



# Anuario del Observatorio Astronómico 2021



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD  
Y AGENDA URBANA

INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
NACIONAL



ANUARIO  
DEL  
OBSERVATORIO  
ASTRONÓMICO  
DE MADRID  
PARA 2021

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: **798-20-068-8**. — ISSN: **0373-5125** — ISBN: **9788441656635**

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

Programa editorial 2020  
Depósito legal: **M. 7.390-1958**  
NIPO: **798-20-068-8**  
ISSN: **0373-5125**  
ISBN: **9788441656635**

Cubierta: Imagen de Marte generada por ordenador, utilizando información tridimensional del altímetro láser Mars Orbiter de la misión Mars Science Laboratory (MSL) de la NASA. La imagen muestra un área que incluye el cráter Gale, de 154 kilómetros de diámetro, que contiene una montaña de unos 5 kilómetros de altitud. NASA/JPL-Caltech.

---

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 2021



## POSICIONES GEOGRÁFICAS

### OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID

*(Centro del piso de la rotonda del edificio Villanueva)*<sup>1</sup>

Latitud ..... 40°24'30"0  
 Longitud<sup>2</sup> ..... -14<sup>m</sup>45;10 ... -03°41'16"5  
 Altitud ..... 655,36 m

### OBSERVATORIO DE YEBES

*(Centro del radomo del radiotelescopio de 14 m)*

Latitud ..... 40°31'31"2  
 Longitud ..... -12<sup>m</sup>21;15 ... -03°05'17"3  
 Altitud ..... 931 m

### ESTACIÓN DE OBSERVACIÓN DE CALAR ALTO

*(Coordenadas del telescopio de 1,52 m)*

Latitud ..... 37°13'27"1  
 Longitud ..... -10<sup>m</sup>11;59 ... -02°32'53"9  
 Altitud ..... 2.165 m

---

<sup>1</sup>Estas coordenadas se refieren a la señal NP26 de la nivelación de precisión que enlaza el nivel medio del mar en Alicante y Madrid. Dicha señal es un clavo de bronce empotrado en el centro de la rotonda del "Edificio Villanueva", sede histórica del 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.

<sup>2</sup>La longitud se considera positiva al Este y negativa al Oeste del meridiano que pasa por Greenwich.

## PRÓLOGO

La terrible epidemia de covid-19 ha hecho que el 2020 haya sido un año triste y extraño también en el Observatorio Astronómico Nacional. Durante el estado de alarma, que fue declarado por el Gobierno el 14 de marzo y se extendió hasta el 21 de junio, el OAN pasó a ser una organización ‘virtual’, con todos los astrónomos y astrónomas desarrollando sus tareas en modo de teletrabajo.

Tal y como se describe en el artículo “Astronomía en tiempos de pandemia”, incluido en este Anuario, muchos observatorios del mundo se vieron obligados a parar las observaciones astronómicas. En este contexto, el Observatorio de Yebes constituyó una notable excepción, con el radiotelescopio de 40 metros trabajando ininterrumpidamente, lo que demostró la solidez de la instrumentación y la profesionalidad y dedicación del personal que mantuvo el control remoto en todo instante.

La actividad del OAN tampoco se detuvo en ningún momento. Algunas observaciones programadas en los telescopios de IRAM o en ALMA tuvieron que aplazarse, pero se aprovechó para reducir y analizar datos ya existentes, redactar artículos científicos, preparar nuevos proyectos, etc. Con el concurso de muchos de los astrónomos se redactó el libro ‘Panorama del universo’, que se encuentra ahora en imprenta. Las reuniones por videoconferencia se multiplicaron para poder mantener el contacto entre los miembros de los equipos.

Las visitas al Real Observatorio de Madrid se suspendieron. Pero las instalaciones no quedaron desatendidas en ningún momento. Con el fin de evitar el deterioro de edificios y jardines, las tareas esenciales de mantenimiento se mantuvieron sin interrupción.

Al terminar el estado de alarma, se tomaron las medidas higiénicas precisas para retomar la actividad presencial de manera gradual. Hasta el momento de escribir estas líneas, se ha mantenido cierto grado de teletrabajo, sobre todo para el personal más vulnerable o que tiene niños o ancianos a su cargo. Las visitas al Real Observatorio se han reanudado.

Dadas las circunstancias, resulta reconfortante poder presentar puntualmente una nueva edición de nuestro entrañable Anuario que, este año, además del artículo ya mencionado sobre la pandemia, incluye otros titulados “Midiendo el tamaño del universo” y “Marte: una ventana al pasado”.

**Rafael Bachiller**

Director del Observatorio Astronómico Nacional

Octubre de 2020

## CAMBIOS RESPECTO DE LAS EDICIONES PRECEDENTES

En esta edición del Anuario se ha modificado la sección de estrellas dobles, dentro del capítulo dedicado a las estrellas. Debido a la actualización de la página web del Observatorio Naval de Estados Unidos, los datos para el cálculo de la tabla de estrellas dobles se han obtenido de la página web de la Universidad Estatal de Georgia.

También, se ha procedido a una nueva actualización de la tabla de moléculas detectadas en el medio interestelar y circumestelar del capítulo Tablas.

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

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

La correspondencia sobre este Anuario debe ser enviada a:

*Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*  
*Calle Alfonso XII, 3*  
*28014 Madrid*

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

**María Sánchez Ramos.**  
Astrónoma.

## OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL (IGN)

Astrónomos del OAN a fecha de 1 de noviembre de 2019

Bachiller García, Rafael, *Director*

Alcolea Jiménez, Javier

Alonso Albi, Tomás

Baño Esplugues, Gisela

Bujarrabal Fernández, Valentín

Chacón Tanarro, Ana

Colomer Sanmartín, Francisco

Desmurs, Jean-François

Fuente Juan, María Asunción

García Burillo, Santiago

Gómez Garrido, Miguel

Jiménez Donaire, María Jesús

Querejeta Pérez, Miguel

Rioja Capellán, María José

Riviere Marichalar, Pablo

Sánchez Ramos, María

Santander García, Miguel

Soria Ruiz, Rebeca

Tafalla García, Mario

Tarrío Alonso, Paula

Tercero Martínez, Belén

Usero Villanueva, Antonio

**DIRECCIONES POSTALES**

Sede central:

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

Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS):

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

Sede en el campus de la Universidad de Alcalá:

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

Observatorios con participación del IGN en España:

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

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

# Índice temático

## Fenómenos astronómicos:

Resumen	14
Visibilidad de los planetas	18
Ocultaciones por la Luna	33
Fenómenos día a día	37
Eclipses de Sol y de Luna	63

## Calendarios y tiempos:

Calendarios	79
Tiempos	93
Escalas de tiempo	94
Husos horarios	102
Tablas de tiempos	108

## Efemérides astronómicas:

### El Sol:

Datos solares	123
Efemérides	128
Fórmulas, ortos, ocasos, etc	142

### La Luna:

Datos lunares	155
Efemérides	159
Fórmulas, ortos, ocasos, etc	173

### Los planetas:

Datos planetarios	180
Efemérides de los planetas	186
Fórmulas, ortos, ocasos, etc	202

### Satélites naturales:

Datos de los satélites	209
Satélites de Júpiter	228
Tabla de equivalencias para distancias	234

### Objetos menores del sistema solar:

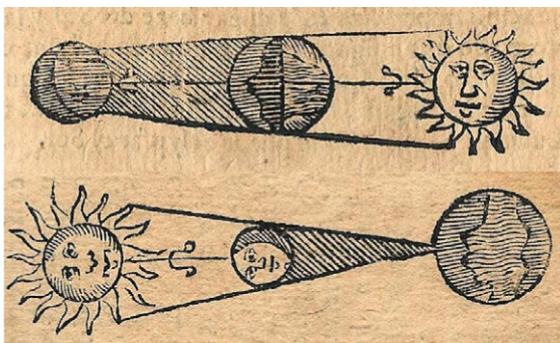
Planetas enanos	236
Asteroides	245
Cometas	260
Meteoros y lluvias de meteoros	265

### Efemérides estelares:

Estrella Polar	267
Mínimos de Algol y $\beta$ Lyr	272
Máximos de variables tipo Mira	273

Catálogos:	
Constelaciones	278
Estrellas:	288
Brillantes	293
Dobles	298
Variables	301
Relación entre magnitud y brillo	305
Conversión de distancias en la Vía Láctea	306
Vía Láctea:	
Características de la Vía Láctea	308
Cúmulos estelares	310
Nebulosas	312
Catálogo de Messier de objetos difusos	317
Objetos extragalácticos	321
La Tierra:	
Datos físicos, geodésicos y cartográficos:	339
Elipsoides de referencia	339
Posiciones geográficas de ciudades	342
Posiciones geográficas de observatorios	344
Tablas complementarias:	
Corrección de coordenadas astronómicas:	
Tablas y fórmulas de precesión	350
Fórmulas de nutación y aberración	353
Corrección de refracción atmosférica	354
Tablas de constantes físicas y astronómicas	356
Interpolación numérica	358
Moléculas interestelares	362
Artículos de divulgación:	
Marte: una ventana al pasado por <i>Tomás Alonso</i>	369
Astronomía en tiempos de pandemia por <i>Rafael Bachiller</i>	399
Midiendo el tamaño del universo por <i>Miguel Querejeta</i>	415
Índice alfabético	433

# 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  $-90^\circ$  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  $-180^\circ$  y  $+180^\circ$  o entre  $-12^h$  y  $+12^h$ .

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

$$\text{día juliano} = 2459214,5 + \text{día del año} + \text{TU}/24^h$$

## Efemérides y fenómenos astronómicos relevantes durante el año

### Inicio de las estaciones

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

Fechas extremas de inicio de las estaciones					
Siglo	Año	Primavera Marzo	Verano Junio	Otoño Setiembre	Invierno Diciembre
XX (1901-2000)	2000	20 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	21 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	22 <sup>d</sup> 17 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	21 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
	1903	21 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	22 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	24 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	23 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>
XXI (2001-2100)	2096	19 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	20 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	21 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	20 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>
	2003	21 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	21 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	23 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	22 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>

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 2021

### Inicio de las estaciones

Hemisferio boreal	Fecha y hora en Tiempo Universal (TU)	Hemisferio austral	duración en días
Primavera	20 de marzo a las 09 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	Otoño	92,75
Verano	21 de junio a las 03 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	Invierno	93,66
Otoño	22 de setiembre a las 19 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	Primavera	89,86
Invierno	21 de diciembre a las 15 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	Verano	88,98

### Órbita de la Tierra

Perihelio (distan. mínima)	2 de enero a las 14 <sup>h</sup> TU	0,983256 ua
Afelio (distan. máxima)	5 de julio a las 23 <sup>h</sup> TU	1,016728 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	13 05 00	Ene	20 21 02	Ene	28 19 16	Ene	06 09 37
Feb	11 19 06	Feb	19 18 47	Feb	27 08 17	Feb	04 17 37
Mar	13 10 21	Mar	21 14 40	Mar	28 18 48	Mar	06 01 30
Abr	12 02 31	Abr	20 06 59	Abr	27 03 32	Abr	04 10 02
May	11 19 00	May	19 19 13	May	26 11 14	May	03 19 50
Jun	10 10 53	Jun	18 03 54	Jun	24 18 40	Jun	02 07 24
Jul	10 01 17	Jul	17 10 11	Jul	24 02 37	Jul	01 21 11
Ago	08 13 50	Ago	15 15 20	Ago	22 12 02	Ago	31 13 16
Set	07 00 52	Ago	15 15 20	Ago	22 12 02	Ago	30 07 13
Oct	06 11 05	Set	13 20 39	Set	20 23 55	Set	29 01 57
Nov	04 21 15	Oct	13 03 25	Oct	20 14 57	Oct	28 20 05
Dic	04 07 43	Nov	11 12 46	Nov	19 08 57	Nov	27 12 28
		Dic	11 01 36	Dic	19 04 36	Dic	27 02 24

### Eclipses

Fecha	Astro	Tipo	Visibilidad
May 26	Luna	total	Este de Asia, Australia, Pacífico y América
Jun 10	Sol	anular	Norteamérica, Europa y Asia
Nov 19	Luna	parcial	América, Europa, Asia y Australia
Dic 04	Sol	total	Antártida y sur de África

En 2022 habrá dos eclipses de Sol y dos de Luna. El próximo eclipse solar visible en España tendrá lugar el día 12 de agosto de 2026

**Mercurio**

		Máximas elongaciones					
Este		Oeste		Este		Oeste	
Ene	24 18°,6	Mar	6 27°,3	May	17 22°,0	Jul	4 21°,6
Set	14 26°,8	Oct	25 18°,4				

		Órbita	Brillo máximo (magnitud V)	
Estacionario		Ene 30, May 30, Set 27		
Conjunción inferior		Feb 8, Jun 11, Oct 9	Abr	19 -2,3
Estacionario		Feb 20, Jun 22, Oct 18	Ago	1 -2,1
Conjunción superior		Abr 19, Ago 1, Nov 29	Nov	28 -1,4
Perihelio		Ene 29, Abr 27, Jul 24, Oct 19		
Afelio		Mar 14, Jun 10, Set 6, Dic 2		

El próximo tránsito de Mercurio por delante del Sol se producirá el 13 de noviembre de 2032.

**Venus**

		Órbita	Brillo máximo (magnitud V)	
Conjunción superior		Mar 26 1,723 ua		
Máxima elongación Este		Oct 29 47°,0	Dic	9 -4,9
Estacionario		Dic 18		
Afelio		Feb 20, Oct 3		
Perihelio		Jun 12		

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

**Marte**

		Órbita	Brillo máximo (magnitud V)	
Afelio		Jul 13 1,666 ua		
Conjunción		Oct 8	Oct	9 1,6
En nodo descendente		Dic 19		
Estaciones en el hemisferio Norte:				
Equinoccio de primavera		Feb 7		
Solsticio de verano		Ago 25		

## Planetas exteriores

Planeta	Estacionario	Conjunción	Estacionario	Oposición	Estacionario
Júpiter		Ene 29 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup>	Jun 21 <sup>d</sup> 04 <sup>h</sup>	Ago 20 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup>	Oct 18 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup>
Saturno		Ene 24 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup>	May 23 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup>	Ago 02 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup>	Oct 11 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup>
Urano	Ene 14 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup>	Abr 30 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup>	Ago 20 <sup>d</sup> 04 <sup>h</sup>	Nov 04 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup>	
Neptuno		Mar 11 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup>	Jun 26 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>	Set 14 <sup>d</sup> 09 <sup>h</sup>	Dic 01 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup>

Planeta	Distancia media al Sol (ua)	Brillo medio en magnitudes	Constelaciones recorridas
Júpiter	5,0	-2,4	Capricornio/Acuario
Saturno	10,0	+0,6	Capricornio
Urano	19,7	+5,8	Aries
Neptuno	29,9	+7,8	Acuario

Los días 2 y 20 de agosto se producirán los máximos acercamientos anuales de Saturno y Júpiter a la Tierra, alcanzando unos diámetros de 18",7 y 49",1, respectivamente.

El próximo paso de la Tierra por el plano de los anillos de Saturno tendrá lugar el 23 de marzo de 2025, siendo la inclinación media de sus anillos en 2021 de 18°.

## Entrada del Sol en los signos del zodiaco (TU)

Acuario	Ene	19 <sup>d</sup>	20 <sup>h</sup>	41 <sup>m</sup>	Leo	Jul	22 <sup>d</sup>	14 <sup>h</sup>	27 <sup>m</sup>
Piscis	Feb	18 <sup>d</sup>	10 <sup>h</sup>	45 <sup>m</sup>	Virgo	Ago	22 <sup>d</sup>	21 <sup>h</sup>	35 <sup>m</sup>
Aries	Mar	20 <sup>d</sup>	09 <sup>h</sup>	38 <sup>m</sup>	Libra	Set	22 <sup>d</sup>	19 <sup>h</sup>	21 <sup>m</sup>
Tauro	Abr	19 <sup>d</sup>	20 <sup>h</sup>	34 <sup>m</sup>	Escorpio	Oct	23 <sup>d</sup>	04 <sup>h</sup>	52 <sup>m</sup>
Géminis	May	20 <sup>d</sup>	19 <sup>h</sup>	37 <sup>m</sup>	Sagitario	Nov	22 <sup>d</sup>	02 <sup>h</sup>	34 <sup>m</sup>
Cáncer	Jun	21 <sup>d</sup>	03 <sup>h</sup>	32 <sup>m</sup>	Capricornio	Dic	21 <sup>d</sup>	16 <sup>h</sup>	00 <sup>m</sup>

El zodiaco 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 *zodiaco* dada a tal banda.

