construcción del receptor, el IGN había firmado un contrato con el Departamento de Antenas de la ETSIT de Madrid, dirigido entonces por el Prof. Jesús Sánchez Miñana, del que uno de sus jóvenes profesores era Alberto Barcia (sólo unos meses mayor que yo). Se trataba de un receptor a 90 GHz (3 mm de longitud de onda), no refrigerado, que utilizaba como frecuencia intermedia un enorme amplificador máser de 22 GHz. Como antes se ha dicho, la temperatura de ruido de este receptor era de unos 7000 K. Visto ahora, y considerando la bajísima eficiencia de la antena, el altísimo ruido del receptor, las poquísimas radiofuentes que podíamos detectar (todas ellas extensas y, por ello, nada adecuadas para los trabajos de calibración), las limitaciones impuestas por la atmósfera para observaciones a frecuencias tan altas, y la prácticamente nula experiencia que teníamos en el tipo de tareas a realizar, yo mismo me sorprendo de que, después de todo, acabásemos detectando la Luna aquella noche de noviembre de 1979. No digamos ya que acabásemos determinando los errores de puntería y de seguimiento, de que ajustásemos el foco, estimásemos la eficiencia de la antena a 90 GHz y de que incluso llegásemos a realizar una observación espectral detectando la emisión a esas frecuencias de un máser circunestelar de la molécula de SiO. Hay que decir que esto nos llevó varios años y que la conclusión final fue que el RT14m no tenía capacidad efectiva

(no era competitivo) para trabajar a longitudes de onda de 3 mm (incluso después de haber hecho modificaciones para hacer más rígida la estructura de la antena siguiendo un diseño de ingenieros de la ETSI Aeronáuticos de Madrid). Así que se tomó la decisión de construir un receptor refrigerado a 45 GHz (7 mm de longitud de onda) con el que realizar observaciones de moléculas interestelares y circunestelares en ese rango de frecuencias (en particular, de la emisión máser de SiO en las envolturas circunestelares). Esta decisión se apoyaba en dos hechos: primero que durante esos años habíamos seleccionado a jóvenes físicos e ingenieros de telecomunicación entre los más destacados de sus promociones (varios de ellos premios extraordinarios de licenciatura) que, tras un periodo inicial de formación con el RT14m, enviábamos a Francia, Alemania y Estados Unidos para realizar sus tesis doctorales en la física de los medios interestelar y circunestelar y en la instrumentación radioastronómica a longitudes de onda milimétricas; y segundo que, como relataré mas adelante, en mayo de 1980 el IGN había firmado con el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) de Francia, y la Max-Planck Gesellshaft (MPG) de Alemania, un Convenio de Colaboración para la instalación y funcionamiento del recién constituido Instituto franco-alemán de Radioastronomía Milimétrica (IRAM). En este convenio se establecía que, en compensación de sus aportaciones, el IGN tendría derecho al uso de un 10 % del tiempo de observación con los radiotelescopios a construir y operar por el IRAM: el radiotelescopio de 30 metros de Pico de Veleta, y el interferómetro de 3 antenas (actualmente, 6 antenas) del Plateau de Bure, que eran y, hasta el momento presente continúan siendo los mejores radiotelescopios del mundo a longitudes de onda de hasta 1,2 mm (270 GHz). Así que teníamos gente formada en la astrofísica molecular y acceso a tiempo de observación con los mejores radiotelescopios del mundo a muy altas frecuencias.

El diseño y construcción del nuevo receptor a 45 GHz se realizó por completo en los laboratorios y talleres del CAY, siendo el primer receptor refrigerado a temperaturas criogénicas ($\sim$ 15 K) a tan altas frecuencias que se construía en nuestro país. El receptor se instaló en el RT14m en el año 1988[4]. Por entonces la plantilla de los radioastrónomos del CAY contaba con 8 titulados superiores.

La principal ventaja que podría tener el uso del RT14m era la gran cantidad de tiempo de observación de que disponíamos. Así que resultaba un instrumento adecuado para la realización de lo que se conoce como proyectos de observatorio, que son aquellos que requieren de grandes cantidades de tiempo de observación por el tamaño angular, número o duración de la variación temporal de los objetos astronómicos que se quieren estudiar. En nuestro caso, las observaciones de proyectos, llamémoslos normales (que requieren unas pocas horas o días de observación), se hacían con los radiotelescopios del IRAM (mucho más potentes y versátiles que el RT14m).

[4]Un primer receptor a 45 GHz, no refrigerado, se había construido en 1982.

Así que, aunque también se realizaron algunas de éstas con el RT14m a 45 GHz, el principal proyecto que se llevó a cabo con este radiotelescopio fue el seguimiento de las variaciones de intensidad de la emisión de los máseres circunestelares de SiO en estrellas evolucionadas, con vistas a establecer su posible correlación con la variación de su emisión en el infrarrojo (IR). Nuestras observaciones establecieron una clara correlación de las emisiones en el máser de SiO de la envoltura circunestelar y de la emisión IR de la estrella, resultado y datos observacionales que, como vamos a ver más adelante, nos llevarían a poder realizar una importante aportación científica: la primera detección utilizando las técnicas de la VLBI de los máseres circunestelares de SiO (figura 4); detección que ha abierto un nuevo campo de estudios de astrometría de estos objetos y con ello, de estudios de cinemática y evolución de las envolturas circunestelares, por lo que ha sido considerado un hito en el estudio de los mismos.

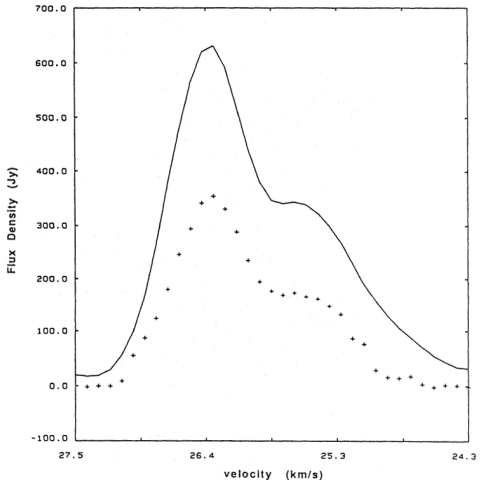


Figura 4: Primera detección de un máser circunestelar de la molécula de SiO utilizando las técnicas de la VLBI: Espectro de la emisión en la envoltura de la estrella μ Cep obtenido, en 1989, por las técnicas de la VLBI con los radiotelescopios de Yebes, Effelsberg (Alemania) y Onsala (Suecia). La línea continua muestra la emisión total, mientras que la discontinua muestra la emisión detectada con la línea de base (Effelsberg-Onsala) de 800 km.

En las técnicas radioastronómicas de la VLBI más usuales, las señales captadas por cada radiotelescopio se registran en cintas o discos magnéticos de gran capacidad. Posteriormente, estas cintas o discos son enviados al centro de procesado donde se correlan simulando, en tiempo diferido,

lo que en un interferómetro conectado se realiza en tiempo real. El resultado es doble: por una parte se obtienen las radioimágenes del objeto observado con una resolución angular de décimas o centésimas de milisegundo de arco, lo que resulta inalcanzable por cualquier otra técnica de observación astronómica; por otra parte, se determinan las distancias entre los radiotelescopios (que, como se ha dicho, pueden ser de miles de kilómetros) con una precisión del orden de 1 cm, y las orientaciones de las líneas de base con respecto al marco de referencia celeste, con las precisiones correspondientes ($\sim$ 1cm/10^4 km = décimas de milisegundo de arco). Este doble tipo de resultado hace que la VLBI se aplique tanto en estudios de interés astronómico, como de interés geodésico/geofísico.

El primer experimento de observación de VLBI se llevó a cabo, en 1967, entre antenas de Estados Unidos y Canadá. Con motivo del vigésimo aniversario de ese crucial experimento, en 1987 se celebró, en la Universidad de Harvard (EEUU), un congreso dedicado al desarrollo y resultados obtenidos por las técnicas de la VLBI. Asistí a ese congreso con la idea de analizar las posibilidades de instalación y puesta en marcha de esas técnicas en el RT14m. Allí me encontré con Alain Baudry, experto en VLBI y director del Departamento de Radioastronomía del Observatorio de Burdeos, a quién conocía desde mis tiempos de estancia en el Observatorio de París. Alain me presentó a Claude Boucher, director del Departamento de Geodesia Espacial del IGN de Francia, quien estaba interesado por el desarrollo de la VLBI geodésica en su instituto. Y juntos decidimos cooperar en VLBI utilizando el RT14m. En el CAY, los ingenieros diseñaron y construyeron un receptor refrigerado para observación simultánea en las bandas S y X (S/X), que podía usarse tanto para observaciones de interés astronómico, como geodésico; se diseñó un nuevo subreflector en fibra de vidrio que se ajustaba a la focalización del nuevo receptor (la construcción la realizó la ETSIT de Madrid). El Observatorio de Burdeos aportó el máser de hidrógeno y el sistema de registro y almacenamiento de datos, del tipo MarkII, para observaciones VLBI. Estos sistemas MarkII (que utilizaban en paralelo varios registradores de video) ya habían quedado muy sobrepasados técnicamente (en el Observatorio de Haystack, del MIT, se había desarrollado el sistema Mark III). Pero nuestro objetivo inicial era evidenciar, fehacientemente, nuestra capacidad técnica para la instalación y puesta en funcionamiento de la instrumentación necesaria para la realización de observaciones de VLBI, al tiempo que iniciábamos el proceso de formación de jóvenes astrónomos en los trabajos de análisis e interpretación de los datos adquiridos por esas técnicas. Cuando estos objetivos se hubieron logrado, pasamos a dotar al RT14m con nuestro propio máser de hidrógeno y un moderno sistema Mark III de tipo VLBA, y a integrar a Yebes en las redes europea y mundial de VLBI astronómico y geodésico.

Hacia 1995, el sistema para observaciones de VLBI con el RT14m en las bandas de frecuencia S/X estaba instalado y operativo, realizándose con

éxito las primeras observaciones. En España, ya éramos capaces de hacer, con nuestra propia instrumentación, las observaciones radioastronómicas basadas en Tierra más complejas de aquellos tiempos.