## Visibilidad de los planetas brillantes en 2021

Planeta	En el crepúsculo matutino	En el crepúsculo vespertino
Mercurio	—	Ene 4 — Feb 3
	Feb 16 — Abr 3	Abr 26 — Jun 2
	Jun 25 — Jul 25	Ago 10 — Set 26
	Oct 16 — Nov 14	Dic 16 — Dic 31
Venus	Ene 1 — Feb 10	May 4 — Dic 31
Marte	—	Ene 1 — Ago 24
	Nov 4 — Dic 31	—
Júpiter	—	Ene 1 — Ene 16
	Feb 12 — Ago 24	Ago 13 — Dic 31
Saturno	—	Ene 1 — Ene 7
	Feb 10 — Ago 9	Jul 26 — Dic 31
Urano	—	Ene 1 — Abr 4
	Jun 8 — Nov 10	Oct 27 — 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  $6^\circ$  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 2021 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 el principio del año hasta mediados de febrero y como astro vespertino desde mayo hasta finales de año. Alcanzará su brillo máximo en la primera quincena de diciembre.

Marte será visible al atardecer desde principios de año hasta finales de agosto y al amanecer de noviembre a finales de año, alcanzando su máximo brillo la primera quincena de octubre.



---

 Visibilidad de los planetas mes a mes
 

---

Enero	Al amanecer será visible Venus. Al atardecer serán visibles Mercurio, Marte, Urano y, hasta mediados de mes, Júpiter y Saturno.
Febrero	Al amanecer será visible Venus hasta mediados de mes, momento en el comenzarán a verse Mercurio, Júpiter y Saturno. Marte y Urano serán visibles al atardecer.
Marzo	Mercurio, Júpiter y Saturno serán visibles al amanecer, Marte y Urano al atardecer.
Abril	Júpiter y Saturno continuarán siendo los luceros matutinos y Marte el vespertino.
Mayo	Júpiter y Saturno siguen luciendo por la mañana. Mercurio, Venus y Marte al atardecer.
Junio	Júpiter, Saturno y Urano serán visibles al amanecer. Venus y Marte serán visibles al atardecer.
Julio	Mercurio, Júpiter, Saturno y Urano serán visibles al amanecer. Venus y Marte al atardecer.
Agosto	Urano será visible al amanecer junto a Júpiter, que pasará a ser visible toda la noche a mediados de mes. Saturno será visible toda la noche hasta mediados de mes, pasando a ser visible solo por la tarde. Venus y Marte seguirán siendo visibles al atardecer.
Septiembre	Urano será visible al amanecer. Venus, Júpiter y Saturno al atardecer.
Octubre	Urano y, desde mediados de mes, Mercurio se verán al amanecer. Venus, Júpiter y Saturno serán visibles al atardecer.
Noviembre	Mercurio y Marte se verán al amanecer. Urano será visible toda la noche hasta mediados de mes, para pasar a ser visible solo al atardecer junto a Venus, Júpiter y Saturno.
Diciembre	Marte es visible al amanecer. Venus, Júpiter, Saturno Urano y, desde mediados de mes, Mercurio se verán al atardecer.

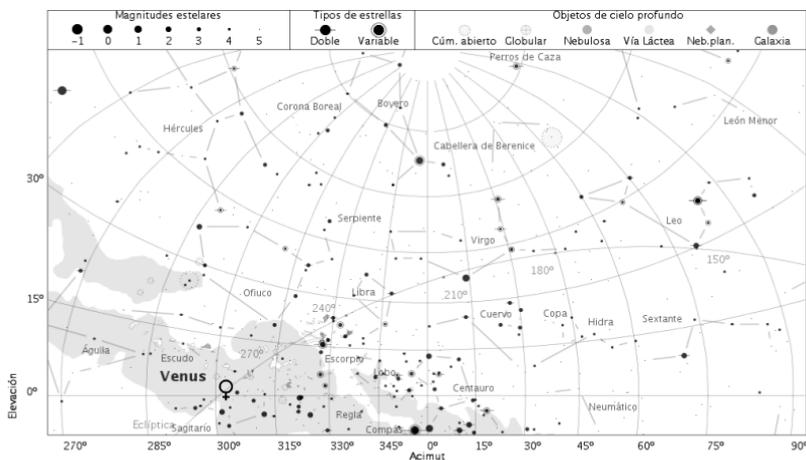
---

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

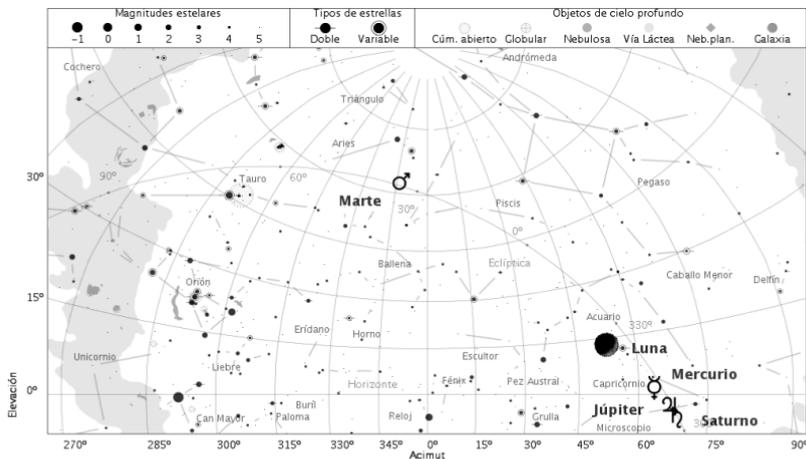
En las páginas siguientes se muestra el aspecto del cielo nocturno meridional en Madrid para el día 15 de cada mes, con indicación de la posición de los planetas visibles a la hora indicada. Esta corresponde a aproximadamente una hora antes de la salida del Sol o una hora después de la puesta del Sol, según corresponda. Se trata de instantes cercanos al crepúsculo náutico, 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  $180^\circ$  en acimut. El acimut  $0^\circ$  (centro de la figura) corresponde al Sur, el acimut  $270^\circ$  (izquierda) al Este y el acimut  $90^\circ$  (derecha) al Oeste.

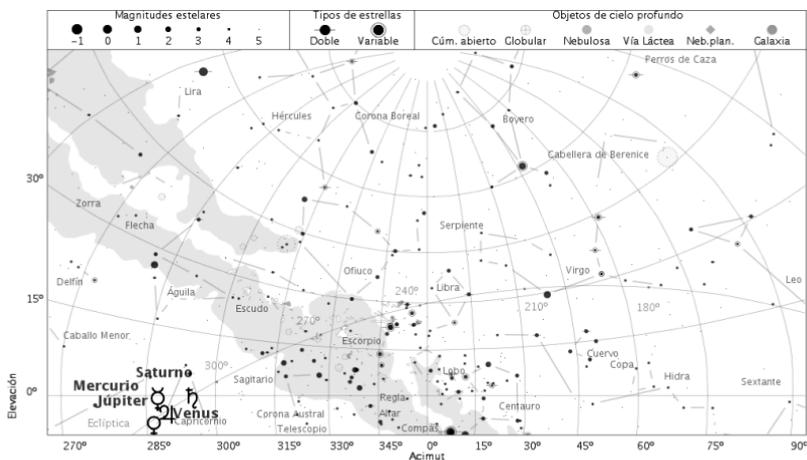
15 de enero de 2021, a las 6:45 TU



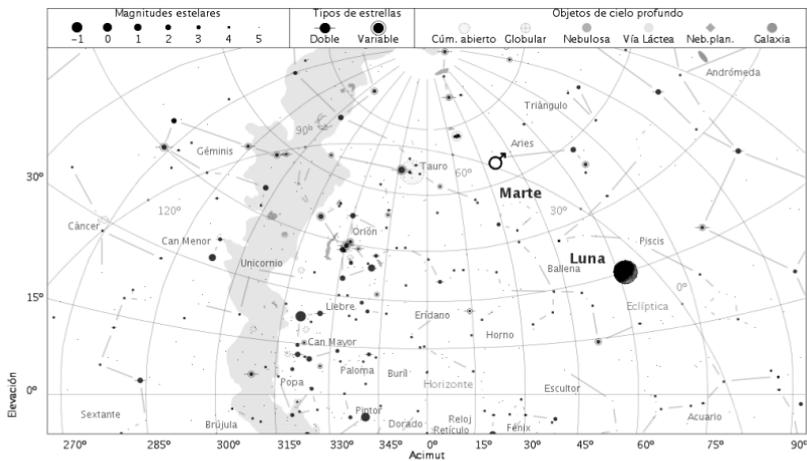
15 de enero de 2021, a las 18:15 TU



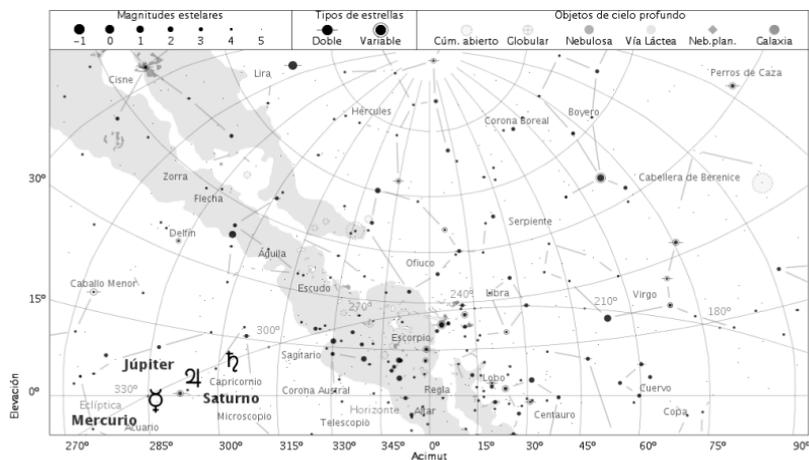
15 de febrero de 2021, a las 6:15 TU



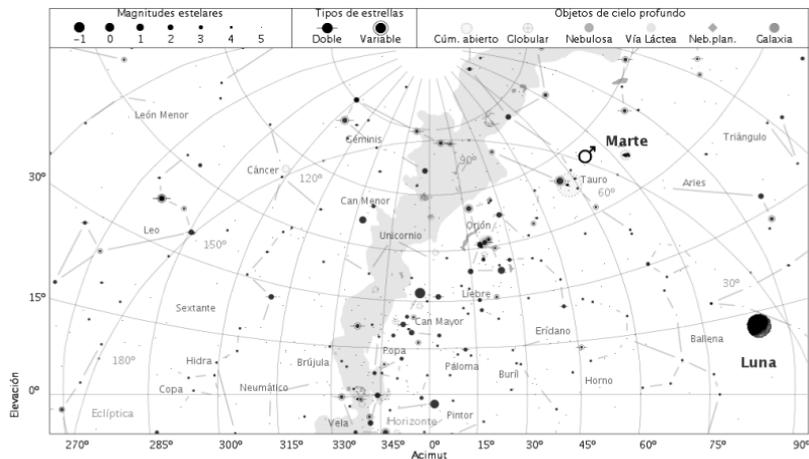
15 de febrero de 2021, a las 18:45 TU



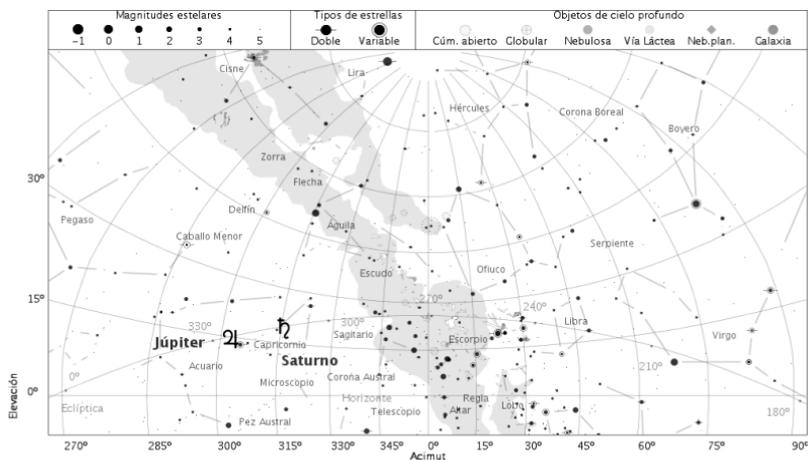
15 de marzo de 2021, a las 5:30 TU



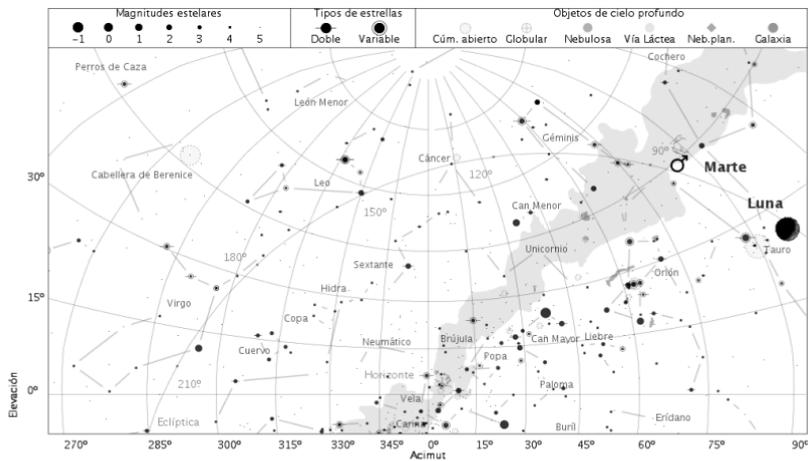
15 de marzo de 2021, a las 19:15 TU



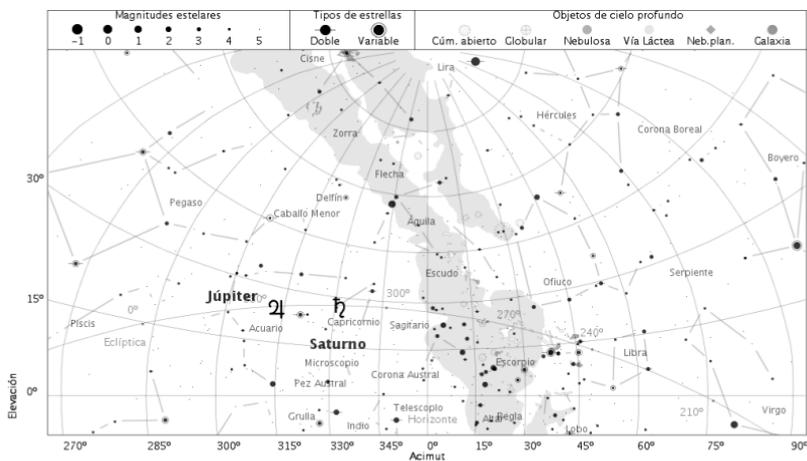
15 de abril de 2021, a las 4:45 TU



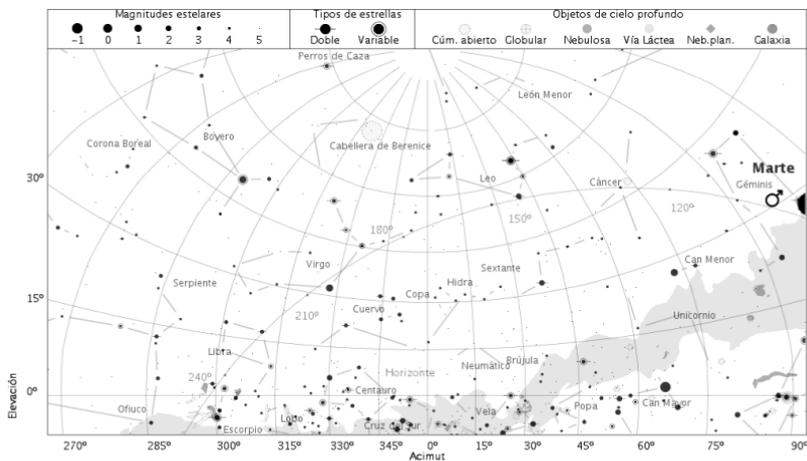
15 de abril de 2021, a las 19:45 TU



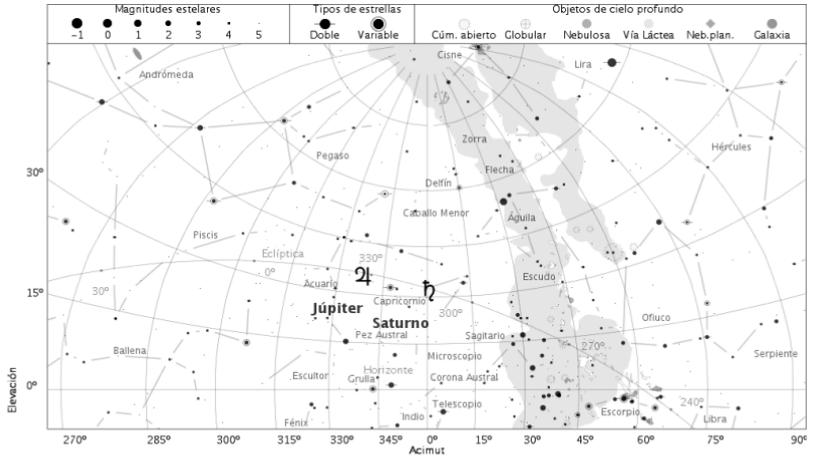
15 de mayo de 2021, a las 4:00 TU



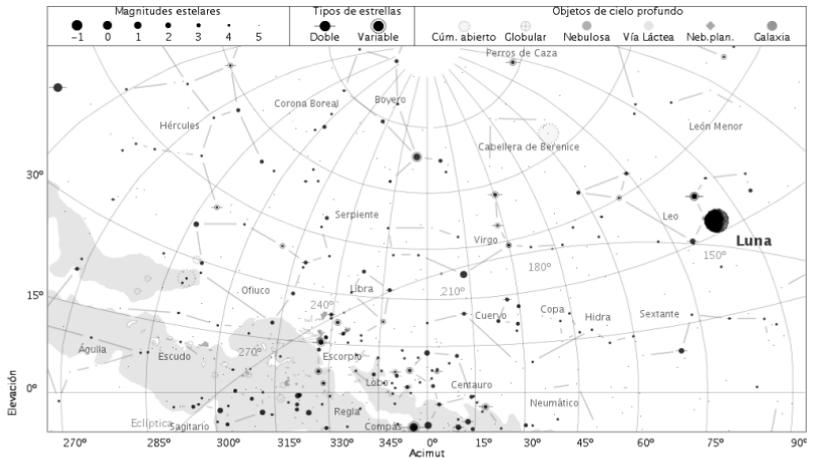
15 de mayo de 2021, a las 20:15 TU



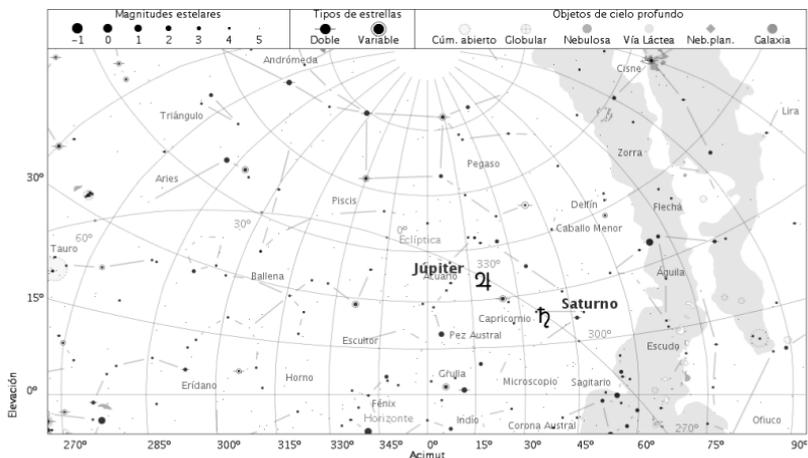
15 de junio de 2021, a las 3:45 TU



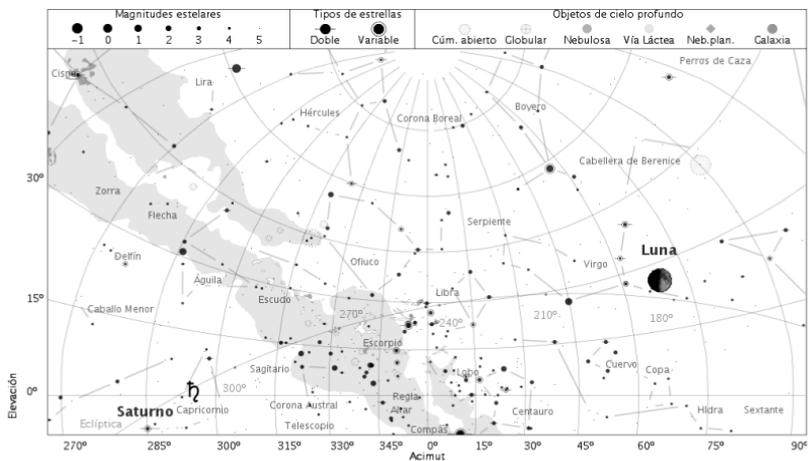
15 de junio de 2021, a las 20:45 TU



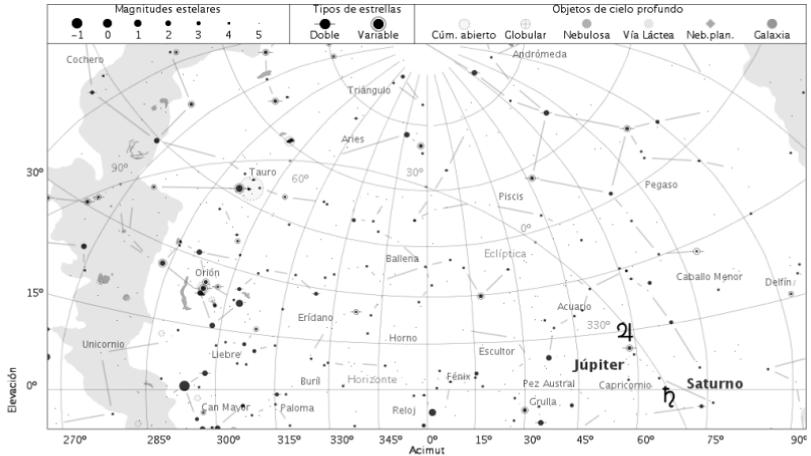
15 de julio de 2021, a las 4:00 TU



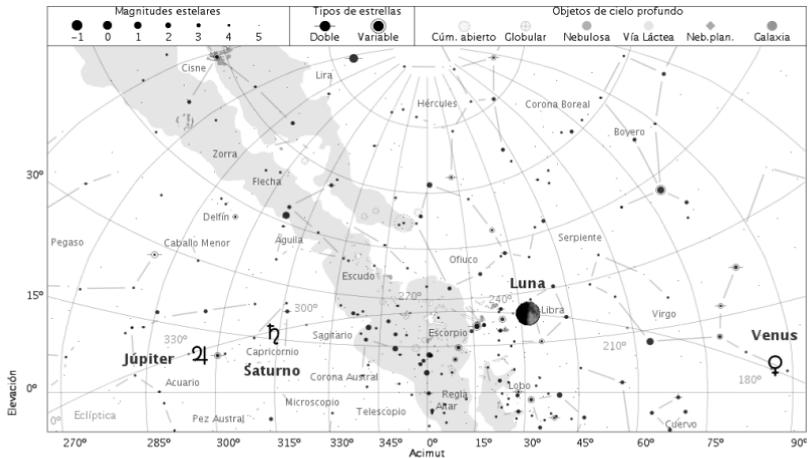
15 de julio de 2021, a las 20:45 TU



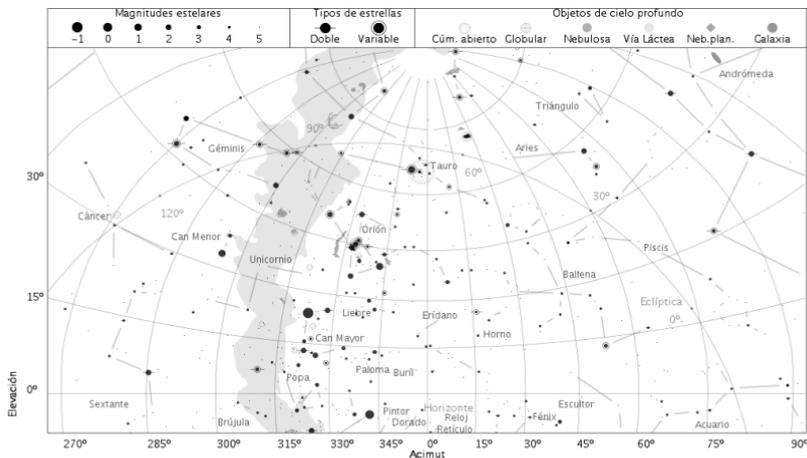
15 de agosto de 2021, a las 4:30 TU



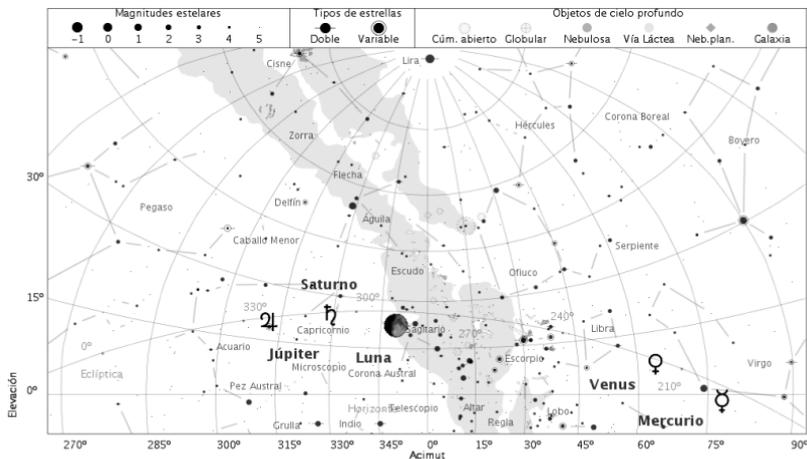
15 de agosto de 2021, a las 20:15 TU



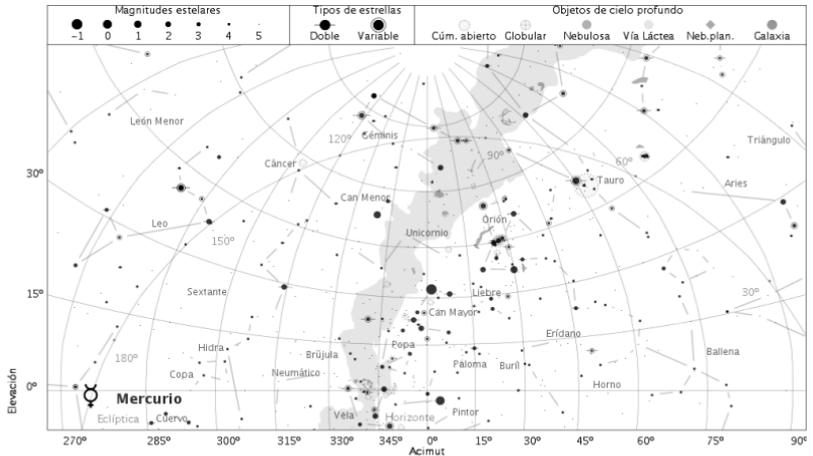
15 de setiembre de 2021, a las 5:00 TU



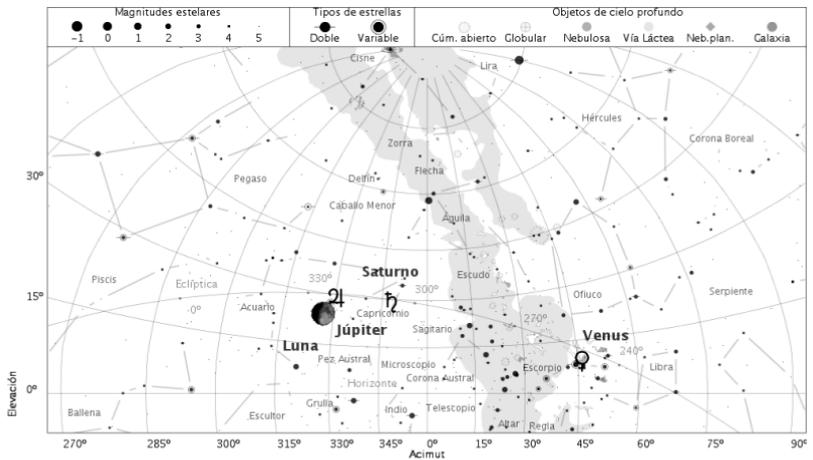
15 de setiembre de 2021, a las 19:15 TU



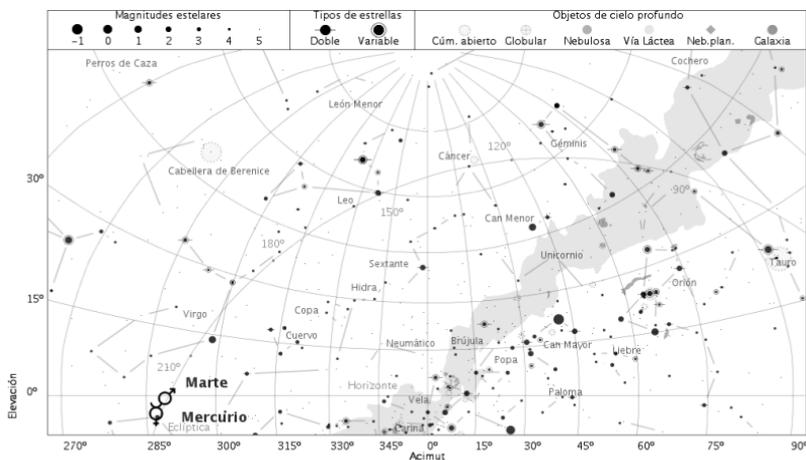
15 de octubre de 2021, a las 5:30 TU



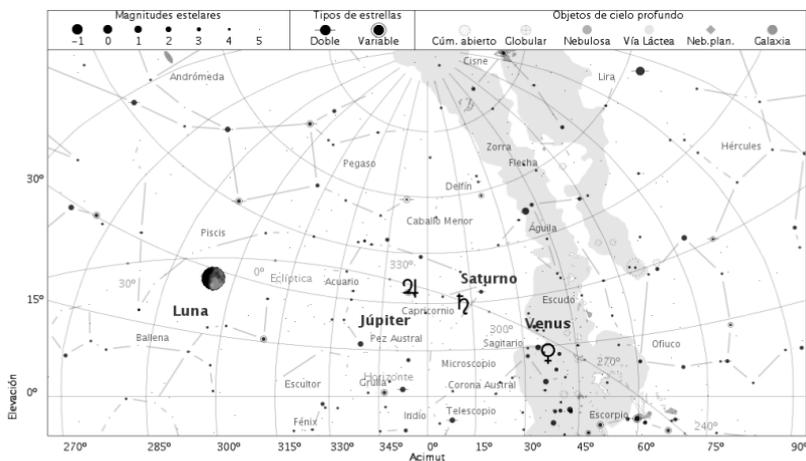
15 de octubre de 2021, a las 18:30 TU



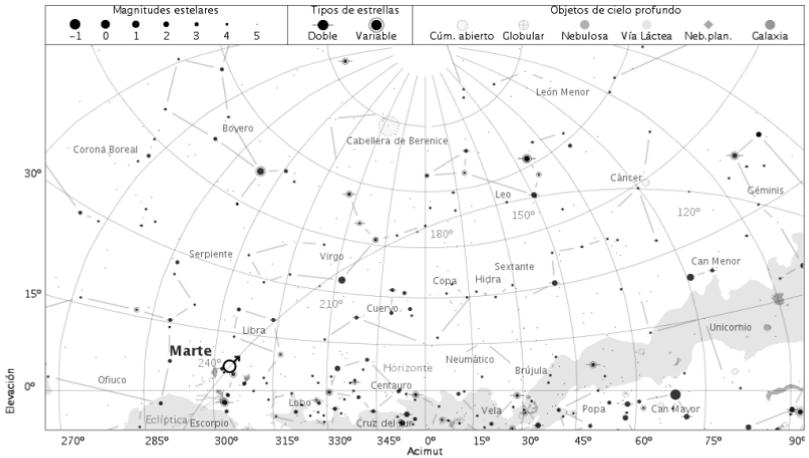
15 de noviembre de 2021, a las 6:00 TU



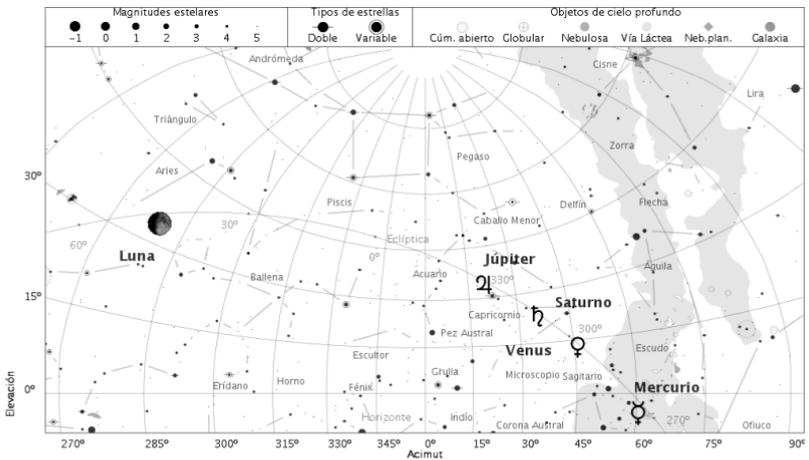
15 de noviembre de 2021, a las 18:00 TU



15 de diciembre de 2021, a las 6:30 TU



15 de diciembre de 2021, a las 17:45 TU



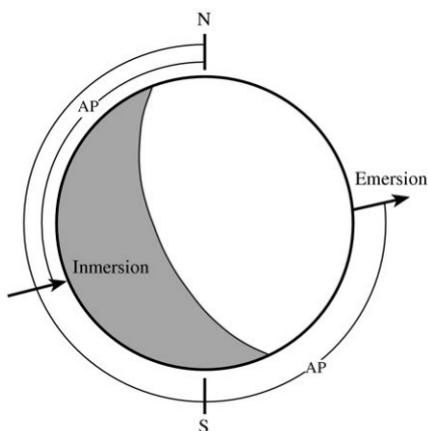
## Ocultaciones relevantes por la Luna o el Sol en 2021

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

### *Ocultación de planetas por la Luna*

Mercurio es ocultado por la Luna:	Nov 3, Dic 4
Venus es ocultado por la Luna:	May 12, Nov 8
Marte es ocultado por la Luna:	Abr 17, Dic 3, Dic 31 Oct 3

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 ningún planeta será ocultado por el Sol. La próxima ocultación de un planeta por el Sol será la de Mercurio del día 8 de noviembre de 2022.