Por otra parte, jóvenes astrónomos del Observatorio habían realizado estancias de varios años en los mejores centros del mundo donde se trabajaba en VLBI (Universidad de Chalmers, en Suecia; Universidad de Harvard, en EEUU; Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn, en Alemania). Pero aunque las técnicas de observación fueran otras (VLBI), no se producía dispersión científica ya que el campo de estudio en el que se había enviado a formar a estos jóvenes era el mismo que el del resto de los astrónomos del observatorio: los medios interestelar y circunestelar a través de su componente en forma de gas molecular.

Podría, pues, decirse que, hacía 1995, en el IGN se abrió un nuevo campo de actividad en radioastronomía, la VLBI, que, a través de sus aplicaciones en geodesia, la conectaba directamente con alguna de las actividades más tradicionales del Instituto.

Volvamos ahora a la primera detección de los máseres circunestelares de SiO por las técnicas de la VLBI. Estas fuentes, de emisión muy intensa (en inglés, máser quiere decir amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación) provienen de regiones tan pequeñas que sólo pueden distinguirse y localizarse (resolverse) dentro de la envoltura circunestelar con resoluciones angulares que sólo es posible alcanzar con las técnicas de la VLBI (resoluciones de una décima o centésima de milisegundo de arco). Además de para conocer su naturaleza y los procesos físicos que en ellos tienen lugar, el interés de la detección por VLBI de los máseres circunestelares reside en que, observándolos en distintas épocas, se puede determinar su desplazamiento espacial y así conocer la cinemática (expansión) de la envoltura y, a partir de ello, su distancia y su evolución. Por estas razones esa detección había sido intentada sin éxito en anteriores ocasiones por otros radioastrónomos. La ventaja que nosotros teníamos era que, gracias al proyecto de observatorio que nos había conducido a establecer la correlación de la intensidad de la emisión máser de SiO con la emisión IR de la estrella, nosotros podíamos predecir fácilmente (viendo las curvas de variación de la emisión IR) los momentos en los que la emisión de SiO sería más intensa. Así que en el momento de planificar la observación (lo que en VLBI ha de hacerse con semanas o meses de antelación) podíamos conocer cuales de esas envolturas circunestelares serían las que tendrían una emisión de SiO más intensa en el momento de la observación. Las observaciones se realizaron en el invierno de 1989, observando a 43 GHz con los radiotelescopios de Yebes, de Onsala (Suecia) y de Effelsberg (Alemania). Y, por primera vez, la emisión del máser de SiO a esas frecuencias (transición J=1-0, v=1) en la envoltura circunestelar de la estrella μ Cep, fue detectada (figura 4), abriendo así, como ya se ha dicho, un nuevo campo de estudios radioastronómicos que ha producido

un gran número de trabajos científicos de extraordinaria importancia en el conocimiento de la naturaleza y evolución de ese tipo de objetos.



Figura 5: Edificio de despachos y laboratorios de Yebes: a) Vista exterior desde el RT40m b) Laboratorio de amplificadores.

Esta ha sido, sin duda, la principal aportación científica producida como consecuencia de la instalación y puesta en funcionamiento del RT14m. Pero a nivel de nuestro país, la contribución del RT14m a su desarrollo científi-

fico ha sido mucho más amplia, puesto que fue el instrumento que catalizó la creación en España del primer grupo de radioastronomía experimental; grupo que, en la actualidad (y como veremos más adelante) domina todos los aspectos instrumentales que forman parte de esta técnica observacional, desde los procesos de captación de las ondas electromagnéticas y su transformación en señales eléctricas (grandes áreas colectoras con sus servomecanismos de control, sistemas cuasiópticos, lentes y antenas focales,...), hasta los procesos de digitalización, registro y almacenamiento de los datos, tanto en el continuo, como espectrales (convertidores A/D, bancos de filtros, espectrómetros, bandas y discos magnéticos,...), pasando por todos los procesos de amplificación, mezcla de frecuencias y detección que experimenta la señal en las distintas etapas de radiofrecuencia y frecuencia intermedia de los receptores tecnológicamente más avanzados. Puede decirse que, durante estos últimos 30 años, el IGN, a través del Observatorio Astronómico Nacional, y muy en particular del Observatorio de Yebes, ha desarrollado una nueva técnica observacional en España, la radioastronomía, que aplica y utiliza para la realización de estudios astronómicos y geodésicos. Y este logro tiene su origen en la instalación, puesta en marcha y primeros usos del RT14m.

Desde mediados de los años 90, los desarrollos de la radioastronomía en el IGN siguen dos líneas principales de actuación: las observaciones de interés puramente astronómico mediante el uso de radiotelescopios de antena única y de interferómetros conectados en tiempo real; y las observaciones de interés tanto astronómico, como geodésico, mediante la utilización de las técnicas de la VLBI. Los dos apartados siguientes están en directa relación con esas dos líneas de actuación.

El Instituto hispano-franco-alemán de Radioastronomía Milimétrica, IRAM

Durante los últimos años 60 y primeros 70 del pasado siglo, los radioastrónomos franceses del Observatorio de París-Meudón y los alemanes del Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn, se encontraban planificando los desarrollos a seguir en cada una de sus instituciones con vistas a la extensión de sus actividades a las, por entonces tecnológicamente incipientes, longitudes de onda milimétricas. Los franceses centraban sus esfuerzos en la construcción de un interferómetro a esas frecuencias, probablemente porque en ese tipo de instrumentos acumulaban una buena experiencia (habían construido interferómetros solares y de dos antenas móviles, en la Estación Radioastronómica de Nançay). Por su parte, los astrónomos alemanes trataban de desarrollar un radiotelescopio milimétrico de gran área colectora (30 metros de diámetro), en este caso, tal vez, por el avance tecnológico en ese campo que había representado su radiotelescopio de 100 metros de diámetro para ondas centimétricas (finali-

zado en los primeros años 70) que, aún en la actualidad, casi cuarenta años después, continúa siendo, junto con el recientemente construido (2001) en Green Bank, EEUU, el radiotelescopio completamente móvil más grande del mundo. Los esfuerzos por parte francesa los lideraba el entonces director del Departamento de Radioastronomía del Observatorio de París Meudón, Emile-Jacques Blum; por parte alemana era el director del Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn, Peter Mezger, quién lideraba el proyecto. Ambos contaban con espléndidos equipos de colaboradores, tanto científicos, como técnicos. La génesis del IRAM como instituto franco-alemán siguió muchas vicisitudes que yo no podría contar y que, desde luego, quedan completamente fuera de lo que pretenden estos apuntes. El caso es que el 3 de abril de 1979, el CNRS francés y la MPG alemana firmaron el acuerdo por el que, en noviembre de ese mismo año, se creaba el IRAM. En ese acuerdo se establecía que el IRAM tendría su sede central en el campus de la Universidad de Grenoble, y que contaría con dos estaciones de observación: la de Pico de Veleta, en Granada, donde había de instalarse el radiotelescopio de 30 metros; y la del Plateau de Bure, en los Alpes franceses, a unos 80 kilómetros al norte de Grenoble, donde se instalaría un interferómetro milimétrico de 3 antenas de 15 metros. Ambos instrumentos deberían ser capaces de trabajar a 1,8 mm (170 GHz) de longitud de onda.

Unos pocos meses después de la creación del IRAM, tan pronto como en mayo de 1980, se firmaba, en Granada, el acuerdo de colaboración entre el IGN y el IRAM. Según este acuerdo, el IGN contribuiría con los terrenos en Loma de Dilar (Pico de Veleta) donde habría de instalarse el radiotelescopio de 30 metros, así como con los locales (inicialmente, 600 m^2, que más tarde se ampliaron a 800 m^2) donde se instalarían las oficinas y laboratorios de la sede del IRAM en Granada capital. Como contrapartida a estas aportaciones, el IGN tendría derecho a un 10 % del tiempo de observación con cada uno de los instrumentos del IRAM (radiotelescopio de 30 metros e interferómetro del Plateau de Bure). Así mismo, el IGN tendría derecho a nombrar al codirector de la Estación de Granada-Pico Veleta y podría asistir, como observador, a las reuniones del Comité Ejecutivo de IRAM (su máximo órgano directivo).

En ese acuerdo IGN-IRAM de 1980 se establecía también que el IGN podría negociar más tarde su participación en IRAM como miembro de pleno derecho, lo que por nuestra parte era lo que se pensaba hacer una vez que la radioastronomía en el IGN hubiese alcanzado el debido grado de desarrollo. Y así fue que, en 1990, el IGN negoció su participación en el IRAM como miembro de pleno derecho, con una contribución financiera del 6 %. De este modo, su derecho a tiempo de observación con cada uno de los instrumentos pasó a ser del 16 %, y su participación en todos los órganos y comités directivos y científico-técnicos del IRAM se hizo paritaria a la de los otros dos asociados, CNRS y MPG. Hay que señalar aquí que,

en 1996, una contribución especial del IGN de un tercio de los costes de construcción de una cuarta antena para el interferómetro del Plateau de Bure, abrió la puerta al proceso que, finalmente, llevaría a ese instrumento a estar compuesto por 6 antenas y a alcanzar sus actuales capacidades técnicas, que duplican el área colectora del proyecto original y multiplican por un factor 5 su rapidez en la obtención de imágenes. Más adelante, en otro apartado, hablaré de los actuales proyectos de desarrollo de ese instrumento (proyecto NOEMA), en el contexto de la nueva era que está abriéndose a escala global en el campo de la radioastronomía milimétrica.



Figura 6: Instituto hispano-franco-alemán de Radioastronomía Milimétrica (IRAM): a) Sede central de Grenoble; c) Interferómetro de 6 antenas de 15 metros del Plateau de Bure; b) radiotelescopio de 30 metros de Pico de Veleta.

He dicho más arriba que, formalmente, la colaboración del IGN en el IRAM dio comienzo en 1980. Pero lo cierto es que, a mi través, la relación de la radioastronomía del IGN con el IRAM se remonta a bastantes años antes.

Mi estancia en el Departamento de Radioastronomía del Observatorio de París-Meudón para hacer mi tesis doctoral se prolongó durante los años 1971 a 1974, justo cuando, como ya he dicho, los proyectos francés y alemán de radiotelescopios para ondas milimétricas iban convergiendo en lo que, finalmente, acabaría siendo el IRAM. Blum era entonces el director de ese Departamento y, ya en aquellos momentos, me pidió que consiguiera mapas de la región de Sierra Nevada para tratar de localizar en ellos posibles emplazamientos para el interferómetro que estaban proyectando (el radiotelescopio de 30 metros siempre podría instalarse en ese mismo emplazamiento ya que, para ello, no necesitaba un área muy grande). Esta búsqueda de emplazamientos continuó más tarde, en 1976, durante un viaje por carretera desde el Observatorio hispano-alemán de Calar Alto (que acababa de ser inaugurado por el rey Juan Carlos) hasta Granada, que hicimos Blum y yo para realizar una inspección visual de posibles emplazamientos (ninguno de los cuales acabó siendo adecuado para la instalación del interferómetro).