### *Ocultación de grandes asteroides por la Luna*

Flora es ocultado por la Luna:	Feb 19, Mar 19, Nov 1, Nov 30 May 24, Jun 21, Dic 7
Metis es ocultado por la Luna:	May 22, Jun 19, Set 10, Oct 8 Nov 5, dic 4
Iris es ocultado por la Luna:	Set 1
Palas es ocultado por la Luna:	Dic 10
Hebe es ocultado por la Luna:	Nov 10, Dic 8

*Ocultación de estrellas brillantes por la Luna*

En 2021 no se producirán ocultaciones de Antares ( $\alpha$  Sco), Espiga ( $\alpha$  Vir), Régulo ( $\alpha$  Leo) y Aldebarán ( $\alpha$  Tau); sus próximas series comenzarán el 25 de agosto de 2023, el 16 de junio de 2024, el 26 de julio de 2025 y el 18 de agosto de 2033 respectivamente.

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

$\sigma$  Sgr, NZC 2750, ( $V = 2,0$ ) Abr 4\*  
 27  $\epsilon$  Gem, NZC 1030, ( $V = 3,1$ ) Abr 18\*  
 77  $\kappa$  Gem, NZC 1170, ( $V = 3,57$ ) Abr 19\*, Set 3\*, Set 30\*  
 42  $\theta$  Oph, NZC 2500 ( $V = 3,25$ ) Abr 30\*, Jun 23\*  
 30  $\eta$  Leo, NZC 1484 ( $V = 3,52$ ) May 19\*, Ago 9\*, Oct 3\*, Dic 24\*  
 27  $\phi$  Sgr, NZC 2721, ( $V = 3,2$ ) Nov 8\*

En la siguiente tabla no se han considerado las ocultaciones que tienen lugar de día o muy cerca del horizonte. Por tratarse de estrellas de magnitud cercana a 4 sólo se indica el fenómeno (inmersión o emersión) que tiene lugar por el borde oscuro de la Luna, salvo en la ocultación del 19 de abril en la que se da el borde iluminado.

Características de la ocultación de otras estrellas brillantes

Fase	TU	A.P.	borde (	altura	A	B
Abr 19: 77 $\kappa$ Gem, ( $V = 3,57$ )						
Emersión	19 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 2	248°	iluminado	67°	2,5 <sup>m</sup> /°	0,7 <sup>m</sup> /°
Abril 30: 42 $\theta$ Oph, ( $V = 3,25$ )						
Emersión	2 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 4	285°	oscuro	24°	1,9 <sup>m</sup> /°	-0,2 <sup>m</sup> /°
Junio 23: 42 $\theta$ Oph, ( $V = 3,25$ )						
Inmersión	23 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> 7	86°	oscuro	23°	2,0 <sup>m</sup> /°	0,3 <sup>m</sup> /°
Set 3: 77 $\kappa$ Gem, ( $V = 3,57$ )						
Emersión	3 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 2	226°	oscuro	16°	-0,6 <sup>m</sup> /°	2,5 <sup>m</sup> /°
Octubre 3: 30 $\eta$ Leo, ( $V = 3,52$ )						
Emersión	4 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 7	303°	oscuro	19°	0,5 <sup>m</sup> /°	0,3 <sup>m</sup> /°
Noviembre 8: 27 $\phi$ Sgr, ( $V = 3,2$ )						
Inmersión	18 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 1	50°	oscuro	9°	0,7 <sup>m</sup> /°	-0,2 <sup>m</sup> /°
Diciembre 24: 30 $\eta$ Leo, ( $V = 3,52$ )						
Emersión	5 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 3	320°	oscuro	59°	1,1 <sup>m</sup> /°	-2,2 <sup>m</sup> /°

### 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 al 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  $77 \kappa$  Gem en su ocultación del 19 de abril para un observador situado en Zamora se procede como sigue:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \lambda_{Zamora} - \lambda_{Madrid} = (-5^{\circ},8) - (-3^{\circ},7) = -2^{\circ},1 \\ \Delta\phi &= \phi_{Zamora} - \phi_{Madrid} = 41^{\circ},5 - 40^{\circ},4 = 1^{\circ},1\end{aligned}$$

Emersión:

$$\begin{aligned}TU &= 19 \text{ h } 20,2 \text{ min} + (2,5) \text{ min}/^{\circ} \times (-2,1^{\circ}) + (0,7) \text{ min}/^{\circ} \times (1,1^{\circ}) \\ &= 19 \text{ h } 15,7 \text{ min}\end{aligned}$$

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 2021

### Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2021

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación (°)
			Sol (ua)	Tierra (ua)	
17P/Holmes	Feb	13	2,06	2,98	18
75D/Kohoutek	Mar	3	1,78	1,85	70
28P/Neujmin 1	Mar	15	1,56	2,52	13
10P/Tempel 2	Mar	30	1,42	2,14	34
7P/Pons-Winnecke	Jun	22	1,26	0,27	151
15P/Finlay	Jun	30	0,97	1,31	48
8P/Tuttle	Set	5	1,03	1,77	30
6P/d' Arrest	Set	21	1,36	0,91	91
52P/Harrington-Abell	Oct	4	1,78	2,25	50
57P/duToit-Neujmin-Delporte	Oct	20	1,73	1,89	65
70P/Kojima	Nov	10	2,01	1,97	78
4P/Faye	Dic	5	1,65	0,93	119

ua = unidad astronómica = 149 597 870 700 m

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

## Fenómenos astronómicos día a día

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

inicio de las fases de la Luna, paso de la Luna por el perigeo y el apogeo (mínima y máxima distancia a la Tierra, respectivamente),

pasos de la Tierra por el perihelio y el afelio (mínima y máxima distancia al Sol, respectivamente),

equinoccios y solsticios (o sea, el inicio de las estaciones),

entrada del Sol en los signos del zodiaco (instantes en que la longitud media del Sol es un múltiplo de  $30^\circ$ ),

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  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , 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  $8^\circ$  de los planetas, a menos de  $3^\circ$  de los mayores asteroides y a menos de  $1,3^\circ$  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.

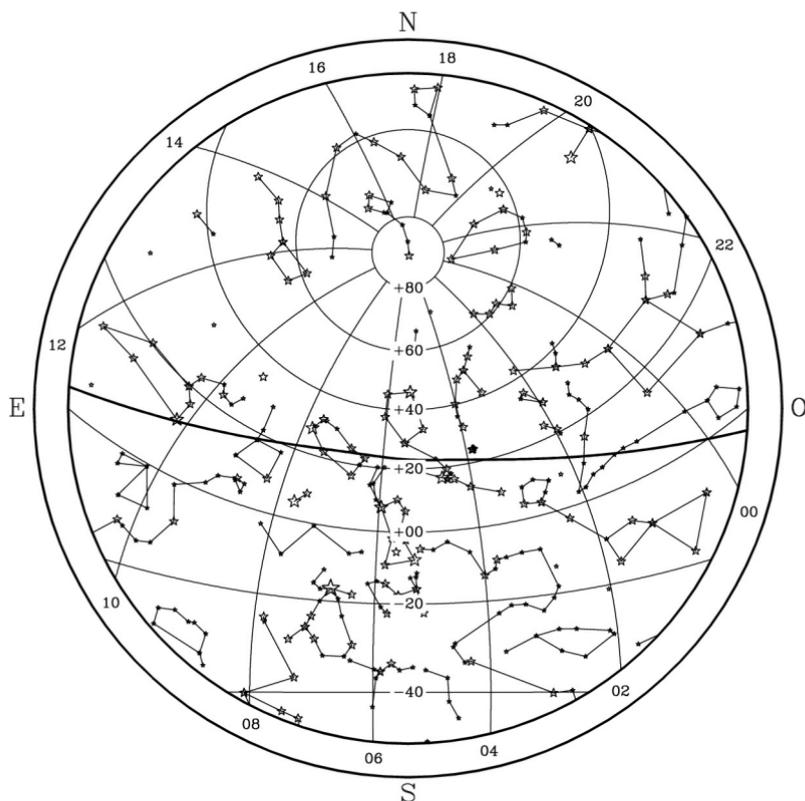
Se incluye para cada mes un mapa celeste que representa el aspecto del cielo, proyectado sobre un plano, tal como lo vería tras anochecer a mediados de mes un observador situado en la península. En tales mapas se han representado las estrellas más significativas de las constelaciones, así como trazos 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 2021**

- 3 Máximo de las Cuadrántidas
- 4 Vesta 2° al N de la Luna
- 5 Harmonia en conjunción con el Sol
- 6 Cuarto menguante
- 6 Metis 1°4 al N de la Luna
- 9 La Luna 0°6 al N de Graffias (Ocultación)
- 9 Luna en perigeo
- 11 La Luna 1°4 al S de Venus
- 11 Mercurio 1° al S de Júpiter
- 13 Luna nueva
- 14 La Luna 2° al S de Mercurio
- 14 La Luna 3° al S de Júpiter
- 14 Urano estacionario en ascensión recta
- 17 La Luna 4° al S de Neptuno
- 19 Venus 3° al N de Nunki
- 20 Cuarto creciente
- 21 Eunomia en oposición
- 21 Flora 2° al S de la Luna
- 21 La Luna 3° al S de Urano
- 21 La Luna 5° al S de Marte
- 21 Luna en apogeo
- 21 Marte 2° al N de Urano
- 23 Vesta estacionario en ascensión recta
- 24 Irene en oposición
- 24 Máxima elongación Este de Mercurio ( 18°6 )
- 24 Saturno en conjunción con el Sol
- 28 Hygiea en oposición
- 28 Luna llena
- 29 Júpiter en conjunción con el Sol
- 29 Mercurio en perihelio
- 30 Iris 2° al N de Mercurio
- 30 Mercurio estacionario en ascensión recta

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup>	m)	( <sup>°</sup>	' )	
Mercurio	20	53,7	-19	10	-0,8
Venus	18	34,6	-23	8	-3,8
Marte	2	4,8	13	50	0,1
Júpiter	20	34,2	-19	15	-1,8
Saturno	20	22,6	-19	49	0,6



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

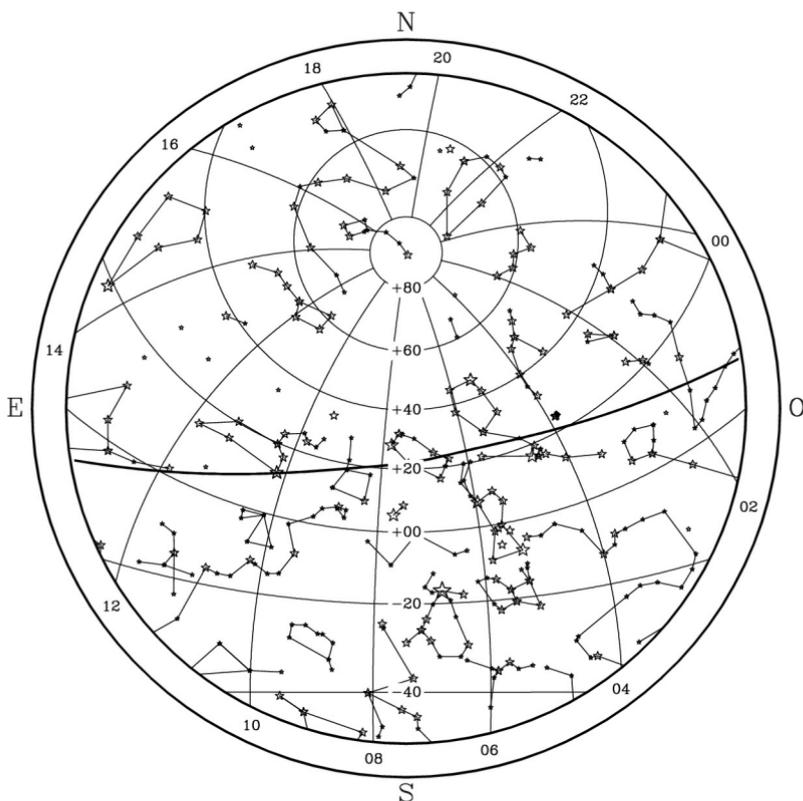
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

**Febrero 2021**

- 2 Melpomene en oposición
- 3 Luna en perigeo
- 3 Metis 3° al N de la Luna
- 4 Cuarto menguante
- 5 La Luna 0,3 al N de Graffias (Ocultación)
- 8 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
- 9 Palas en conjunción con el Sol
- 10 La Luna 3° al S de Saturno
- 11 Luna nueva
- 11 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
- 12 Mercurio en perihelio
- 13 La Luna 4° al S de Neptuno
- 13 Mercurio 4° al N de Júpiter
- 17 La Luna 3° al S de Urano
- 18 La Luna 4° al S de Marte
- 18 Luna en apogeo
- 19 Cuarto creciente
- 19 Flora 0,9 al S de la Luna (Ocultación)
- 20 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 20 Venus en afelio
- 22 Amphitrite en oposición
- 27 Luna llena

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta		Declin.		Magnitud
	(h	m)	(°	')	
Mercurio	20	59,1	-13	38	2,1
Venus	21	18,4	-16	49	-3,8
Marte	3	9,5	19	8	0,7
Júpiter	21	4,0	-17	20	-1,8
Saturno	20	37,7	-18	58	0,7



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

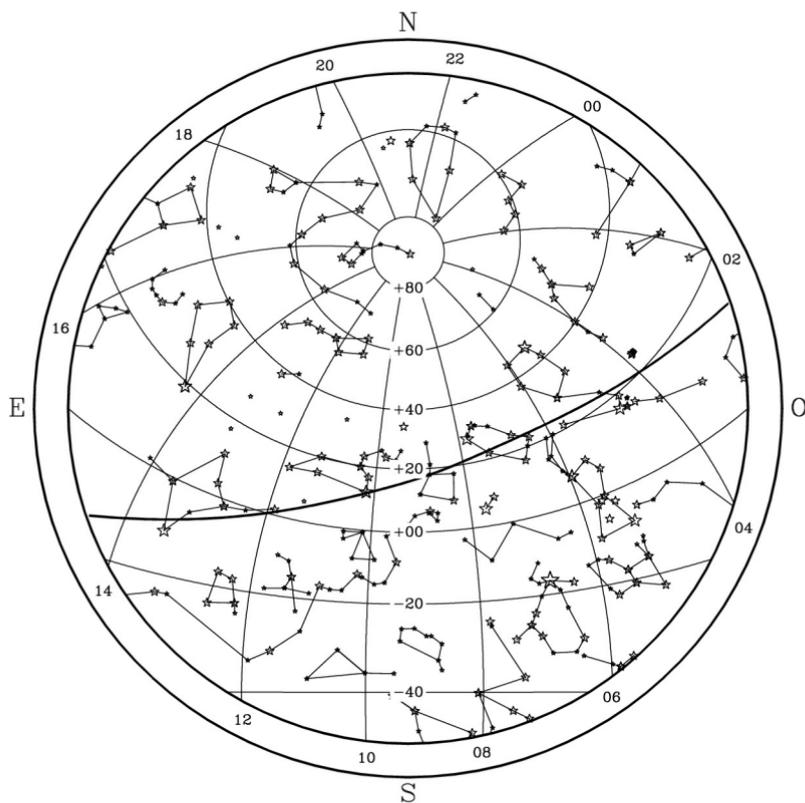
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

**Marzo 2021**

- 2 Luna en perigeo
- 3 Marte 3° al S de Alción
- 4 Vesta en oposición
- 5 La Luna 0°,1 al N de Graffias (Ocultación)
- 5 Mercurio 0°,3 al N de Júpiter
- 6 Cuarto menguante
- 6 Máxima elongación Oeste de Mercurio ( 27°,3 )
- 7 Iris en conjunción con el Sol
- 8 La Luna 1°,2 al N de Nunki (Ocultación)
- 9 La Luna 4° al S de Saturno
- 10 La Luna 4° al S de Júpiter
- 11 La Luna 4° al S de Mercurio
- 11 Neptuno en conjunción con el Sol
- 13 Luna nueva
- 14 Mercurio en afelio
- 17 La Luna 3° al S de Urano
- 18 Luna en apogeo
- 19 Flora 0°,9 al S de la Luna (Ocultación)
- 19 La Luna 2° al S de Marte
- 20 Venus en perihelio
- 21 Cuarto creciente
- 23 Marte 7° al N de Aldebarán
- 26 Venus en conjunción superior con el Sol
- 27 Mercurio en afelio
- 28 Luna llena
- 29 Mercurio 1°,4 al S de Neptuno
- 30 Luna en perigeo