En 1977, Blum, acompañado por el joven radioastrónomo francés Pierre Encrenaz[5] -con el que yo había colaborado durante la realización de mi tesis doctoral-, mantuvieron un primer contacto formal en el IGN en Madrid con vistas a nuestra colaboración con el IRAM; y algunos meses más tarde, Rodolfo Núñez de las Cuevas y yo mismo mantuvimos en París una reunión con el Secretario General del CNRS, Pierre Creysel, en la que se fijaron las condiciones de esa colaboración, y que fueron las que, finalmente, quedaron establecidas en el acuerdo IRAM-IGN firmado en 1980.

En 1982, el radioastrónomo francés Michel Guelin, que había sido mi codirector de tesis en el Observatorio de París-Meudón -y desde entonces y hasta ahora, mi maestro y amigo- había sido nombrado director de la Estación de IRAM de Granada-Pico Veleta. Michel me animó a que me fuese con él a Granada como codirector español de la Estación, lo que así hice en septiembre de 1983. Por entonces, el radiotelescopio de 30 metros y su edificio anejo para sala de control, oficinas, laboratorios y talleres y residencia del personal, estaban en construcción. Los locales en Granada capital, también estaban equipándose y poniéndose en funcionamiento. A nuestro cargo teníamos un grupo muy entusiasta de jóvenes astrónomos, ingenieros, y técnicos de Alemania, Francia y España quienes, durante los siguientes años, hicieron un trabajo muy duro y, en ocasiones, arriesgado (las subidas en invierno a Pico de Veleta resultaban, a veces, bastante peligrosas), para instalar, calibrar y poner en funcionamiento operativo el ra-

[5] Actualmente P. Encrenaz es miembro de la Academia Francesa de Ciencias.

diotelescopio de 30 metros y el resto de las instalaciones. El radiotelescopio comenzó sus operaciones regulares en el verano de 1986. En septiembre de ese mismo año, yo regresé a Yebes donde retomé mis funciones de director y envié a Granada al astrónomo Jesús Martín-Pintado, como codirector de la Estación. El 14 de septiembre de 1987, la Estación Radioastronómica IRAM-IGN de Pico de Veleta fue inaugurada por el entonces Ministro de Obras Públicas y Urbanismo[6], Javier Sáenz de Cosculluela.



Figura 7: Llegada en invierno (1985) al radiotelescopio de Pico Veleta. Derecha: Jesús Gómez González. Centro: el astrónomo Pere Planesas.

Como he mencionado en el apartado anterior, mi política de personal desde que fui nombrado responsable de la radioastronomía del IGN, había consistido en seleccionar a los físicos e ingenieros de telecomunicación más brillantes de sus promociones y, tras un periodo de formación inicial y prueba en Yebes, enviarlos con una beca a realizar su tesis doctoral en los mejores centros de radioastronomía de Francia, Alemania y EEUU. La verdad es que este proceso funcionó muy bien en todos sus aspectos, y que, como hemos dicho, a finales de los años 80, el grupo de radioastronomía del IGN contaba con una plantilla todavía pequeña (8 titulados superiores), pero muy selecta y con una excelente formación tanto científica como técnica en el campo de las ondas milimétricas. En mi opinión, era el momento de participar en el IRAM como miembros del pleno derecho, y así se lo propuse al entonces Director General del IGN, Ángel Arévalo Barroso. La idea fue muy bien acogida y, en 1990, el IGN se convirtió en

[6] Ya entonces, el IGN estaba adscrito a ese ministerio, actualmente Ministerio de Fomento.

el tercer asociado del IRAM, en unas condiciones que se han demostrado inmejorables.



Figura 8: En las dependencias del Plateau de Bure (invierno de 1988). De derecha a izquierda: Ángel Arévalo Barroso (Director General del IGN); Javier Saenz de Cosculluela (Ministro de Obras Públicas y Urbanismo); Jesús Gómez González (Director del Observatorio Astronómico Nacional); Michael Grewing (Director del IRAM).

Con nuestro ingreso en el IRAM, y con el inicio del funcionamiento operativo del radiotelescopio de 30 metros y, más tarde, del interferómetro del Plateau de Bure (hacia 1988), comenzó para la radioastronomía española en ondas milimétricas y, muy especialmente, para la del IGN, una nueva etapa de desarrollo que nos ha llevado a ocupar, en la actualidad, un puesto de vanguardia a nivel mundial. Esto es así, y de ello dan fe los logros que se han alcanzado, y los proyectos mundiales más avanzados (tanto basados en Tierra, como espaciales) en los que participan nuestros astrónomos y nuestros ingenieros y técnicos. En septiembre del pasado año 2009, se conmemoró en la sede central del IRAM, en Grenoble, el 30 aniversario de su fundación. Me correspondió decir unas palabras en nombre del socio IGN; y al final de mi intervención (si bien en inglés) dije lo siguiente:

"Personalmente, he tenido el privilegio de asistir a casi todas las reuniones del Comité Ejecutivo del IRAM; primero como observador, con voz pero sin voto, y luego, a partir de 1990, como miembro de pleno derecho. A lo largo de tanto tiempo, y desde ese puesto privilegiado, he podido contemplar el magnífico desarrollo del IRAM que ha convertido a ese instituto nuestro -porque siempre lo hemos sentido y lo sentimos como

nuestro- en el instituto de referencia de la radioastronomía milimétrica mundial, tanto por sus aportaciones científicas, como por sus desarrollos tecnológicos e instrumentales, de los que se nos dará buena muestra en los días que siguen.
En el seno del Comité Ejecutivo, he sido testigo y partícipe de momentos de debate y desacuerdo, pero creo que transcurridos 30 años -más exactamente, los primeros 30 años- debo decir que la colaboración CNRS/MPG/IGN puede considerarse, simplemente, como ejemplar. Así lo demuestran los hechos acaecidos y los logros alcanzados. Y así lo he sentido siempre, y así lo he proclamado siempre dentro y fuera de mi país".

Todos los presentes en el acto estuvieron de acuerdo con mis palabras.

El desarrollo de la VLBI: la entrada en la EVN y la fundación del JIVE

Más arriba, en el apartado dedicado al CAY y al RT14m, he contado, de forma muy breve, los primeros pasos y decisiones que condujeron al inicio de las actividades de VLBI astronómica y geodésica en nuestro Observatorio. Referiré ahora, también muy brevemente, la forma en que ese campo de actividad se fue consolidando y desarrollando hasta convertirse en la que actualmente es la línea de actuación más importante del IGN en materia de astronomía y de geodesia.

Tan pronto como en 1968, apenas un año después del primer experimento de VLBI realizado entre USA y Canadá, ya se realizaron experimentos de VLBI entre radiotelescopios europeos (Onsala (Suecia), Jodrell Bank (UK), Simeiz (Rusia),...) y radiotelescopios situados al otro lado del Atlántico (Green Bank (EEUU), Algonquin (Canadá), Haystack (EEUU),...). Según mi conocimiento, el primer experimento de VLBI entre radiotelescopios europeos (Jodrell Bank, Onsala, Dwingeloo (Holanda) y Effelsberg (Alemania)), y procesado en un correlador europeo (el correlador de datos Mark III del Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn), se realizó a comienzos de 1978. Y fue en 1980 cuando, a fin de realizar este tipo de observaciones, los cinco institutos de radioastronomía más importantes de Europa (Observatorio de Jodrell Bank, Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn, Fundación para la Radioastronomía de Holanda (ASTRON), Observatorio Espacial de Onsala e Instituto de Radioastronomía de Bolonia), junto con el Departamento de Geodesia de la Universidad de Bonn, fundaron la Red Europea de VLBI (conocida por sus siglas en inglés como EVN, European VLBI Network).

A finales de los años 80, el director del Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn que, entre otras cosas, se encargaba de las observaciones de VLBI, era Richard Wielebinski. Conocía a Richard porque ambos habíamos trabajado y teníamos interés en las observaciones y estudios de

los púlsares[7] (tema sobre el que yo había realizado mi tesis doctoral) y fue él quien, conociendo que estaba tratando de iniciar la VLBI en Yebes, me invitó a participar en la reunión del Consejo de Directores de la EVN que, en 1990, se celebraba en Jodrell Bank, cerca de Manchester. Desde entonces continué asistiendo a las reuniones de ese Consejo, primero como invitado, más tarde como director de una institución asociada de la EVN y, por último, desde 1993, como director de una de las instituciones de la EVN.

Durante aquellos primeros años, nuestra participación en la EVN se realizaba a través de observaciones puntuales con el RT14m. Pero, en 1992, el entonces director general del IGN, Ángel Arévalo, me animó a iniciar el proceso de construcción de un nuevo radiotelescopio que sustituyese al RT14m (que ya había dejado de ser competitivo); nuevo radiotelescopio con el que se desarrollaran las técnicas de la VLBI en todos los campos de interés para nuestro instituto (astronomía, geodesia y geofísica). Ese nuevo radiotelescopio es el actual Radiotelescopio de 40 metros de Yebes (RT40m) del que hablaré mas adelante.

En razón del proyecto de RT40m, nuestra participación en la EVN siempre fue importante, aunque nuestra contribución a las observaciones todavía no lo fuera; pero participábamos en todos los comités de la EVN (de directores, científico-técnico, de programas) y, en definitiva, estábamos realizando la construcción de un radiotelescopio que habría de ser (y así ha sido) uno de los más importantes de la Red (a altas frecuencias, el más importante). Es decir, estábamos trabajando en el desarrollo instrumental de la EVN, a un nivel muy significativo y, con nuestra participación en los distintos comités y grupos de trabajo, estábamos contribuyendo a su funcionamiento operativo.