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Declin. (°   ')	Magnitud
Mercurio	22    6,0	-13    25	0,1
Venus	23    32,1	- 4    35	-3,8
Marte	4    16,8	22    49	1,1
Júpiter	21    29,3	-15    29	-1,9
Saturno	20    49,9	-18    14	0,8



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

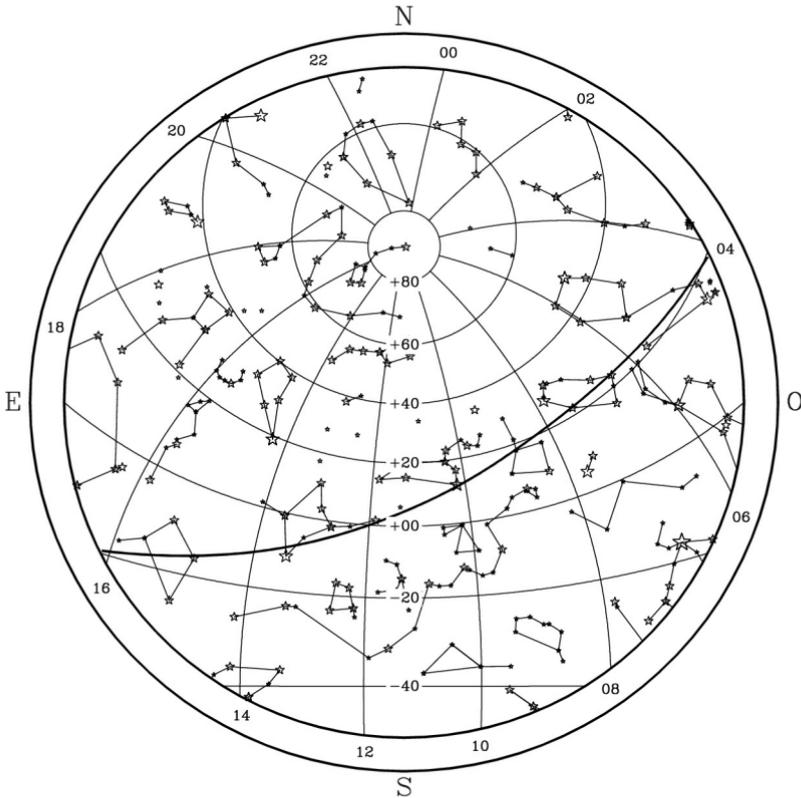
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

**Abril 2021**

- 1 La Luna 0°0 al S de Graffias (Ocultación)
- 4 Cuarto menguante
- 4 La Luna 1°0 al N de Nunki (Ocultación)
- 4 Metis en oposición
- 6 La Luna 4° al S de Saturno
- 7 Ceres en conjunción con el Sol
- 7 La Luna 4° al S de Júpiter
- 9 La Luna 4° al S de Neptuno
- 11 Marte 4° al S de Elnath
- 12 Juno estacionario en ascensión recta
- 12 Luna nueva
- 13 La Luna 3° al S de Urano
- 14 Luna en apogeo
- 17 Flora 1°4 al S de la Luna
- 17 La Luna 0°3 al S de Marte (Ocultación)
- 19 Brillo máximo de Mercurio
- 19 Mercurio en conjunción superior con el Sol
- 20 Cuarto creciente
- 22 Máximo de las Líridas
- 22 Vesta estacionario en ascensión recta
- 25 Metis 2° al N de la Luna
- 27 Luna en perigeo
- 27 Luna llena
- 27 Mercurio en perihelio
- 28 La Luna 0°3 al S de Graffias (Ocultación)
- 28 Plutón estacionario en ascensión recta
- 30 Masalia en conjunción con el Sol (Ocultación)
- 30 Urano en conjunción con el Sol

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta		Declin.		Magnitud
	(h	m)	(°	')	
Mercurio	1	18,5	7	0	-1,7
Venus	1	54,1	10	43	-3,8
Marte	5	37,4	24	49	1,4
Júpiter	21	53,3	-13	34	-2,0
Saturno	20	59,9	-17	37	0,8



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

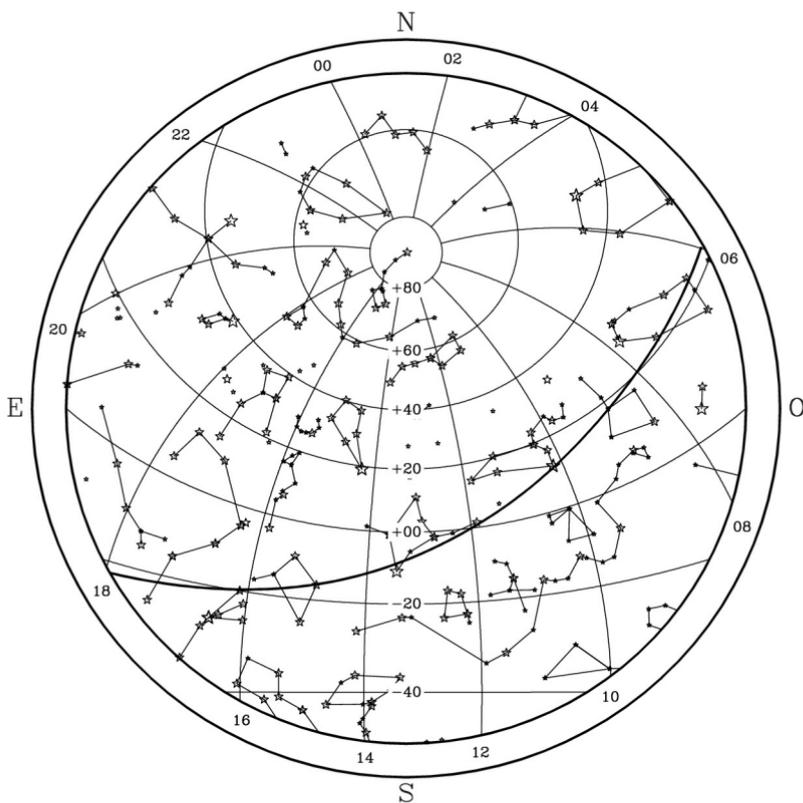
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

### Mayo 2021

- 1 La Luna 0°;9 al N de Nunki (Ocultación)
- 3 Cuarto menguante
- 3 La Luna 4° al S de Saturno
- 4 La Luna 5° al S de Júpiter
- 4 Mercurio 2° al S de Alcíone
- 6 La Luna 4° al S de Neptuno
- 6 Máximo de las  $\eta$  Acuáridas
- 8 Venus 4° al S de Alcíone
- 10 Mercurio en perihelio
- 11 Luna en apogeo
- 11 Luna nueva
- 11 Mercurio 8° al N de Aldebarán
- 12 La Luna 0°;7 al S de Venus (Ocultación)
- 13 La Luna 2° al S de Mercurio
- 15 Flora 2° al S de la Luna
- 16 La Luna 1°;4 al N de Marte
- 17 Máxima elongación Este de Mercurio ( 22°0 )
- 17 Venus 6° al N de Aldebarán
- 19 Cuarto creciente
- 22 Mercurio 4° al S de Elnath
- 22 Metis 0°;6 al N de la Luna (Ocultación)
- 23 Saturno estacionario en ascensión recta
- 26 La Luna 0°;2 al S de Graffias (Ocultación)
- 26 Luna en perigeo
- 26 Luna llena
- 26 Eclipse total de Luna
- 27 Venus 5° al S de Elnath
- 28 La Luna 0°;7 al N de Nunki (Ocultación)
- 29 Mercurio 0°;4 al S de Venus
- 30 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 31 La Luna 4° al S de Saturno

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Declin. ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	Magnitud
Mercurio	4 58,5	25 8	0,3
Venus	4 21,7	21 44	-3,8
Marte	6 57,5	24 12	1,6
Júpiter	22 10,0	-12 11	-2,2
Saturno	21 4,4	-17 22	0,7



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

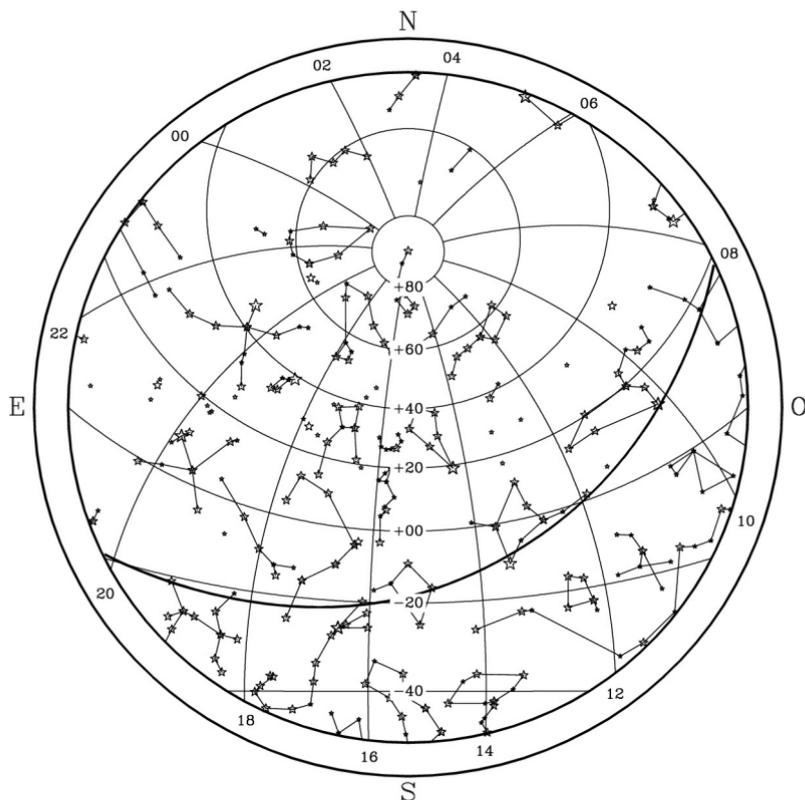
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

**Junio 2021**

- 1 La Luna 5° al S de Júpiter
- 2 Cuarto menguante
- 2 Marte 5° al S de Pólux
- 3 La Luna 4° al S de Neptuno
- 6 Juno en oposición
- 7 La Luna 2° al S de Urano
- 8 Luna en apogeo
- 10 Eclipse anular de Sol
- 10 Luna nueva
- 10 Mercurio en afelio y en conjunción inferior con el Sol
- 11 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
- 12 Flora 2° al S de la Luna
- 12 La Luna 1°3 al N de Venus
- 12 Venus en perihelio
- 13 La Luna 3° al N de Marte
- 16 Fortuna en conjunción con el Sol
- 17 Vesta 2° al N de la Luna
- 18 Cuarto creciente
- 18 Eros en oposición
- 19 Metis 0°8 al S de la Luna (Ocultación)
- 20 Astrea en oposición
- 21 Júpiter estacionario en ascensión recta
- 22 La Luna 0°2 al S de Graffias (Ocultación)
- 22 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 22 Partenope en conjunción con el Sol
- 22 Venus 5° al S de Pólux
- 23 Luna en perigeo
- 23 Mercurio en afelio
- 24 Flora 0°4 al S de Venus
- 24 Luna llena
- 25 La Luna 0°9 al N de Nunki (Ocultación)
- 26 Neptuno estacionario en ascensión recta
- 27 La Luna 4° al S de Saturno
- 28 La Luna 4° al S de Júpiter
- 30 La Luna 4° al S de Neptuno

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta		Declin.		Magnitud
	(h	m)	(°	')	
Mercurio	5	10,4	19	0	4,3
Venus	7	6,6	23	54	-3,8
Marte	8	18,8	20	58	1,8
Júpiter	22	17,9	-11	35	-2,4
Saturno	21	3,1	-17	32	0,5



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

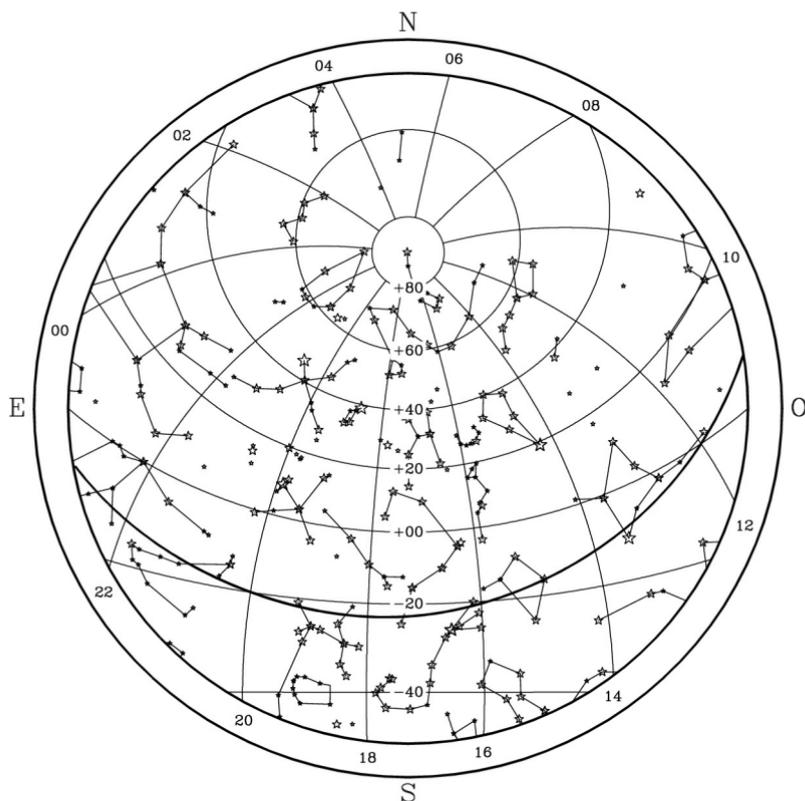
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

**Julio 2021**

- 1 Cuarto menguante
- 3 Euterpe en oposición
- 4 La Luna 2° al S de Urano
- 4 Máxima elongación Oeste de Mercurio ( 21°6 )
- 5 Luna en apogeo
- 5 Mercurio 8° al S de Elnath
- 8 La Luna 4° al N de Mercurio
- 10 Luna nueva
- 10 Venus en afelio
- 11 Flora 3° al S de la Luna
- 12 La Luna 3° al N de Venus
- 12 La Luna 4° al N de Marte
- 13 Marte en afelio
- 13 Venus 0°5 al N de Marte
- 15 Vesta 2° al N de la Luna
- 16 Metis 1° al S de la Luna
- 17 Cuarto creciente
- 17 Hebe en oposición
- 18 Palas estacionario en ascensión recta
- 20 La Luna 0°4 al S de Graffias (Ocultación)
- 21 Luna en perigeo
- 21 Venus 1°2 al N de Régulo
- 22 La Luna 0°8 al N de Nunki (Ocultación)
- 24 La Luna 4° al S de Saturno
- 24 Luna llena
- 24 Mercurio en perihelio
- 26 La Luna 4° al S de Júpiter
- 27 La Luna 4° al S de Neptuno
- 27 Psyche en conjunción con el Sol
- 29 Marte 0°7 al N de Régulo
- 30 Máximo de las  $\delta$  Acuáridas
- 30 Victoria en oposición
- 31 Cuarto menguante

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Declin. (°   ')	Magnitud
Mercurio	6    20,8	22    26	-0,6
Venus	9    37,9	15    53	-3,8
Marte	9    34,0	15    42	1,8
Júpiter	22    14,7	-12    2	-2,6
Saturno	20    56,7	-18    3	0,3



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

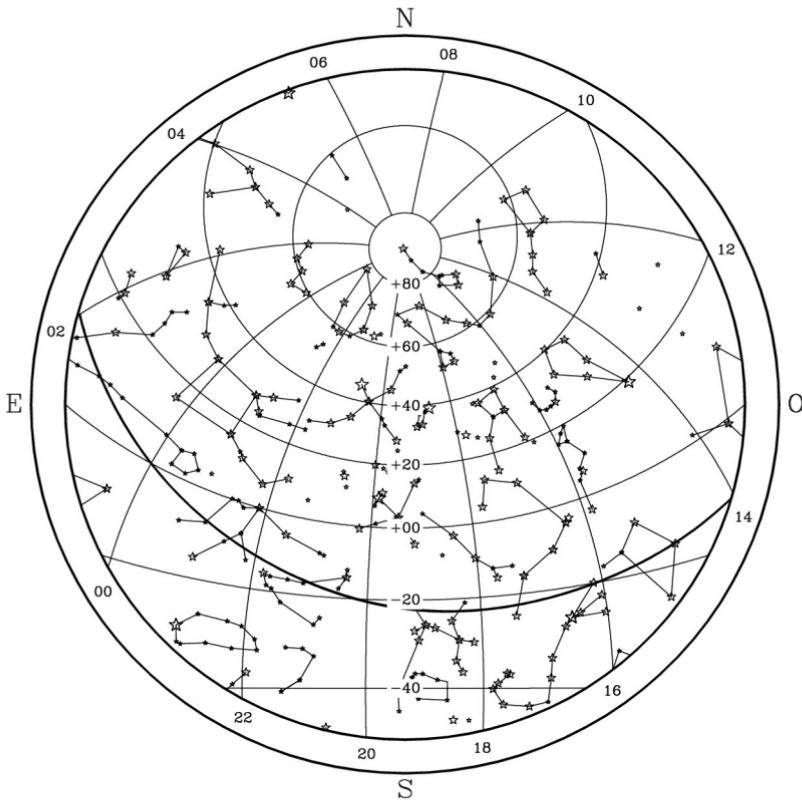
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

**Agosto 2021**

- 1 Brillo máximo de Mercurio
- 1 La Luna 2° al S de Urano
- 1 Mercurio en conjunción superior con el Sol
- 2 Luna en apogeo
- 2 Saturno en oposición
- 3 Iris 2° al N de la Luna
- 3 Marte en perihelio
- 4 Juno estacionario en ascensión recta
- 6 Mercurio en perihelio
- 8 Luna nueva
- 9 Laetitia en conjunción con el Sol
- 10 La Luna 4° al N de Marte
- 11 La Luna 4° al N de Venus
- 11 Mercurio 1°2 al N de Régulo
- 12 Máximo de las Perséidas
- 12 Vesta 1° al N de la Luna
- 13 Metis 2° al S de la Luna
- 15 Cuarto creciente
- 15 Flora en conjunción con el Sol
- 16 La Luna 0°5 al S de Graffias (Ocultación)
- 17 Luna en perigeo
- 19 La Luna 0°7 al N de Nunki (Ocultación)
- 19 Mercurio 0°1 al S de Marte
- 20 Júpiter en oposición
- 20 La Luna 4° al S de Saturno
- 20 Urano estacionario en ascensión recta
- 22 La Luna 4° al S de Júpiter
- 22 Luna llena
- 24 La Luna 4° al S de Neptuno
- 28 La Luna 2° al S de Urano
- 30 Cuarto menguante
- 30 Luna en apogeo

**Coordenadas para el día 15**

Planeta	Asc.recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup>	m)	( <sup>°</sup>	' )	
Mercurio	10	31,7	10	40	-0,6
Venus	11	56,1	1	16	-3,9
Marte	10	48,3	8	41	1,8
Júpiter	22	1,9	-13	19	-2,7
Saturno	20	47,6	-18	42	0,2



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

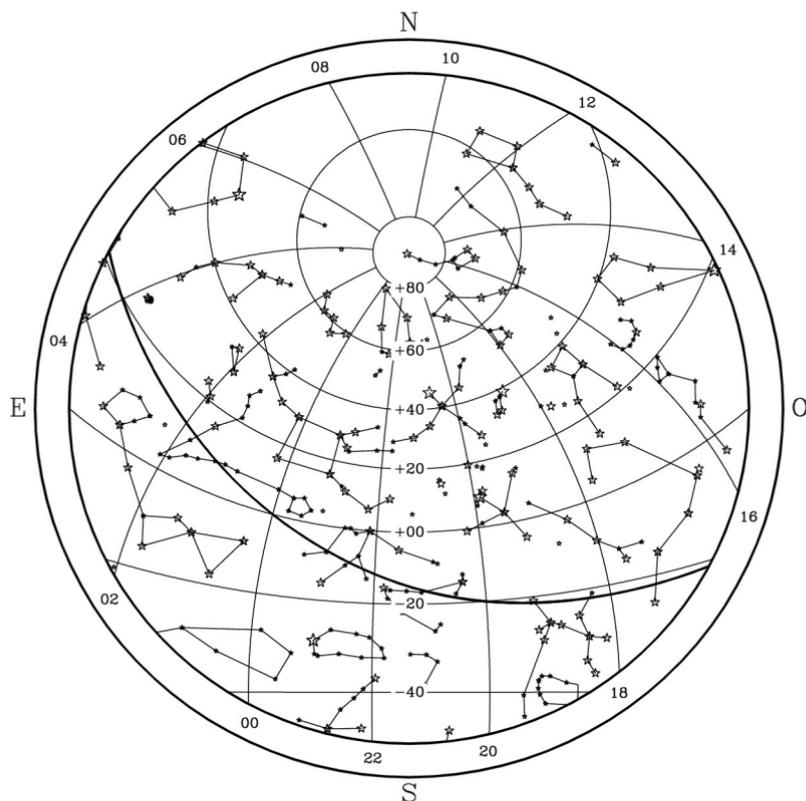
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Setiembre 2021

- 1 Iris 0°,5 al S de la Luna (Ocultación)
- 5 Venus 2° al N de Espiga
- 6 Egeria en conjunción con el Sol
- 6 Flora 3° al S de la Luna
- 6 Mercurio en afelio
- 7 Luna nueva
- 8 La Luna 7° al N de Mercurio
- 9 Vesta 2° al N de la Luna
- 10 La Luna 4° al N de Venus
- 10 Metis 1°,3 al S de la Luna
- 11 Luna en perigeo
- 11 Palas en oposición
- 12 Eunomia en conjunción con el Sol
- 12 La Luna 0°,8 al S de Graffias (Ocultación)
- 13 Cuarto creciente
- 13 Hygiea en conjunción con el Sol
- 14 Máxima elongación Este de Mercurio ( 26°,8 )
- 14 Neptuno en oposición
- 15 La Luna 0°,5 al N de Nunki (Ocultación)
- 17 La Luna 4° al S de Saturno
- 18 La Luna 4° al S de Júpiter
- 18 Metis 3° al N de Venus
- 19 Mercurio en afelio
- 20 La Luna 4° al S de Neptuno
- 20 Luna llena
- 23 Mercurio 2° al S de Espiga
- 24 La Luna 1°,4 al S de Urano
- 24 Venus 2° al S de Zuben el Genubi
- 26 Luna en apogeo
- 26 Melpomene en conjunción con el Sol
- 27 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 29 Cuarto menguante
- 29 Iris 3° al S de la Luna
- 30 Mercurio 2° al S de Espiga

## Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )		Declin. (°   ')		Magnitud
Mercurio	13	5,9	- 9	58	0,3
Venus	14	8,4	-14	9	-4,0
Marte	12	1,3	0	45	1,7
Júpiter	21	47,3	-14	37	-2,7
Saturno	20	40,2	-19	12	0,4



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

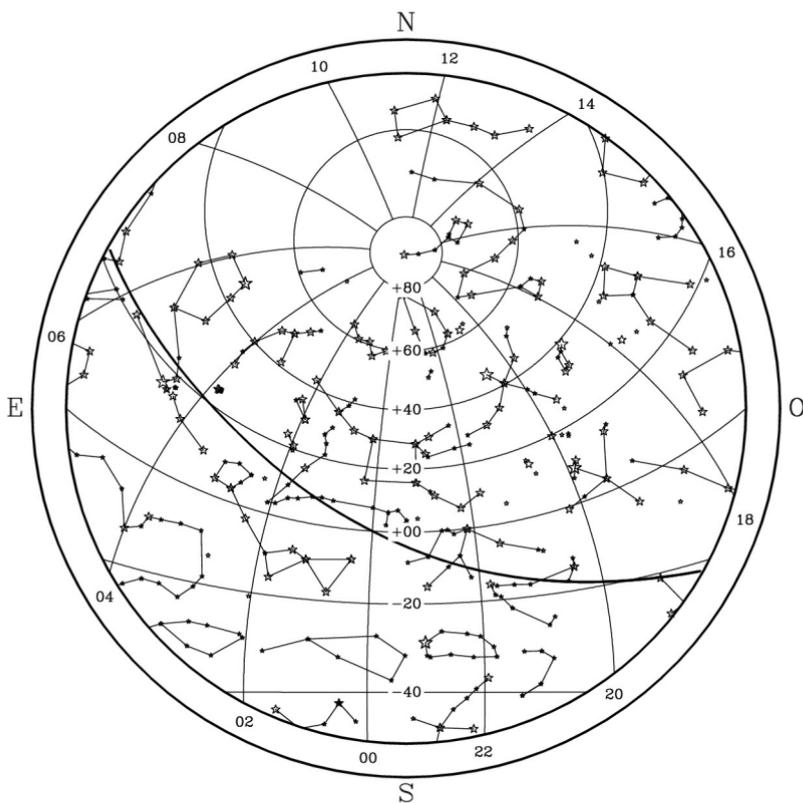
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

### Octubre 2021

- 1 Harmonia en oposición
- 3 Venus en afelio
- 4 Flora 2° al S de la Luna
- 6 Luna nueva
- 6 Plutón estacionario en ascensión recta
- 8 Luna en perigeo y Marte en conjunción con el Sol
- 8 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
- 8 Máximo de las Dracónidas
- 8 Metis 0°7 al S de la Luna (Ocultación)
- 8 Vesta 2° al N de la Luna
- 9 Brillo máximo de Marte
- 9 La Luna 1°,1 al S de Graffias (Ocultación)
- 9 La Luna 3° al N de Venus
- 9 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
- 11 Saturno estacionario en ascensión recta
- 11 Venus 4° al S de Graffias
- 12 La Luna 0°,3 al N de Nunki (Ocultación)
- 13 Cuarto creciente y Hebe 3° al N de la Luna
- 14 La Luna 4° al S de Saturno
- 15 La Luna 4° al S de Júpiter
- 16 Venus 1° al N de Antares
- 17 La Luna 4° al S de Neptuno
- 18 Júpiter y Mercurio estacionarios en ascensión recta
- 19 Mercurio en perihelio
- 20 Luna llena
- 21 Amphitrite en conjunción con el Sol
- 21 La Luna 1°,4 al S de Urano
- 21 Máximo de las Oriónidas
- 24 Luna en apogeo
- 25 Máxima elongación Oeste de Mercurio ( 18°,4 )
- 28 Cuarto menguante
- 28 Irene en conjunción con el Sol
- 29 Máxima elongación Este de Venus ( 47°,9 )
- 30 Venus en perihelio
- 31 Palas estacionario en ascensión recta

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Declin. (°   ')	Magnitud
Mercurio	12 41,5	- 4 35	2,2
Venus	16 23,5	-24 40	-4,2
Marte	13 13,3	- 7 7	1,6
Júpiter	21 40,4	-15 9	-2,5
Saturno	20 38,0	-19 20	0,5



Aspecto del cielo tras anoecer, 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

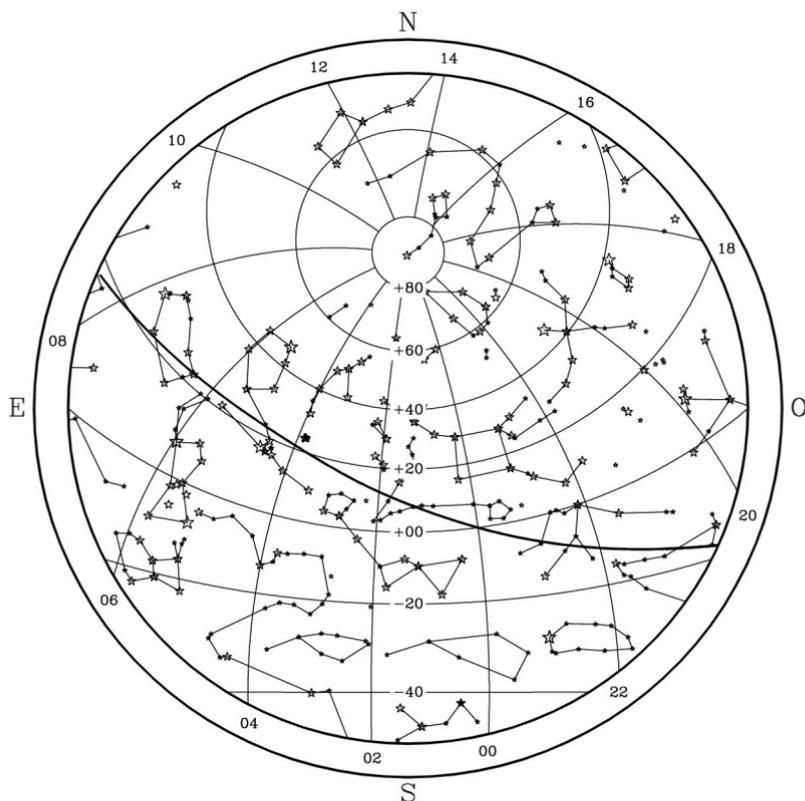
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

### Noviembre 2021

- 1 Flora 1°1 al S de la Luna (Ocultación)
- 1 Mercurio 4° al N de Espiga
- 2 Mercurio en perihelio
- 3 La Luna 1°3 al N de Mercurio (Ocultación)
- 4 Luna nueva
- 4 Urano en oposición
- 5 Luna en perigeo
- 5 Metis 0°0 al N de la Luna (Ocultación)
- 5 Vesta 3° al N de la Luna
- 6 La Luna 1°0 al S de Graffias (Ocultación)
- 8 La Luna 0°1 al N de Nunki (Ocultación)
- 8 La Luna 1°3 al N de Venus (Ocultación)
- 10 Hebe 1°2 al N de la Luna (Ocultación)
- 10 La Luna 4° al S de Saturno
- 11 Cuarto creciente
- 11 La Luna 4° al S de Júpiter
- 12 Pallas 2° al N de la Luna
- 13 La Luna 4° al S de Neptuno
- 17 Máximo de las Leónidas
- 18 La Luna 1° al S de Urano
- 19 Eclipse parcial de Luna
- 19 Luna llena
- 19 Venus 0°2 al S de Nunki
- 21 Luna en apogeo
- 27 Ceres en oposición
- 27 Cuarto menguante
- 28 Brillo máximo de Mercurio
- 28 Vesta en conjunción con el Sol
- 29 Mercurio en conjunción superior con el Sol
- 30 Flora 0°4 al N de la Luna (Ocultación)
- 30 Metis en conjunción con el Sol (Ocultación)

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup>	m)	( <sup>°</sup>	' )	
Mercurio	14	49,5	-15	23	-0,9
Venus	18	38,8	-26	55	-4,4
Marte	14	32,4	-14	37	1,6
Júpiter	21	45,2	-14	41	-2,3
Saturno	20	42,1	-19	5	0,7



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

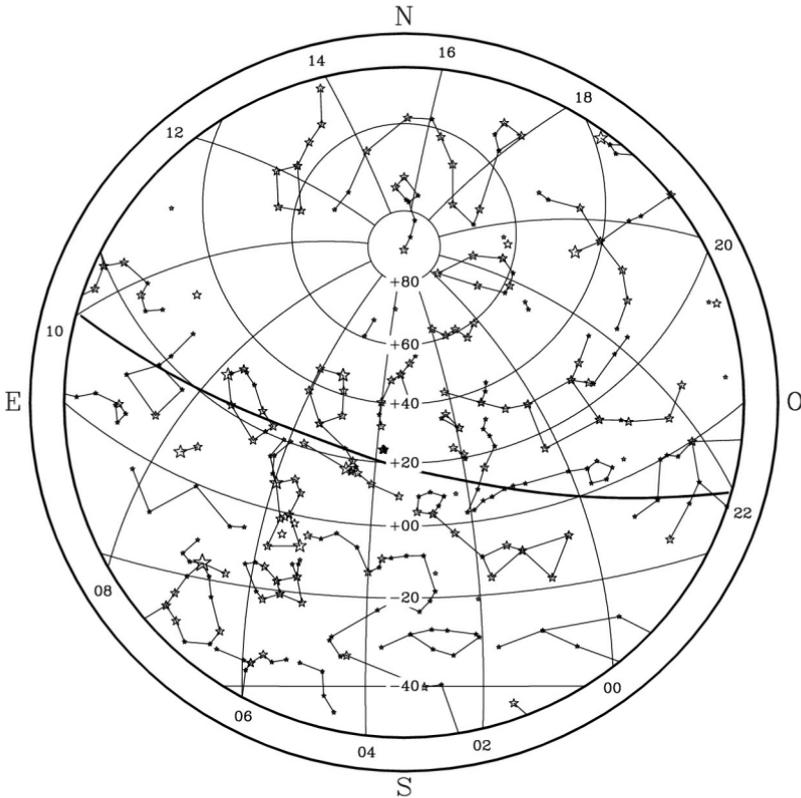
En la figura se representan paralelos de declinación y, con un trazo más grueso, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

### Diciembre 2021

- 1 Neptuno estacionario en ascensión recta
- 2 Mercurio en afelio
- 3 La Luna 0°8 al N de Marte (Ocultación)
- 4 Eclipse total de Sol
- 4 La Luna 0°2 al N de Mercurio (Ocultación)
- 4 Luna nueva y Luna en perigeo
- 6 La Luna 0°2 al N de Nunki (Ocultación)
- 7 La Luna 2° al S de Venus
- 8 Hebe 0°2 al S de la Luna (Ocultación)
- 8 La Luna 4° al S de Saturno
- 9 Brillo máximo de Venus
- 9 La Luna 4° al S de Júpiter
- 10 Pallas 0°6 al S de la Luna (Ocultación)
- 11 Cuarto creciente y Luna 4° al S de Neptuno
- 11 Venus 0°1 al N de Plutón
- 14 Máximo de las Gemínidas
- 15 La Luna 2° al S de Urano
- 16 Mercurio en afelio
- 18 Luna en apogeo
- 18 Marte 1°0 al S de Graffias
- 18 Venus estacionario en ascensión recta
- 19 Luna llena
- 21 Mercurio 1°2 al N de Nunki
- 22 Máximo de las Úrsidas
- 23 Venus 3° al N de Plutón
- 25 Astraea 0°2 al N de Venus
- 26 Marte 5° al N de Antares
- 27 Cuarto menguante
- 28 Flora 2° al N de la Luna
- 29 La Luna 1°2 al N de Zuben el Genubi (Ocultación)
- 29 Mercurio 4° al S de Venus
- 30 Mercurio 0°2 al S de Plutón
- 31 La Luna 0°8 al S de Marte (Ocultación)
- 31 La Luna 1°1 al S de Graffias (Ocultación)
- 31 Mercurio en afelio

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc.recta ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Declin. ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	Magnitud
Mercurio	18 8,7	-25 26	-0,7
Venus	19 53,3	-21 59	-4,5
Marte	15 55,9	-20 20	1,6
Júpiter	22 0,1	-13 18	-2,1
Saturno	20 51,4	-18 29	0,7



Aspecto del cielo tras anoecer, 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:

Mayo 26	total de Luna
Junio 10	anular de Sol
Noviembre 19	parcial de Luna
Diciembre 4	total de Sol

## Introducción

### Convenios

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

Como en el resto del ANUARIO, la **latitud** se considera positiva al Norte y negativa al Sur del ecuador terrestre, tomando valores entre  $-90^\circ$  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  $-180^\circ$  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). Asimismo, habrá 230 eclipses lunares, 85 de ellos totales, 58 parciales y 87 penumbrales.