Durante aquellos años las directrices que marcaron mis decisiones para la creación de un grupo de radioastrónomos (científicos y técnicos) dedicados a la VLBI, fueron las mismas que había seguido en la formación del grupo dedicado a la radioastronomía milimétrica, si bien, en el caso de la VLBI, el punto de partida era mejor en cuanto a personal y experiencia. El hecho es que encontré becas y modos para enviar a formarse durante largos periodos (1 a 4 años) en las técnicas y en los campos de estudio donde se utiliza la VLBI, en los mejores centros del mundo, a astrónomos del IGN (Pablo de Vicente, al Instituto Max-Planck de Radioastronomía, Bonn; Javier Alcolea, al Center for Astrophysics de Harvard, USA; Pere Planesas, al California Institute of Technology, USA); a becarios previamente seleccionados y formados en Yebes (Francisco Colomer, al Observatorio de Onsala y al Center for Astrophysics de Harvard; Rebeca Soria, al JIVE, Holanda), al tiempo que captaba para el IGN a radioastrónomos ya formados en estas técnicas y campos de aplicación (Jean-François

[7]Estrellas de neutrones en rotación que emiten por impulsos de periodo muy estable.

Desmurs, procedente del Observatorio de Burdeos, Francia; María José Rioja, procedente del Instituto de Radioastronomía de Bolonia, Italia).



Figura 9: Instituto Conjunto para el VLBI en Europa (JIVE). a) sede central del Observatorio de Dwingeloo (Holanda); b) correlador para 16 estaciones.

Pero ha habido una actuación de fundamental importancia en el desarrollo y consolidación de la VLBI europea, en la que la participación del IGN ha sido crucial: la creación y subsiguiente consolidación operativa del

Instituto Conjunto para la VLBI en Europa (conocido por sus siglas en inglés como JIVE, Joint Institute for VLBI in Europe), asunto al que voy a referirme a continuación.

A finales de los años 80 y comienzos de los 90, ya se había hecho patente la necesidad de incrementar muy notablemente las capacidades técnicas del correlador de datos del Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn, que era el que la EVN y el Instituto de Geodesia de la Universidad de Bonn habían venido utilizando desde el comienzo de sus actividades. Por aquellos años, Alemania se encontraba realizando un gran esfuerzo económico con motivo de su reunificación, por lo que las inversiones en el desarrollo de sus instalaciones científicas se habían visto afectadas. La EVN tomó entonces la iniciativa de crear un nuevo centro que tuviese como principal misión, la instalación, puesta en marcha y funcionamiento operativo de un nuevo correlador de datos VLBI, con capacidades técnicas que permitiesen esa función para los telescopios existentes en aquellos momentos, y previendo la incorporación de aquellos otros que se irían incorporando a corto y medio plazo. Se fijó así que el nuevo correlador tuviese capacidad técnica y operativa para la correlación simultánea de los datos de hasta 16 radiotelescopios. Ese nuevo correlador contaría para su funcionamiento con personal y medios financiados por la EVN, constituyéndose en una nueva institución a la que, como se ha dicho, se denominó Instituto Conjunto para la VLBI en Europa (JIVE). Además de su misión principal como centro para la correlación de datos, el JIVE tendría a su cargo, entre otras, funciones como promocionar y desarrollar la VLBI en Europa, prestar apoyo a los utilizadores de la EVN en los trabajos de realización de las observaciones, correlación de los datos, calibración, análisis de imágenes,.... En cuanto a su ubicación, la Organización Holandesa para la Investigación, NWO, ofreció grandes facilidades de infraestructura y de financiación, que fueron determinantes para que el JIVE se instalara en dependencias a construir en el Observatorio de Dwingeloo.

Orgánicamente, el JIVE es una institución dependiente de la EVN, cuyo Consejo de Directores es el que debe marcar y aprobar las directrices de su funcionamiento. Pero la EVN es un simple consorcio establecido por los observatorios radioastronómicos que la componen para, de forma voluntaria y basada en la buena voluntad de sus participantes, ofrecer a la comunidad científica europea -y de otros países- la posibilidad de realizar observaciones de VLBI; la EVN no tiene, por tanto, entidad jurídica propia para constituir y gestionar un instituto como el JIVE que ha de manejar importantes presupuestos y contratar personal. La solución administrativa que se encontró dentro de la legislación de Holanda, fue la de que el JIVE fuese una Fundación privada sin ánimo de lucro para el fomento de la ciencia creada a nivel particular por las siete personas que, en 1993, año de su creación, éramos los miembros del Consejo de Directores de la

EVN: Harvey Butcher (ASTRON, Holanda), Richard Wielewinsky (Instituto Max-Planck de Radioastronomía de Bonn, Alemania), Rod Davies (Jodrell Bank Observatory, UK), Roy Booth (Onsala Space Observatory, Suecia), Lucía Padrielli (Instituto de Radioastronomía de Bolonia, Italia), Alain Baudry (Observatorio de Burdeos, Francia), y yo mismo (Instituto Geográfico Nacional, España). En el documento de constitución (registro) de la Fundación, cada uno de nosotros figuramos a título personal, con nuestro documento de identidad y domicilio particular. En el momento presente, soy el único de los siete "fundadores" que continúa en activo.

En noviembre de 1998, se inauguró oficialmente el correlador con capacidad para 16 radiotelescopios del JIVE, con el que se procesan los datos de VLBI de la EVN. Desde entonces, las actividades del JIVE no han hecho más que incrementarse, habiéndose incorporado al mismo China, y estando prevista la pronta incorporación de Polonia.

Financiándose en parte con fondos de la UE, en 2002, dio comienzo el proceso de conexión en tiempo real de los radiotelescopios de la EVN con el correlador del JIVE, mediante líneas de transmisión de datos de muy alta capacidad (lo que se ha venido en llamar e-VLBI, que aproxima el funcionamiento de la VLBI al de los interferómetros conectados). En 2004, se realizó la primera observación de e-VLBI entre los radiotelescopios de Onsala (Suecia), Westerbork (Holanda) y Cambridge (UK); el 3 de abril de 2009, el RT40m de Yebes se incorporaba a este selecto club y, desde entonces, participa de forma regular en este tipo de observaciones que, como he dicho en la introducción, constituyen la técnica más compleja -conceptual, instrumental y organizativamente hablando- de cuantas en la moderna astronomía se llevan a cabo desde emplazamientos en Tierra.

En la actualidad, en la EVN participan 18 observatorios radioastronómicos de 14 países, entre los que se encuentran China, África del Sur y Estados Unidos (radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico). Yebes se ha convertido en una de las estaciones de observación fundamentales de dicha red que, cuando se complete el receptor a 40-50 GHz (7 mm de longitud de onda), actualmente en construcción, cubrirá todo el rango de frecuencias de observación desde los 2 a los 120 GHz. Dominamos todos los conocimientos científicos y técnicos que intervienen en el flujo de la señal desde que es captada por la antena, hasta que es enviada, en tiempo real, al correlador; y nuestros astrónomos e ingenieros participan en todos los comités directivos, científicos y técnicos, de la EVN.

En cuanto al JIVE, se ha convertido en una institución en la que trabajan unos 25 científicos e ingenieros del más alto nivel, que dominan las técnicas de la VLBI, muy especialmente, las de la correlación y análisis de datos. Gestiona presupuestos de varios millones de euros, que obtiene por las contribuciones de las agencias financiadoras y de su participación en proyectos europeos. Por su nivel de excelencia técnica y papel jugado en proyectos espaciales de gran proyección mediática (por ejemplo,

seguimiento de la nave Huygens en su descenso a Titán), se ha convertido en el mascarón de proa de la EVN, al tiempo que en uno de sus motores.

En estos últimos veinte años, la EVN/JIVE ha experimentado un desarrollo científico-técnico y organizativo que la ha llevado a convertirse en una de las grandes instalaciones científicas internacionales más importantes del mundo y con mayor proyección de futuro. Durante todo ese tiempo, el IGN ha formado parte de ese proceso; al principio, como uno de sus furgones de cola y en la actualidad, como una de sus locomotoras.

El radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes (RT40m)

Como ya he dicho, a finales de los 80, principios de los 90, estaba claro que la vida productiva del RT14m de Yebes tocaba a su fin. Si queríamos mantener y desarrollar una radioastronomía experimental en España, es decir, aquella que construye, pone en funcionamiento y utiliza instrumentos y equipos de observación en esa técnica, había llegado el momento de iniciar la construcción de un nuevo radiotelescopio para el que y con el que se llevasen a cabo todas esas actividades técnicas y observacionales. Con los condicionantes que siguen, esa era mi opinión y, como entonces director del Observatorio Astronómico Nacional y responsable de la radioastronomía, esa fue la decisión que propuse a la dirección del IGN.

Esos condicionantes eran:

1. Que el radiotelescopio a construir debería ser útil científicamente a nivel institucional (IGN), nacional e internacional.
2. Que su construcción debería contribuir al desarrollo técnico e industrial de nuestro país.
3. Que su instalación, puesta en marcha y equipamiento de receptores (front-ends y back-ends) debería representar la consolidación del grupo de instrumentalistas del Observatorio, o lo que es lo mismo, de la radioastronomía experimental en España.

Las respuestas a esos condicionantes eran:

1. Que un radiotelescopio de unos 40 metros de diámetro con capacidad de integrarse como uno de sus elementos más importantes en una gran instalación científica internacional como la EVN y de ser utilizado como antena única a frecuencias complementarias de las que se cubrían con los radiotelescopios del IRAM, garantizaba su rendimiento científico a nivel institucional, nacional e internacional.
2. Que ya en aquellos años, en España existían empresas capaces de diseñar y construir gran parte de un radiotelescopio de esas características.
3. Que por entonces, con la instalación, puesta en marcha y utilización del RT14m, el grupo de instrumentalistas del Observatorio había alcanzado el desarrollo en número de ingenieros y técnicos, y había acumulado

una gran experiencia en todo tipo de trabajos a realizar con vistas a esos objetivos.



Figura 10: Radiotelescopio de 40 metros de Yebes: a) vista exterior; b) sala de control; c) sala de receptores.

Para ratificar estas ideas, en 1992, organicé, con ayuda del astrónomo José Cernicharo, un workshop internacional que fijó las características técnicas que debería tener el nuevo radiotelescopio: diámetro mayor o igual que 40 metros; capaz de trabajar a frecuencias de hasta 100 GHz; concebido y equipado para ser utilizado en observaciones de VLBI y de antena única.

Fijadas estas capacidades y características técnicas y de utilización, en 1994, se encargó a la empresa Inisel Espacio (actualmente INDRA) un estudio de viabilidad de construcción de tal radiotelescopio en nuestro país. Su conclusión fue ratificar esa viabilidad. A partir de ese momento, puse manos a la obra para la construcción del nuevo radiotelescopio. Y digo puse, porque a finales de ese año 1994, José Cernicharo obtuvo una plaza de profesor de investigación en el CSIC y dejó su puesto de astrónomo en el IGN.