## Eclipses de Sol

### Eclipses de Sol en 2021

Se producirán dos eclipses de Sol, uno anular el 10 de junio y otro total el 4 de diciembre. El primero será visible desde España como parcial.

Se describen en detalle en las páginas siguientes.

### Eclipses de Sol durante el año próximo

En 2022 habrá dos eclipses parciales de Sol. el primero el día 30 de abril será visible en Pacífico sur y el sur de Sudamérica, alcanzando una magnitud de 0,64. El segundo el día 25 de octubre será visible en Europa, norte de África y Asia oriental, alcanzará una magnitud de 0,86. El segundo de ellos será visible en el noroeste de España.

### 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 2021

Se producirán dos eclipses de Luna, uno total el 26 de mayo y otro parcial el 19 de noviembre.

En España será visible las primeras fases del segundo eclipse.

Se describen en detalle en las páginas siguientes.

### Eclipses de Luna durante el año próximo

En 2022 habrá dos eclipses totales de Luna. Uno el 16 de mayo, que será visible en el este de América, Europa y África. Y otro 8 de noviembre que será visible en Asia, Oceanía, Pacífico y América. En España será visible el primer eclipse.

### Magnitud

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

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

## Eclipse anular de Sol del día 10 de junio (Saros 147)

Este eclipse anular es el número 23 de los 80 eclipses del ciclo Saros 147 y será visible como parcial desde España.

El eclipse será visible como parcial en el norte de Norteamérica, Europa y Asia. Se iniciará a las 8<sup>h</sup>12<sup>m</sup> TU (Tiempo Universal) a una latitud de 23,5° en el océano Atlántico y terminará a las 13<sup>h</sup>11<sup>m</sup> TU al sureste de Kumul en la región autónoma de Sinkiang (China). La duración total del fenómeno será de 299 minutos (algo menos de 5 horas).

El eclipse anular se iniciará a las 9<sup>h</sup>50<sup>m</sup> al norte de Thunder Bay (Canadá), atravesará Canadá por las provincias de Ontario y Quebec, continuando por las islas de Baffin y Ellesmere en el territorio autónomo de Nunavut, se adentrará en el norte de Groenlandia (Dinamarca), cruzará el Ártico y se internará en Rusia por el distrito federal del Lejano Oriente. El eclipse anular finalizará a las 11<sup>h</sup>34<sup>m</sup> al este de Seimchán (Rusia).

El máximo del eclipse anular se dará a las 10<sup>h</sup>42<sup>m</sup> en el canal Kenedy, entre la isla de Ellesmere y Groenlandia. La duración del eclipse anular en el máximo será de 3 min 51 s. En Attawapiskat (Canadá) la duración de la anularidad será de 3 min 29 s, en Pituffik (Dinamarca) 3 min 49 s, y en Seimchán (Rusia) 2 min 45 s.

En España el eclipse tendrá mayor magnitud en el noroeste de la península (0,2) y menor en el sureste de la península, las islas Baleares y las Canarias (0,02). En Madrid el eclipse se iniciará a las 9<sup>h</sup>1<sup>m</sup> TU y finalizará a las 10<sup>h</sup>29<sup>m</sup> TU, siendo su duración total de 88 minutos (algo menos de una hora y media). El máximo del eclipse parcial se dará a las 9<sup>h</sup>43<sup>m</sup> momento en que la magnitud del eclipse será 0,12.

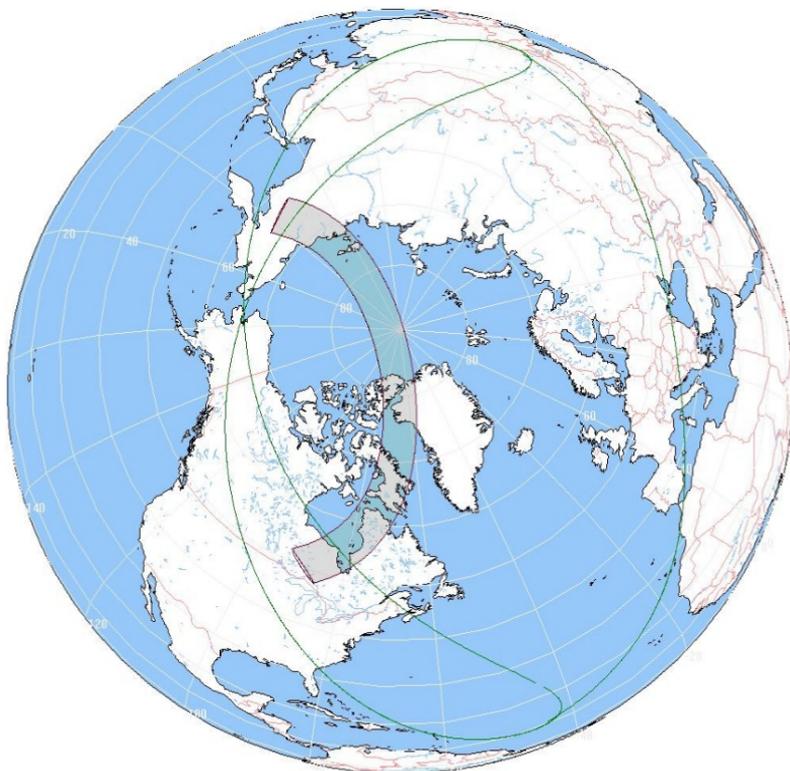
### Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	8 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	23°38'	-43°56'
Inicio del eclipse anular	9 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	50°10'	-89°32'
Máximo del eclipse	10 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	80°49'	-66°48'
Conjunción en Asc. Recta	11 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	87°14'	-162°40'
Fin del eclipse anular	11 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	63°34'	156°34'
Fin del eclipse general	13 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	41°27'	94°07'

### Características del eclipse en el máximo

Duración de la fase anular	3 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup>
Anchura de la sombra	527 km
Razón entre el radio topocéntrico de la Luna y el del Sol	94,4%
Magnitud del eclipse anular	0,944
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	0,915
Altura del Sol	23°

Eclipse anular de 10 de junio de 2021



## Eclipse total de Sol del día 4 de diciembre (Saros 152)

Este eclipse total es el número 13 de los 70 eclipses del ciclo Saros 152 y no será visible en España.

El eclipse parcial será visible en la Antártida y el sur de África. El eclipse se iniciará a las 5<sup>h</sup>29<sup>m</sup> TU (Tiempo Universal) a una latitud de  $-23^\circ$  en el océano Atlántico sur y el fin del eclipse se producirá a las 9<sup>h</sup>37<sup>m</sup> TU a una latitud de  $-46^\circ$  al sur de Tasmania Australia La duración total del fenómeno será de 248 minutos (algo más de 4 horas).

El eclipse total se iniciará a las 7<sup>h</sup>0<sup>m</sup> a una latitud de  $-53^\circ$  en un punto del océano en un punto del océano Atlántico al este de las islas Malvinas (Reino Unido), cruzará el mar de Weddel y el oeste de la Antártida y finalizará en el océano Antártico. El eclipse terminará a las 8<sup>h</sup>6<sup>m</sup> a una latitud de  $-67^\circ$  en un punto del océano Antártico frente a la Barrera de hielos Gezt (Antartida). La duración total del fenómeno será de 66 minutos (algo más de 1 hora).

El máximo del eclipse se dará a las 7<sup>h</sup>33<sup>m</sup> en el mar de Weddel frente a las costas de la isla Berkner, siendo la duración máxima de la totalidad de 1 min 54 s. En el máximo la anchura de la sombra será de unos 418 km.

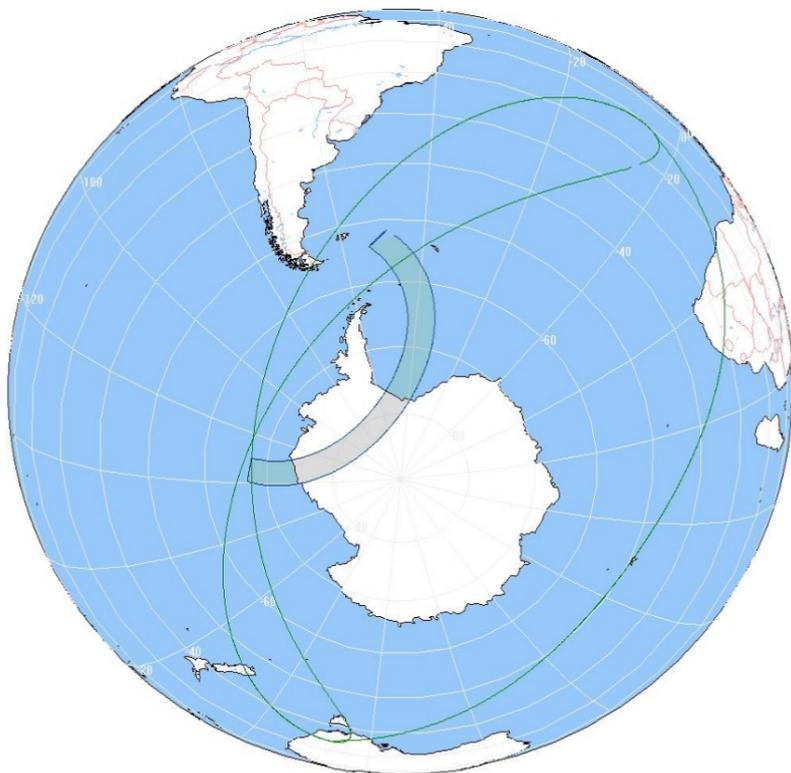
### Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	5 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	$-23^\circ 19'$	$-4^\circ 56'$
Inicio del eclipse total	7 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	$-53^\circ 04'$	$-51^\circ 11'$
Máximo del eclipse	7 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	$-76^\circ 47'$	$-46^\circ 12'$
Conjunción en Asc. Recta	7 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	$-79^\circ 08'$	$-120^\circ 57'$
Fin del eclipse total	8 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	$-67^\circ 22'$	$-134^\circ 14'$
Fin del eclipse general	9 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	$-46^\circ 24'$	$148^\circ 40'$

### Características del eclipse en el máximo

Duración de la fase total	1 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>
Anchura de la sombra	418 km
Razón entre el radio topocéntrico de la Luna y el del Sol	103,7%
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radio terrestres)	-0,95
Altura del Sol	$17^\circ$

Eclipse total de 4 de diciembre de 2021



## Eclipse total de Luna del día 26 de mayo (Saros 121)

Este eclipse total es el número 56 de los 84 eclipses del ciclo Saros 121 y no será visible en España.

El inicio del eclipse de penumbra tendrá lugar a las 8<sup>h</sup>48<sup>m</sup> de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva discontinua etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde al este de Oceanía, el Pacífico y América. El eclipse parcial (**iS**) es visible a partir de las 9<sup>h</sup>45<sup>m</sup> y el eclipse total (**iT**) a partir de las 11<sup>h</sup>11<sup>m</sup>. Este será visible en el este de Asia, Oceanía, Pacífico y el oeste de América. El eclipse total (**fT**) finaliza a las 11<sup>h</sup>26<sup>m</sup>, el de sombra (**fS**) a las 12<sup>h</sup>52<sup>m</sup> y el de penumbra a las 13<sup>h</sup>50<sup>m</sup> TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en el este de Asia, Oceanía y el Pacífico según delimita la curva **fP**.

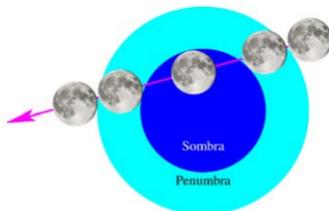
Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	08 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	-20° 18'	-134° 08'	124°
Primer contacto con la sombra	09 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	-20° 28'	-147° 49'	134°
Inicio de la totalidad	11 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	-20° 43'	-168° 25'	186°
Máximo del eclipse	11 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	-20° 44'	-170° 12'	194°
Fin de la totalidad	11 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	-20° 45'	-171° 59'	203°
Ultimo contacto con la sombra	12 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	-21° 00'	167° 26'	257°
Ultimo contacto con la penumbra	13 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	-21° 09'	153° 45'	267°
Duración del eclipse penumbral	5 <sup>h</sup> 2 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse parcial	3 <sup>h</sup> 7 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse total	0 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>			
Magnitud del eclipse de penumbra	1,95			
Magnitud del eclipse de sombra	1,01			

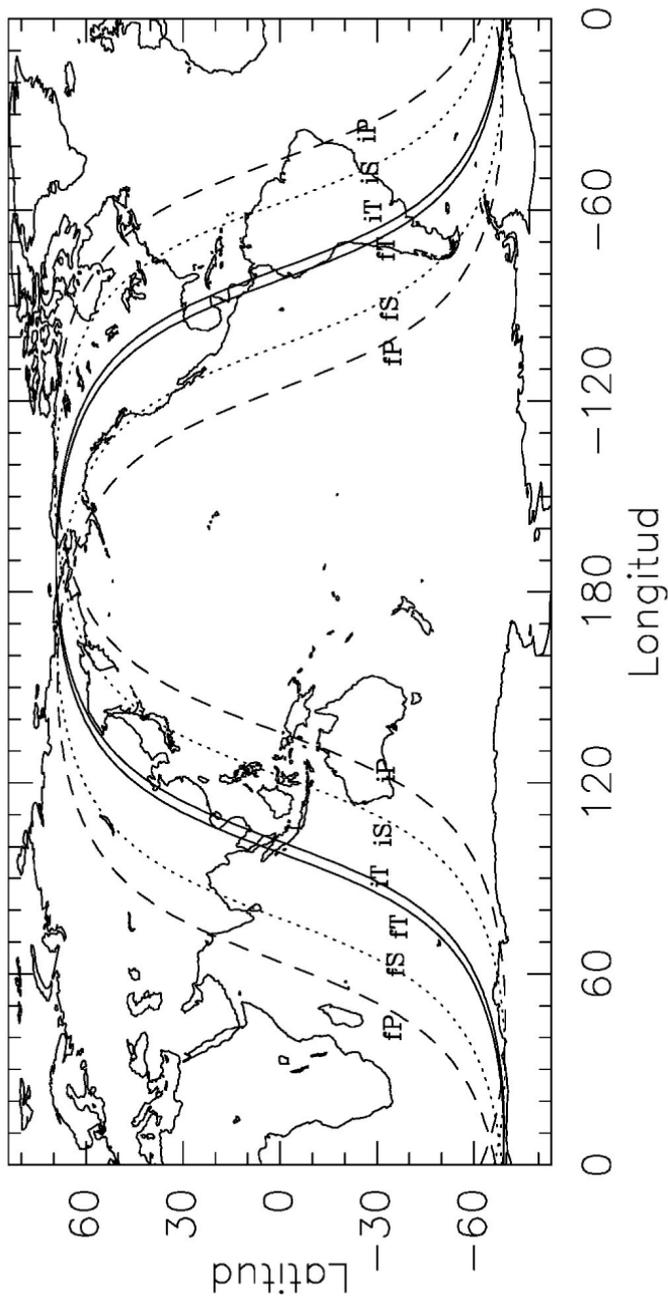
A.P. es el ángulo de posición medido en el sentido NESO.

Características del eclipse en el máximo

Fracción de diámetro lunar inmersa en la penumbra	195%
Fracción de diámetro lunar inmersa en la sombra	101%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	0,48



Eclipse total de Luna del día 26 de mayo de 2021



## Eclipse parcial de Luna del día 19 de noviembre (Saros 126)

Este eclipse es el número 46 de los 72 eclipses del ciclo Saros 126 y sus primeras fases serán visibles en España al amanecer.