Principales características del RT40m

Diámetro	40 m
Diámetro del subreflector	3,28 m
Montura	Altacimutal
Foco	Nasmyth
F/D	7,9
Rango de frecuencias de uso	2 a 115 GHz
Receptores	S/X (2,3 y 8,4 GHz)
	C (3,3, 5 y 6 GHz)
	K (22 GHz)
	Q (45 GHz)
	W (85 a 115 GHz)

Como ya he mencionado anteriormente, durante los años 1983 a 1986 yo había ocupado el puesto de codirector de la Estación IRAM de Granada-Pico Veleta. Durante ese tiempo, mi principal ocupación técnica se había centrado en la instalación y puesta en marcha del radiotelescopio de 30 metros. Así que había llegado a conocerlo muy bien y, desde luego, estaba muy claro que se trataba de un radiotelescopio de una extraordinaria calidad de construcción, con unas capacidades de observación que habían sobrepasado ampliamente las fijadas en su diseño. Ello me llevó a pensar que, para la construcción del nuevo radiotelescopio de 40 metros (en adelante, RT40m), una forma de abaratar costos garantizando al tiempo una buena calidad de construcción y logro de capacidades de observación, era que su diseño se basase en el de 30 metros de Pico Veleta, relajando las características técnicas de éste ya que el RT40m sería empleado a frecuencias mucho más bajas y en condiciones ambientales mucho menos duras. Para investigar esta posibilidad me puse en contacto con las dos empresas que habían participado en el diseño y construcción del RT30m: las empresas alemanas Krupp (actualmente Vertex Antennentechnik) y MAN (actualmente MT-Mechatronics). La idea propuesta les pareció adecuada y puede decirse que, con ello, el proyecto de construcción del RT40m de Yebes se puso en marcha; proyecto al que, como tal, puse el nombre de ARIES (Antena RadioInterferométrica ESpañola).

A fin de minimizar los costos y lograr la máxima participación de empresas españolas, la forma de realizar el proyecto ARIES fue que una em-

presa con la experiencia técnica demostrada en la construcción de radiotelescopios de gran área colectora y muy alta precisión hiciese el diseño de ingeniería de la antena y se ocupase de la dirección de la construcción de las distintas partes mecánicas, ópticas, de servocontrol, equipamiento accesorio, etc., que la componen y de su montaje e instalación y puesta en funcionamiento. El IGN haría los contratos particulares para la construcción o suministro de cada una de esas partes y, cuando la antena estuviese en funcionamiento, instalaría los receptores que habría construido (front-ends y back-ends), instalaría programas de control que habría elaborado y realizaría los trabajos de calibración y puesta a punto del radiotelescopio, para así dar comienzo a las observaciones. Esta forma de realizar el proyecto ARIES aseguraba en la mayor medida posible la reducción de los costos y la participación de las empresas españolas, pero el esfuerzo a realizar era enorme. Tenía, no obstante, otra ventaja: los presupuestos necesarios para la construcción podrían utilizarse a lo largo de un mayor plazo y con mayor flexibilidad, así como aprovechar los presupuestos del IGN que al final de cada ejercicio quedaban libres por rebajas en las licitaciones, anulación de expedientes, etc. (en gran medida, el RT40m se financió de esa manera).



Figura 11: Visita a las obras del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes (1998). De izquierda a derecha: José Antonio Canas (Director General del IGN); Rafael Arias Salgado (Ministro de Fomento); Jesús Gómez González (Director del Observatorio Astronómico Nacional).

Dando comienzo a esa línea de actuación, en 1998 se sacó a concurso público el diseño de ingeniería del RT40m que fue adjudicado a la empresa

MAN. En razón de ese diseño, y como acabo de señalar mas arriba, se fueron sacando a concurso público los expedientes de las distintas partes de la antena: Algunas de estas partes fueron: el pedestal de hormigón y obra (adjudicada a la empresa ACS, Madrid); la estructura trasera y demás partes mecánicas (a Schwartz-Hautmont, Tarragona); los rodamientos (a Rothe-Erde ibérica, de Zaragoza); las cajas reductoras (a Renk, de Alemania); los paneles reflectores (a COSPAL, de Italia); las instalaciones generales (a Elimco, de Sevilla); etc.



Figura 12: Sus Altezas Reales los Príncipes de Asturias descubren la placa conmemorativa de la inauguración del Radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes (26 de abril de 2005).

En 1998, dio comienzo la construcción del pedestal de la antena, siendo colocada la "primera piedra" por el entonces Ministro de Fomento D. Rafael Arias Salgado. Durante los años siguientes, la construcción de los distintos componentes y su montaje e instalación fueron progresando del modo previsto y el 26 de abril de 2005, festividad de San Isidoro de Sevilla, patrón del IGN, Sus Altezas Reales los Príncipes de Asturias inauguraron la nueva antena.

Debo decir aquí, que ya desde el momento en que se adjudicó a MAN el proyecto de ingeniería, mi viejo amigo y compañero de fatigas, Alberto Barcia, se puso a trabajar conmigo en el proyecto ARIES. Poco después fue el astrónomo instrumentalista (ingeniero de telecomunicaciones) José Antonio López Fernández quién se unió al proyecto. Muchos fueron los

viajes que juntos hicimos a Alemania, Tarragona, Italia,... para discutir aspectos técnicos y planificar trabajos. Desde esos primeros momentos pusimos a trabajar en los servos y equipamiento de infraestructuras (SAI, grupo electrógeno,...) al joven astrónomo instrumentalista (ingeniero industrial) Carlos Albo. Y así, poco a poco, y encargados de distintas funciones o tareas, se fueron incorporando al proyecto astrónomos, ingenieros, técnicos, ayudantes, hasta llegar al momento actual en el que la práctica totalidad del personal científico-técnico de Yebes ha contribuido, y contribuye en muy gran medida, a que el RT40m haya comenzado su andadura de utilización en las observaciones más punteras de VLBI y de antena única.



Figura 13: Barrido en ascensión recta de la Luna a 22 GHz (primera luz) realizado con el radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes, el día 21 de junio de 2007.

El 21 de junio de 2007 se hizo la primera prueba de funcionamiento del RT40m (lo que, tradicionalmente, los astrónomos llamamos la "primera luz") por observación de un objeto astronómico: como en 1979, la Luna (figura 13). En 2008, el RT40m participó por primera vez en una sesión de VLBI y, como ya he mencionado, el 3 de abril de 2009 -30 años después de nuestra primera observación de la luna con el RT14m- se realizaba con éxito la primera observación de e-VLBI.

Desde esas primeras sesiones de VLBI hasta el momento presente (octubre de 2010), el RT40m ha participado de forma regular en un total de 52 sesiones de la EVN/IVS (7 -de 2-3 semanas de duración- astronómicas y 45 -de 1 día de duración- geodésicas), siendo considerado, a nivel de la EVN, como el mejor de sus telescopios a frecuencias por encima de los 22 GHz. Las primeras pruebas de observaciones espectrales como antena única se realizaron también durante la "primera luz". Sin embargo hemos esperado hasta este mismo año 2010, para contar con un nuevo sistema espectral (autocorrelador FFT) de gran resolución y banda pasante

adecuada para dar comienzo al uso regular del RT40m en observaciones de este tipo como antena única.

El día de San Isidoro (26 de abril) de este año 2010, el proyecto ARIES recibía el premio al mejor proyecto del Plan Estratégico del IGN.

Proyectos en curso y desarrollos futuros de la radioastronomía en el IGN

Durante estos últimos 30 años, el IGN ha llevado a cabo la labor pionera en nuestro país de implantación y desarrollo de una nueva técnica observacional, la radioastronomía, y la ha aplicado a sus campos de interés en astronomía y en geodesia. Nuestros ingenieros dominan esta técnica "de arriba abajo" (lo que en este caso podría querer decir, dominar todos los procesos que intervienen desde que la señal electromagnética se propaga por nuestra atmósfera en dirección de la antena, hasta que es digitalizada por los "back-ends" de los receptores para su registro en el soporte que sea, o para su envío en tiempo real a los centros de correlación -caso de la e-VLBI-). Nuestros astrónomos han alcanzado -a una edad muy temprana- un gran reconocimiento/prestigio internacional y son regularmente invitados a impartir conferencias en congresos internacionales, publicar artículos de puesta al día (review papers), participar y, frecuentemente, presidir instituciones científicas europeas y mundiales, comités de programas, comités asesores científico-técnicos, etc. Sinceramente, creo que constituimos un equipo científico-técnico con una capacidad de actuación envidiable: nuestros ingenieros diseñan y construyen componentes que forman parte de los equipos receptores de telescopios espaciales (por ejemplo, el telescopio espacial FIRST/Herschel), con los que se obtienen datos observacionales de extraordinaria calidad e interés científico que son analizados e interpretados por grupos de expertos internacionales con participación y, en muchos casos, liderazgo de los astrónomos del IGN.

En razón de estas capacidades, en la actualidad nuestros ingenieros y astrónomos participan en una serie de grandes proyectos internacionales (algunos de ellos, mundiales) como los que, muy brevemente, voy a mencionar a continuación.

El proyecto ALMA (Gran Interferómetro Milimétrico de Atacama)

Se trata del proyecto de construcción, instalación y puesta en funcionamiento operativo de un interferómetro para ondas milimétricas y submilimétricas (hasta 0,3 mm de longitud de onda), compuesto por 54 antenas de 12 metros de diámetro y 12 antenas de 7 metros de diámetro (estas últimas aportadas por Japón), emplazado (para poder observar a longitudes de onda tan cortas) a 5 000 metros de altitud, en el desierto de Atacama

(el más seco del mundo), en Chile. Cuando este interferómetro entre en funcionamiento (lo que, con un número reducido de antenas -unas 10- está previsto que ocurra en 2012), será durante décadas, el mejor instrumento del mundo a esas frecuencias, y su campo de aplicación abarcará desde los estudios cosmológicos, hasta los de nuestro propio sistema planetario.



Figura 14: Gran Interferómetro Milimétrico de Atacama (ALMA): a) Impresión artística; b) primeras antenas en Atacama; c) edificio de control y del correlador.

El proyecto ALMA (siglas en inglés de Atacama Large Millimeter Array), es un proyecto financiado por la Unión Europea (a través del Observatorio Europeo del Sur, ESO), los Estados Unidos (a través de su Observatorio Nacional de Radioastronomía, NRAO), Canadá y Japón, siendo su coste total de construcción de unos 1 300 millones de dólares.

El IGN fue, por su experiencia en radioastronomía milimétrica (instrumentación y actividades científicas), la institución española que, en el año

2000 -cuando el proyecto ALMA estaba comenzando su fase de diseño y organización- tomó la iniciativa de participar activamente en él. Esto hizo que, enseguida, el grupo de radioastrónomos del CSIC, liderado por José Cernicharo (astrónomo al que, como becario del IGN, dirigí su tesina de licenciatura en Yebes, y que, ya como astrónomo de nuestro instituto, fue mi colaborador en los inicios del proyecto ARIES), promovió la participación del Ministerio de Ciencia y Tecnología en el proyecto ALMA. Fue así que en 2003, el Ministerio de Fomento y el Ministerio de Ciencia y Tecnología firmaron un acuerdo de colaboración para la participación española en el proyecto ALMA, en el que se hacía una encomienda de gestión al IGN para ocuparse de coordinar dicha participación. Este acuerdo funcionó hasta el año 2006 en el que España se adhirió a la ESO, con lo que los gastos de la contribución española a ALMA quedaron englobados en la cuota de participación en ese organismo.

En cuanto al desarrollo instrumental del proyecto ALMA, durante estos diez años transcurridos desde 2000, los ingenieros de Yebes han diseñado y construido los amplificadores de frecuencia intermedia (FI), de banda ancha y muy bajo ruido (refrigerados a temperaturas criogénicas de unos 15 K), para los receptores de las frecuencias de observación 7 (275-373 GHz) y 9 (602-720 GHz); en total más de 452 amplificadores, por lo que, para su fabricación masiva, se ha transferido nuestra tecnología a empresas españolas.

Por otra parte, los astrónomos e ingenieros del IGN continuamos participando en todas las comisiones y grupos de trabajo científico-técnico de ALMA, a nivel nacional, a nivel del ESO y a nivel del proyecto ALMA. En este sentido, cabe señalar que el IRAM (que como se ha dicho, es, en parte, una institución del IGN) se ha convertido en uno de los Centros Regionales de ALMA (ARC) en los que se ha estructurado ese proyecto; centros que tienen como misiones el desarrollo de instrumentación, el procesado de datos, y la formación científica-técnica de los futuros utilizadores del interferómetro, entre otras actividades.

El proyecto NOEMA (Interferómetro Milimétrico Ampliado del Norte) del IRAM

La ubicación de ALMA en el hemisferio Sur se debe, principalmente, a la excelencia de su emplazamiento para las observaciones a longitudes de onda submilimétricas (Atacama) y a la mayor concentración de objetos de interés astronómico en ese hemisferio Sur celeste (centro galáctico, Nubes de Magallanes,...). Pero en el hemisferio Norte también resulta necesaria la posibilidad de hacer observaciones interferométricas a muy altas frecuencias (objetos astronómicos de gran interés, objetos observados por todas las técnicas durante siglos, nuevos objetos o fenómenos astrofísicos que pudieran aparecer,...).

Por esta razón, el IRAM ha elaborado el proyecto de ampliación del interferómetro del Plateau de Bure, en cuanto a número de antenas (de 6 a 12) y en cuanto a la extensión de la longitud de sus líneas de base (línea Este-Oeste, de 800 a 1600 metros). Con ello se duplicaría su área colectora (sensibilidad) que llegaría a ser casi un 40 % de la de ALMA, su rapidez de observación (de 15 líneas de base instantáneas pasaría a 66) y su resolución angular. El interferómetro del Plateau de Bure se convertirá así en el interferómetro milimétrico del hemisferio Norte. El IGN, como uno de los socios del IRAM, participa activamente en el desarrollo de este proyecto que, en una primera fase, se limitará a la ampliación en 4 antenas. Está previsto que el proyecto NOEMA dé comienzo en 2011.



Figura 15: Impresión artística del proyecto NOEMA (Interferómetro Milimétrico Ampliado del Norte) del IRAM.

El proyecto SKA (Interferómetro de Kilómetro Cuadrado)

Este es un proyecto mundial en el que participan países de Europa, de América, de Asia, de África y de Oceanía, en los se que llevan a cabo actividades en radioastronomía. Se trata de construir un interferómetro con un área colectora total de 1 km^2 para trabajar a longitudes de onda centimétricas (hasta $\sim$ 30 GHz). Aunque todavía no está definida (el proyecto se encuentra en su fase de estudios de viabilidad y de definición técnica), esa área colectora estará compuesta por "módulos" -que, probablemente, emplearán distintas tecnologías (antenas parabólicas, antenas planares,...)- distribuidas en torno a un módulo central principal, en una extensión de unos $2\,000x2\,000$ Km (figura 16 a). Varios países del mundo han postulado por la instalación del SKA en su territorio, principalmente, algunos de los situados en el hemisferio Sur, por las razones comentadas en el proyecto ALMA, y por el mismo hecho de que ALMA -que será el radiotelescopio más importante del mundo para ondas milimétricas y submilimétricas

durante décadas- está instalándose en ese hemisferio (el SKA complementaría la posibilidad de observar ese mismo cielo Sur a frecuencias centimétricas). Descartados por razones técnicas los emplazamientos de Brasil y Argentina, parece que el futuro emplazamiento del SKA estará situado en África del Sur o en Australia.

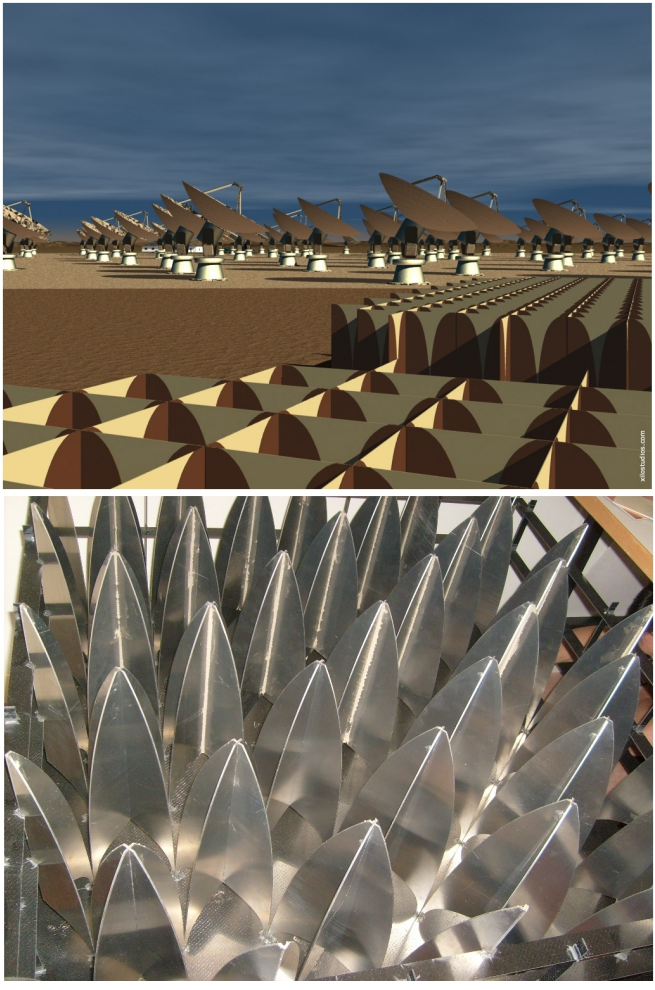


Figura 16: Interferómetro de Kilómetro Cuadrado (SKA): a) Impresión artística; b) prototipo de módulo de antena planar desarrollado en el Observatorio de Yebes.

Para la gestión organizativa y de definición y desarrollo técnico del SKA se han constituido, a nivel global y regional, oficinas y comités que llevan a cabo esas labores. Los desarrollos técnicos se realizan en institutos de radioastronomía de los distintos países, y en ese tipo de trabajos, el IGN, con financiación de proyectos por la UE, ha colaborado en el proyecto SKA desde sus etapas más tempranas y continuará haciéndolo en el futuro. Por ejemplo, uno de esos proyectos ha sido el diseño y construcción de un módulo de antena planar (figura 16 b), como los que podrían constituir una parte del área colectora del SKA.

Los proyectos espaciales FIRST/Herschel (Telescopio Espacial para Infrarrojo Lejano) y VSOP2 (Programa de Observatorio Espacial de VLBI)

Durante los últimos años, los ingenieros y astrónomos del IGN vienen participando en proyectos espaciales, colaborando en el desarrollo de los instrumentos de observación embarcados y en el análisis e interpretación de los datos obtenidos.

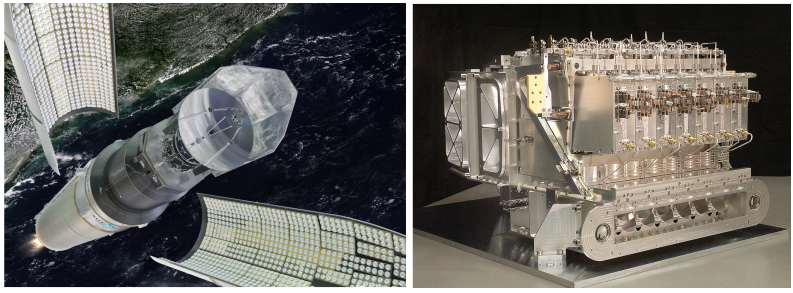


Figura 17: Telescopio Espacial para Infrarrojo Lejano (FIRST/Herschel): a) Impresión artística; b) módulo HIFI (Heterodyne Instrument For the Infrarred) que lleva instalados amplificadores de frecuencia intermedia desarrollados en el Observatorio de Yebes.

Como he dicho más arriba, nuestros ingenieros diseñaron los amplificadores de frecuencia intermedia del receptor HIFI (Heterodyne Instrument For the Infrarred) del telescopio espacial para observaciones en el infrarrojo lejano, que ha sido llamado FIRST/Herschel, y que fue lanzado, con éxito, al espacio el pasado 14 de mayo de 2009. Los datos obtenidos están siendo analizados e interpretados por grupos de expertos internacionales, en los que participan (en muchos casos, liderándolos) radioastrónomos del IGN.

En el momento presente, el IGN, a través de su Observatorio de Yebes, participa, de forma muy destacada, en la preparación técnica del

sector de Tierra del proyecto japonés de VLBI espacial, VSOP2. Este proyecto (segundo del mismo tipo que realiza Japón) tiene como objetivo situar una antena de 9,2 metros, en una órbita de 25 000 km de apogeo, capaz de trabajar a frecuencias de hasta 45 GHz (7 mm de longitud de onda), para realizar observaciones de VLBI formando red con antenas de gran área colectora (que compensen la poca área de la antena espacial) situadas en Tierra. Una de esas antenas será el RT40m de Yebes, una de las más grandes del mundo y de mayor calidad para observar a esas frecuencias. Por otra parte, el RT14m será utilizado como una de las estaciones de seguimiento (transmisión de comandos y recepción de los datos observacionales) del vehículo espacial. Para ello está en estudio, junto con la Agencia Espacial Japonesa JAXA y con apoyo financiero del Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) de España, la adecuación del RT14m para ese uso, mediante la mejora de su estructura mecánica y sistema de control (debe moverse a mayor velocidad), y por la instalación de los equipos de transmisión y recepción de comandos y señales (a frecuencias de $\sim$ 30 GHz) hacia y desde el vehículo espacial; estos equipos serán provistos por la JAXA.



Figura 18: Impresión artística del Programa de Observatorio Espacial de VLBI (VSOP2).

El lanzamiento del VSOP2 está previsto para el año 2017.

El proyecto RAEGE (Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales)

El proyecto RAEGE es un proyecto del IGN y del Gobierno Regional de Azores (GRA) que tiene como objetivo el establecimiento de una Red hispano-portuguesa de Estaciones Geodinámicas y Espaciales, mediante la instalación y operación de 4 estaciones geodésicas fundamentales (EGF) equipadas con radiotelescopios que cumplen las especificaciones del proyecto elaborado por el Servicio Internacional de VLBI Geodésico y Astrométrico (IVS) denominado VLBI2010, a fin de alcanzar precisiones del orden de 1 milímetro en la determinación de distancias intercontinentales (de miles de kilómetros). Estas 4 EGF se instalarán: 1 en Yebes; 1 en Canarias (Gran Canaria o Lanzarote) y 2 en las Islas Azores (1 en Santa María y 1 en Flores) (figura 19 a).

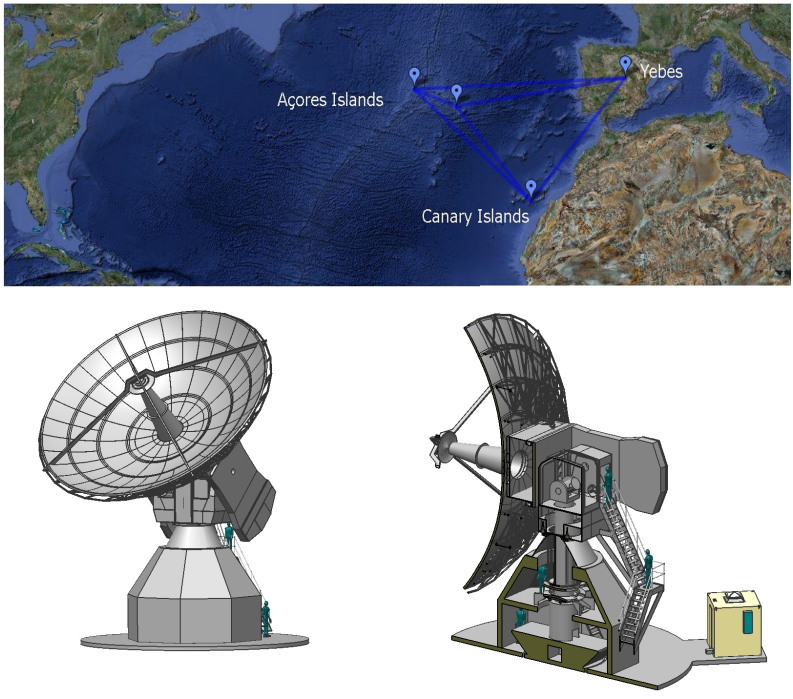


Figura 19: Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales (RAEGE). a) Emplazamiento geográfico de las estaciones. b) Diseño básico de radiotelescopio del tipo VLBI2010 para VLBI geodésico, que se instalará en cada una de las estaciones.

El equipamiento inicial de cada una de estas estaciones será: un radiotelescopio para VLBI geodésico del tipo fijado por el IVS en el proyecto VLBI2010 (figura 19 b); un gravímetro (superconductor o gphone); una estación GNSS permanente; y, para la estación de Yebes, una estación SLR (Satellite Laser-Ranging, medida por laser de distancias a satélites).

La distribución espacial de las estaciones a construir (Yebes, Canarias, Azores) ha sido considerada por los mejores expertos internacionales (IVS) como muy valiosa para los estudios geodésicos y geodinámicos a realizar, tanto por su distribución y localización geográfica como tectónica (placas Europea, Africana y de Norte América).

Desde el punto de vista técnico, RAEGE incorpora la instrumentación más moderna para los radiotelescopios a utilizar. La construcción de las antenas, de 13,2 metros de diámetro, capaces de trabajar a frecuencias de hasta 90 GHz y de moverse a velocidades de hasta $12^\circ/seg$, en acimut y de $6^\circ/seg$ en elevación, han sido adjudicadas a la empresa alemana MT Mechatronics, la misma (entonces como MAN) que diseñó y dirigió la construcción de la antena del RT40m, y que es una de las más prestigiosas del mundo. En cuanto a los receptores (desde la antena focal a los backends) serán diseñados, construidos, instalados y puestos en funcionamiento por los ingenieros y astrónomos del Observatorio de Yebes. También estarán a cargo de Yebes la elaboración de los programas de control y la instalación y puesta a punto de los demás equipos de cada estación.

Organizativamente, RAEGE tendrá una sede principal en Yebes, que se ocupará de aspectos científico-técnicos relativos al conjunto de la Red, y una sede en Punta Delgada, capital del Azores, desde donde, inicialmente, se realizarán desarrollos instrumentales y labores de operación y mantenimiento de las estaciones de Santa María y Flores.

Las implicaciones y perspectivas de futuro de RAEGE, tanto a nivel de la colaboración científico-técnica en astronomía y ciencias de la Tierra con nuestros colegas de Portugal, como a nivel de la imbricación de las actividades en esos campos que se llevan a cabo en el propio IGN, son tan grandes que, RAEGE está llamado a jugar un papel determinante durante muchos años en nuestro Instituto.

Conclusión

A modo de conclusión, sólo me cabe decir que el camino recorrido desde aquella primera observación de noviembre de 1979, ha sido muy largo; pero el camino que se abre a los jóvenes radioastrónomos españoles -en particular a los del IGN- es mucho más largo, más amplio y, seguramente, tan apasionante de recorrer.

Agradezco al astrónomo Francisco Colomer Sanmartín su ayuda en la búsqueda de datos y en la elaboración de las figuras.

ÍNDICE ALFABÉTICO DE MATERIAS

Índice alfabético

Año
  duración, 130
Aberración
  ánua, 359
Achatamiento
  de la Tierra, 345
  de los planetas, 190
Acimut
  de la estrella Polar, 280–281
Albedo
  de satélites naturales, 226–229
  geométrico y de Bond, 189
Año
  duración del año juliano, 122
  duración media de distintos tipos de año, 121
Asteroides
  datos físicos, 249
  datos fotométricos, 249
  efemérides, 252–262
  elementos orbitales, 248
  magnitud, V, 250
  número de conocidos, 248
  oposición, 251
  rotación, 249

Calendario
  católico, 90–91
  domingo de Pascua, 90
  escritura numérica de fechas, 86
  explicación general, 86
  gregoriano, 89
  israelita, 94–96
  juliano, 91–92
  musulmán, 92
  perpetuo, 96–97
  reforma gregoriana, 89
Ceres
  datos fotométricos, 240
  descubrimiento, 241
  efemérides, 243
  elementos orbitales, 239
  masa, tamaño, 241
  traslación, 240
Cometas
  de corto periodo, 266–275
  de largo periodo, 265
  elementos orbitales, 265–272
  que pasan por el perihelio este año, 38, 263
Composición
  abundancia solar de elementos químicos, 133
  moléculas en el medio interestelar, 368
Constantes
  astronómicas, 363
  astronómicas para J2000, 133
  atómicas y espectroscópicas, 362
  cosmológicas, 363
  electromagnéticas, 362
  equivalencias útiles, 186, 317, 363
  factores de conversión, 363
  fundamentales, 362

prefijos del SI, 364
Constelaciones
del cielo mes a mes, 40–63
esquemas, 292–297
posición y tamaño, 289–291
Coordenadas
aparentes (aberración), 359
geográficas, *véase* Posiciones geográficas
medias (precesión), 356–358
verdaderas (nutación), 359
Corrección de las coordenadas
por aberración ánua, 359
por nutación, 359
por precesión, 356–358
por refracción atmosférica, 360–361
Crepúsculo
civil, náutico y astron., 156
visibilidad de los planetas, 20–22
Cúmulos estelares
abiertos o galácticos, 322
cerrados o globulares, 320

Día juliano, *DJ*
fórmula para este año, 15
Día
día de la semana, 89, 96–97
de la semana, 114–125
definición, 86, 100
del año, 114–125
durac. media del día sidéreo, 120
durac. media del día solar, 120
duración del día, 158
solar medio en los planetas, 189
Día juliano, *DJ*
DJ y día de la semana, 89
día a día, 114–125
día juliano modificado, 116
días julianos notables, 88, 115
descripción, 87, 116
durante una década, 88
mes a mes, 87
modificado, 89
para diversas épocas, 88
para una fecha gregoriana, 88
Distancia
en el sistema solar, 236
en la Vía Láctea, 317
ley de Hubble, 340
propia y por luminosidad, 340

Eclipses
de Luna durante el año, 76–80
de Luna futuros, 82
de Sol durante este año, 68–74
de Sol futuros, 81
durante el año próximo, 66, 67
durante este año, 17, 65
durante este siglo, 66
interpretación de las tablas, 80
Ecuación de los equinoccios
día a día, 114–125
definición, 104, 119
fórmula aproximada, 99, 104, 119
Ecuación de tiempo
día a día, 114–125
definición, 105, 123
fórmula aproximada, 106, 124
figura, 106
valores extremos y nulos, 125
Elipsoide terrestre, *véase* Tierra
Enanos, planetas
datos fotométricos, 240
descubrimiento, 241
efemérides, 243
elementos orbitales, 239

masa, tamaño, 241
satélites, 242
traslación, 240
Equinoccios
de primavera y de otoño, 16
ecuación de los equinoccios, *véase* id. id.
para este año, 17
Eris
datos fotométricos, 240
descubrimiento, 241
efemérides, 246
elementos orbitales, 239
masa, tamaño, 241
satélites, 242
traslación, 240
Escalas de tiempos, *véase* Tiempo
convenio para el ANUARIO, 15
Estaciones
duración, 16, 17
fechas extremas de inicio, 16
inicio para este año, 17
Estrellas
brillantes, 303–308
cálculo de coordenadas aparentes, 356–361
cercanas, 303
constelaciones, *véase* Constelaciones
de gran mov. propio, 303
dobles, 308–310
equivalencias en distancias, 317
magnitud y brillo, 314
nombres usuales, 298–300
ocultación por la Luna, 36–37
Pléyades, 300
Polar, *véase* Polar
variables, 311–314
variables tipo Mira, 284

Fases de la Luna, 16
Fecha
escritura normalizada, 86
juliana, 87
Fenómenos astronómicos
día a día, 39–63
resumen anual, 16–38

Galaxias
brillantes, 337
cúmulos de galaxias, 338
cuásares, 337
del Grupo Local, 332
en catálogo de Messier, 327–329
infrarrojas, 338
ley de Hubble, 340
nombres usuales, 333–335
radiogalaxias, 337
tabla de distancias, 340

Haumea
datos fotométricos, 240
descubrimiento, 241
efemérides, 245
elementos orbitales, 239
masa, tamaño, 241
satélites, 242
traslación, 240

Interpolación
directa, 364–366
inversa, 366

Júpiter
conjunción y oposición, 19
constelaciones recorridas, 19
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
efemérides, 200
efemérides orbitales, 19
efemérides para observaciones físicas, 201
posición de los satélites galileanos, 230–235
satélites, 218–229
visibilidad (en 2011), 20–22

Luna
apogeo y perigeo, 184
comparación con otros satélites, 218–229
coord. topocéntricas, 164
datos físicos, 163
distancia a la Tierra, 162, 183
eclipses, *véase* Eclipses
edad, 183
elementos medios de la órbita, 162
fases
definición, 16, 183
en este año, 17, 183
libraciones, 163
meses, 163
ocultaciones, 35–37
órbita, 162
orto y ocaso en cualquier lugar, 179–181
paralaje, 182–183
paso por el meridiano, 181
semidiámetro, 181–183
unidades lunares, 161

Magnitud
de asteroides brillantes, 249
de cúmulos estelares, 320–322
de estrellas, 298–316
de galaxias brillantes, 337
de galaxias del Grupo Local, 332
de los planetas cada 20 días, 195–207
de objetos Messier, 327–329
de planetas en oposición, 189
de satélites en oposición, 226–229
definición, 314
del Sol: absolutas, aparentes, 131
diferencia de magnitudes y razón de brillos, 314
máxima de Mercurio, Venus y Marte, 18
media de Júpiter,. . . Neptuno, 19
Makemake
datos fotométricos, 240
descubrimiento, 241
efemérides, 247
elementos orbitales, 239
masa, tamaño, 241
traslación, 240
Marte
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
efemérides, 198
efemérides orbitales, 18
efemérides para observaciones físicas, 199
fenómenos en este año, 18
satélites, 218–229
visibilidad (en 2011), 20–22
Mercurio
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
efemérides, 194
efemérides orbitales, 18
efemérides para observaciones físicas, 195
fenómenos para este año, 18
tránsito, 18
visibilidad (en 2011), 20–22
Meteoroides
lluvias de meteoros, 275–276
meteoros, 275

Nebulosas, *véase* Vía Láctea
de emisión, 325
de reflexión, 325
en catálogo de Messier, 327–329
observación, 324–326
planetarias, 326
restos de supernova, 326
tipos, 322–324

Neptuno
conjunción y oposición, 19
constelaciones recorridas, 19
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
descubrimiento, 192
efemérides, 206
efemérides orbitales, 19
efemérides para observaciones físicas, 207
satélites, 218–229
Nutación
paso de coordenadas medias a verdaderas, 359

Oblicuidad de la eclíptica
durante el año, 130
Observaciones físicas
de los planetas, 195–207
del Sol, 136–147
Observatorios
en el mundo, 351
en España, 350
Ocultaciones
de asteroides por la Luna, 36
de estrellas por la Luna, 36–37
de planetas por el Sol, 35
de planetas por la Luna, 35
Orbita de la Tierra
afelio y perihelio extremos, 16
afelio y perihelio para este año, 17
datos orbitales, 187–189, 209
Ortos y ocasos
de la Luna, 179–181
de los planetas, 208
del Sol, 136–147, 150–153

Parsec, año luz, Unidad Astronómica
equival., múltiplos, 317, 363
Planetas
órbita, 186–188, 209
atmósfera, 191
datos físicos, 190
declinación durante el año, 192
descubrimiento, 192
efemérides, 194–208
elementos orbitales, 188, 209
fórmulas, 209
fenómenos en este año, 18–19
fotometría, albedo, 189
masa, tamaño, 190
ocultación por la Luna, 35
ortos y ocasos en cualquier lugar, 208
posiciones geocéntricas y heliocéntricas, 209–211
rotación, 189
satélites, *véase* Satélites
sistema planetario, *véase* Sistema solar
traslación, 188
visibilidad en este año, 20–22
Plutón
datos fotométricos, 240
descubrimiento, 241
efemérides, 244
elementos orbitales, 239
masa, tamaño, 241
satélites, 242
traslación, 240
Polar (estrella)
coord. ecuat. aparentes, 280–281
coord. ecuatoriales J2000, 277, 279
coord. horizontales, 278
determinación de la latitud, 278
Polo Norte
de la Vía Láctea, 318
del sistema solar, 186
del Sol, 131
Posiciones geográficas

ciudades españolas, 348–349
convenios, 15
observatorios españoles, 350
observatorios mundiales, 351
Precesión
cálculo aproximado, 356
cálculo exacto, 358
efecto sobre las coordenadas ecuatoriales, 356–358

Refracción
corrección de la altura observada, 360–361
fórmula aproximada, 360

Satélites
datos físicos, 226–229
descubrimiento, 222–225
elementos orbitales, 218–222
fotometría, 226–229
nombres, 218–222
periodos, 222–225
posición de los satélites galileanos, 230–235
Saturno
conjunción y oposición, 19
constelaciones recorridas, 19
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
efemérides, 202
efemérides orbitales, 19
efemérides para observaciones físicas, 203
inclinación de los anillos, 19
satélites, 218–229
visibilidad (en 2011), 20–22
Semana
día de la semana corresp. a un día juliano, 89
día de la semana corresp. a una fecha, 96–97
numeración, 86
Sistema solar
asteroides, *véase* Asteroides
cometas, *véase* Cometas
equivalencia en distancias, 236
meteoroides, *véase* Meteoroides
planetas, *véase* Planetas
sistema planetario, 186, 238
unidades, 186
Sol
abundancia de elementos químicos, 133
afelio y perihelio, 17
azimut de orto y ocaso, 154
cálculos aproximados, 148
coord. ecuatoriales, 136–147
coord. ecuatoriales aprox., 149
coord. heliográficas, 136–147
crepúsculos, 156–157
culminación, orto y ocaso en Madrid, 136–147
datos físicos, 130
distancia a la Tierra, 148–149
duración del día, 157–158
eclipses, *véase* Eclipses
eje de rotación, *P*, 136–147
entrada en signos del zodíaco, 19
luminosidad, 131
movimiento diario, 148–149
movimiento en el espacio, 132
ocultaciones, 35
órbita, 130
orto y ocaso en otro lugar, 150–152
ortos y ocasos extremos en Madrid, 158
paralaje horizontal, 148–149
paso por el meridiano, 159
paso por el primer vertical, 155
rotación, 131
rotaciones sinódicas, 159
semidiámetro, 148–149

tiempo de paso del semidiámetro, 148–149
unidades solares, 129
viento solar, 132
Solsticios
de verano y de invierno, 16
para este año, 17

Tiempo
DUT1, 103
civil, 106
de efemérides, *TE*, 100
ecuación de los equinoccios, *véase* id. id.
ecuación de tiempo, *véase* id. id.
emisores de señales de tiempo, 106–108, 113
escala atómica, *TAI*, 100
escalas de tiempo, 100–106
horario adelantado, 109–110, 113
husos horarios, 108
meses (calendario), 114–125
meses (Luna), 163
oficial
en los paises del mundo, 108–112
explicación, 108
oficial en España, 113
sidéreo, 103–105, 118
sidéreo local, fórmula, 99, 105
sidéreo verdadero en Greenwich día a día, 114–125
siglo, milenio, 87
solar medio y verdadero, 105–106, 117
Tiempo Atómico Internacional, 100
tiempos dinámicos, 100–101
Universal Coordinado, *UTC*, 102–103, 106–108
Universal, *TU, UT1*, 101
Tierra
comparación con otros planetas, *véase* Planetas
distancia al Sol, 148–149
elipsoides de referencia, 345–347
masa, tamaño, 344
órbita, *véase* Orbita de la Tierra
periodo de rotación, 120
rotación, 345
satélites, 218–229
unidades terrestres, 343

Unidades
astronómicas, 317, 363
día, 100
equivalencias útiles, 186, 317
factores de conversión, 363
segundo, 100
Urano
conjunción y oposición, 19
constelaciones recorridas, 19
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
descubrimiento, 192
efemérides, 204
efemérides orbitales, 19
efemérides para observaciones físicas, 205
satélites, 218–229
visibilidad (en 2011), 20

Vía Láctea
cúmulos, *véase* Cúmulos estelares
características cerca del Sol, 318
características globales, 318
nebulosas, *véase* Nebulosas
nubes moleculares, 323
Venus
datos orbitales, físicos y fotométricos, 187–191
efemérides, 196
efemérides orbitales, 18

efemérides para observaciones físicas, 197
fenómenos en este año, 18
tránsitos, 18
visibilidad (en 2011), 20–22

Zodíaco
definición, 19
entrada del Sol en signos, 19