El inicio del eclipse de penumbra tendrá lugar a las 6<sup>h</sup>4<sup>m</sup> de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva discontinua etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde a América y el oeste de Europa y África. El eclipse parcial (**iS**) es visible a partir de las 7<sup>h</sup>20<sup>m</sup> y finaliza (**fS**) a las 10<sup>h</sup>47<sup>m</sup>, será visible en el este de Asia, Oceanía, América y el extremo occidental de Europa; El eclipse terminará a las 12<sup>h</sup>3<sup>m</sup> TU. Habrá sido visible en sus últimas fases en Asia, Oceanía y Norteamérica según delimita la curva **fP**.

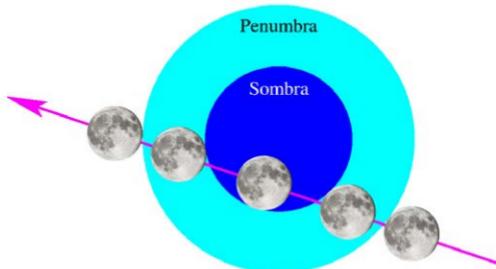
Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	06 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	18°41'	-95°51'	54°
Primer contacto con la sombra	07 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	18°53'	-114°19'	43°
Máximo del eclipse	09 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	19°09'	-139°23'	342°
Ultimo contacto con la sombra	10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	19°25'	-164°28'	279°
Ultimo contacto con la penumbra	12 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	19°37'	177°05'	268°
Duración del eclipse penumbral	5 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse parcial	3 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>			
Magnitud del eclipse de penumbra	2,07			
Magnitud del eclipse de sombra	0,97			

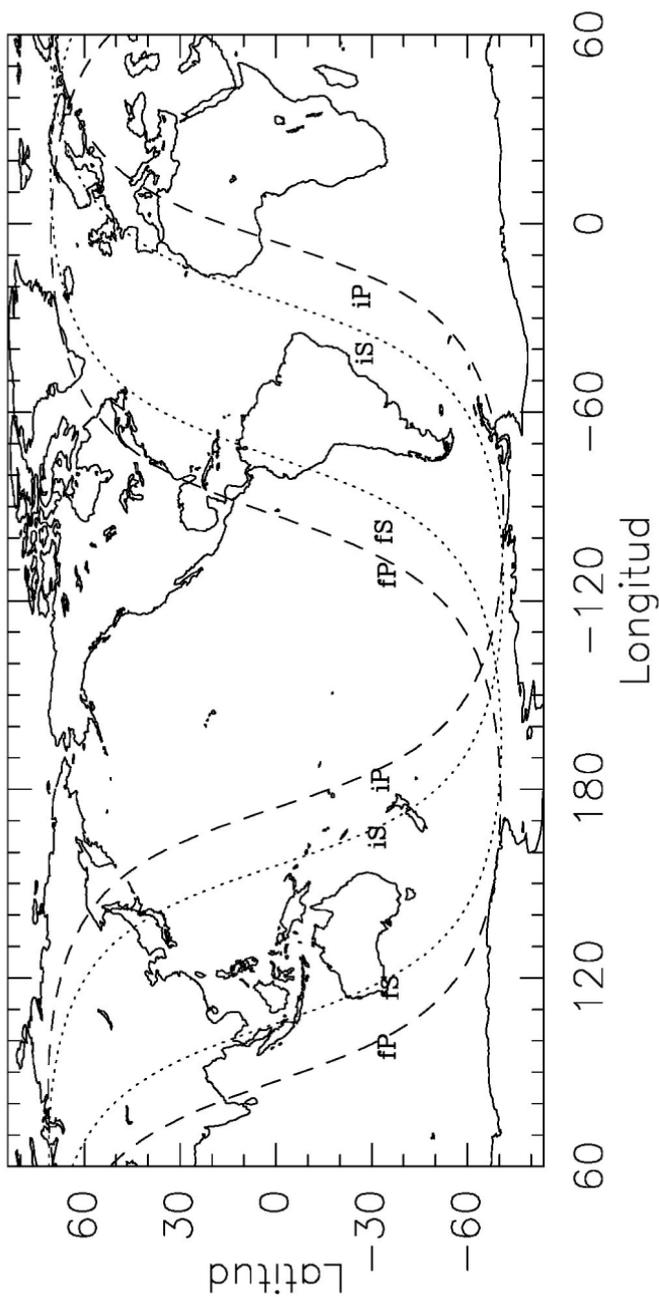
A.P. es el ángulo de posición medido en el sentido NESO.

Características del eclipse en el máximo

Fracción de diámetro lunar inmersa en la penumbra	207%
Fracción de diámetro lunar inmersa en la sombra	97%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	0,45



## Eclipse parcial de Luna del día 19 de noviembre de 2021



## 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 varía 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 inicio y el fin del contacto con la penumbra. 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 inicio y el fin del contacto con la sombra. 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 inicio y el fin del eclipse total.

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 ( <sup>m s</sup> )	Magnitud	Visibilidad
2021 junio 10	anular	3 51	0,94	Norteamérica, Europa y Asia
2021 diciembre 4	total	1 54	1,04	Antártida y S. África
2022 abril 30	parcial		0,64	SE. Pacífico y S. Sudamérica
2022 octubre 25	parcial		0,86	Europa, NE. África y O. Asia
2023 abril 20	mixto	1 16	1,01	SE. Asia y Australia
2023 octubre 14	anular	5 17	0,95	América
2024 abril 8	total	4 28	1,06	Norteamérica y Centroamérica
2024 octubre 2	anular	7 25	0,93	Pacífico y S. Sudamérica
2025 marzo 29	parcial		0,94	NO. África, Europa, N. Rusia
2025 setiembre 21	parcial		0,86	Pacífico, N. Zelanda y Antártida
2026 febrero 17	anular	2 20	0,93	Sudamérica, África y Antártida
2026 agosto 12	total	2 18	1,04	Norteamérica, África y Europa
2027 febrero 6	anular	7 51	0,93	Sudamérica, África y Antártida
2027 agosto 2	total	6 23	1,08	África, Europa y Asia
2028 enero 26	anular	10 27	0,92	América, O. Europa, O. África
2028 julio 22	total	5 10	1,06	SE Asia y Oceanía
2029 enero 14	parcial		0,87	Norteamérica y Centroamérica
2029 junio 12	parcial		0,46	Ártico
2029 julio 11	parcial		0,23	S Sudamérica
2029 diciembre 05	parcial		0,89	S Sudamérica y Antártida
2030 junio 01	anular	5 21	0,94	Europe, África, Asia y Antártida
2030 noviembre 25	total	3 44	1,05	Asia, Oceanía y Antártida
2031 mayo 21	anular	5 26	0,96	África, Asia y Australia
2031 noviembre 14	híbrido	1 08	1,01	Pacífico y América

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.

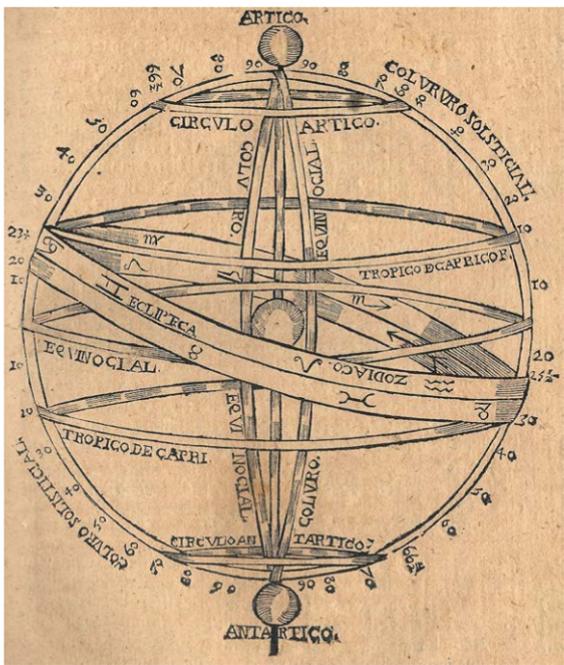
## Eclipses de Luna en los próximos años

Fecha	Tipo	Duración (en min)	Dur. totalidad (en min)	Magnitud
2021 mayo 26	total	187	15	1,01
2021 noviembre 19	parcial	207		0,97
2022 mayo 16	total	207	85	1,41
2022 noviembre 8	total	220	85	1,36
2023 mayo 5	penumbral			
2023 octubre 28	parcial	77		0,12
2024 marzo 25	penumbral			
2024 setiembre 18	parcial	63		0,09
2025 marzo 14	total	218	65	1,18
2025 setiembre 7	total	209	82	1,18
2026 marzo 3	total	207	58	1,15
2026 agosto 28	parcial	198		0,93
2027 febrero 20	penumbral			
2027 julio 18	penumbral			
2027 agosto 17	penumbral			
2028 enero 12	parcial	56		0,07
2028 julio 6	parcial	141		0,40
2028 diciembre 31	total	209	71	1,25
2029 junio 26	total	220	73	1,84
2029 diciembre 20	total	213	66	1,12
2030 junio 15	parcial	144		0,50
2030 diciembre 9	penumbral			
2031 mayo 7	penumbral			
2031 junio 5	penumbral			
2031 octubre 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 16 de mayo de 2022.

# CALENDARIOS Y TIEMPOS





# CALENDARIOS

Introducción

Día juliano

Calendario gregoriano

Calendario católico

Calendario juliano

Calendario musulmán

Calendario israelita

Día de la semana correspondiente a una fecha

## Introducción

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

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

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

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

### Escritura numérica de fechas

Los tres elementos de la fecha se expresarán en cifras árabes y se pondrán en el orden: año, mes y día. El mes y el día se expresarán cada uno con dos cifras, pudiendo la de la izquierda ser un cero. Dada la ambigüedad que se presentó con la llegada del año 2000, se recomienda expresar el año con sus cuatro cifras. *Ejemplo:* el 28 de febrero de 2021 se escribe como 2021-02-28 o bien 20210228.

### Numeración de las semanas

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

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

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

## Día juliano

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

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

En su forma actual, el día juliano se refiere al Meridiano cero o de Greenwich y en la escala de Hora o Tiempo Universal (TU). Se considera que el día juliano cero se inició a las 12 horas del día 1 de enero del año  $-4712$  del calendario juliano proléptico o del 24 de noviembre del  $-4713$  del calendario gregoriano proléptico (ver más abajo). Por ello, el día juliano se expresará como un número entero al mediodía de Greenwich ( $12^{\text{h}}$  de TU) y tendrá una fracción  $0,5$  a las  $0^{\text{h}}$  de TU (medianoche en el meridiano de Greenwich). *Ejemplo:* el día juliano correspondiente a las  $0^{\text{h}}$  de TU del día 22 de noviembre de 2021 es 2459 540,5.

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 $0^{\text{h}}$ de TU	Día juliano	Día a $0^{\text{h}}$ de TU	Día juliano
2021 Ene 0	2459 214,5	2021 Jul 0	2459 395,5
2021 Feb 0	2459 245,5	2021 Ago 0	2459 426,5
2021 Mar 0	2459 273,5	2021 Set 0	2459 457,5
2021 Abr 0	2459 304,5	2021 Oct 0	2459 487,5
2021 May 0	2459 334,5	2021 Nov 0	2459 518,5
2021 Jun 0	2459 365,5	2021 Dic 0	2459 548,5

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

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

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

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

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

Centuria		Mes					
Año	DJC	Mes	DJM	bis.	Mes	DJM	bis.
1600	2305447,5	Ene	0	-1	Jul	181	0
1700	2341971,5	Feb	31	-1	Ago	212	0
1800	2378495,5	Mar	59	0	Set	243	0
1900	2415019,5	Abr	90	0	Oct	273	0
2000	2451544,5	May	120	0	Nov	304	0
2100	2488068,5	Jun	151	0	Dic	334	0

*Ejemplo:* para el 22 de noviembre de 2021 a las 0<sup>h</sup> TU son:

$$DJC(2000) = 2451544,5$$

$$DJF(21) = 365 * 21 + int[21/4] = 7670$$

$$DJM(\text{noviembre}) = 304$$

Por consiguiente, el día juliano es:  $DJC + DJF + DJM + día = 2451544,5 + 7670 + 304 + 22 = 2459540,5$ . Tal día será lunes.

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

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

En ocasiones se usa el *día juliano modificado* establecido en 1957, que se obtiene restando al día juliano la cantidad 2400000,5. De esta forma la expresión es más corta y desaparece la fracción 0,5 en la expresión de un día a las 0<sup>h</sup> de TU.

*Ejemplo:* el día juliano correspondiente al 22 de noviembre de 2021 a las 0<sup>h</sup> TU es 2459540,5; el día juliano modificado correspondiente es 59540.

## Calendario gregoriano

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

El calendario gregoriano se compone de un ciclo de 146097 días (20871 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 2021

### Cómputo eclesiástico

Número áureo	8	(ciclo lunar de 19 años)
Epacta	16	(edad de la Luna al 1 de enero)
Ciclo solar	14	(ciclo de 28 años)
Letra dominical	C	(ciclo de 28 años)
Indicción romana	14	(ciclo de 15 años)

### Principales fiestas móviles

Septuagésima	Ene	31
Miércoles de Ceniza	Feb	17
Primer domingo de Cuaresma	Feb	21
Viernes Santo	Abr	2
Pascua	Abr	4
Ascensión	May	13
Pentecostés	May	23
La Santísima Trinidad	May	30
Corpus Christi	Jun	3
El Sagrado Corazón de Jesús	Jun	11
Primer domingo de Adviento	Nov	28

### Témporas

I	Feb 24, 26, 27
II	May 26, 28, 29
III	Set 15, 17, 18
IV	Dic 15, 17, 18

### Velaciones

Se cierran:
Feb 16 y Nov 27
Se abren:
Abr 6 y Dic 26

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

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

## Domingo de Pascua (gregoriano)

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

## Calendario juliano

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

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

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

### Cómputo eclesiástico juliano

para el año 2021

Pascua	19 de abril (juliano) 2 de mayo (gregoriano)
Epacta	25
Letra dominical	D

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

## Calendario musulmán

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

En su versión religiosa tradicional, el inicio de cada mes se determina observacionalmente coincidiendo con la primera visión de la luna creciente. En un lugar dado, el mes se inicia a la puesta de sol del día en que el creciente lunar ha sido visto. Como consecuencia, el mes se inicia en fechas distintas en distintos lugares. En las últimas décadas se ha realizado un considerable esfuerzo en modelar la visibilidad del creciente lunar en base a la posición de la Luna respecto del Sol, su distancia a la Tierra, las condiciones atmosféricas y climáticas, el modo de observación, la posición geográfica y altitud del lugar de observación, etc, con el fin de poder sustituir por un método preciso las observaciones del creciente o las reglas empíricas adoptadas en distintos países, 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:

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

*Ejemplo:* el 1 de enero de 2021 ( $G = 2021,00$ ) corresponde a  $M = 1442,38$ , o sea a mediados del año musulmán 1442. Este es un año abundante pues es el año 2 del ciclo 49.

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

Inicio del mes musulmán		Fecha gregoriana		
1442	Ŷumādà al-ājira 1	2021	Ene	15
1442	Raŷab 1	2021	Feb	13
1442	Ša'bān 1	2021	Mar	15
1442	Ramaḍān 1	2021	Abr	13
1442	Šawwāl 1	2021	May	13
1442	Ḍū-l-qa'da 1	2021	Jun	11
1442	Ḍū-l-ḥiŷŷa 1	2021	Jul	11
1443	Muḥarram 1	2021	Ago	10
1443	Šafar 1	2021	Set	9
1443	Rabī' al-awwal 1	2021	Oct	8
1443	Rabī' al-tānī 1	2021	Nov	7
1443	Ŷumādà al-ūlā 1	2021	Dic	6

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

Fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario musulmán:

Ascensión del Profeta	2021	Mar	11
Primer día del ramadán	2021	Abr	13
Conquista de la Meca	2021	May	2
Revelación del Corán	2021	May	9
Ultimo día del ramadán	2021	May	12
Pascua postayuno	2021	May	13
Pascua de Inmolación	2021	Jul	20
Primer día del año	2021	Ago	10
'Āshūrā'	2021	Ago	19
Huida del Profeta ( <i>Hégira</i> )	2021	Oct	8
Nacimiento del Profeta	2021	Oct	19

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

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

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

Mes musulmán	Fecha gregoriana
1442 Ŷumādà al-ājira	2021 Ene 14
1442 Raġab	2021 Feb 13
1442 Ša'bān	2021 Mar 14
1442 Ramaḍān	2021 Abr 13
1442 Šawwāl	2021 May 13
1442 Dū-l-qa'da	2021 Jun 11
1442 Dū-l-ḥiġġa	2021 Jul 11
1443 Muḥarram	2021 Ago 9
1443 Šafar	2021 Set 8
1443 Rabī' al-awwal	2021 Oct 7
1443 Rabī' al-tānī	2021 Nov 6
1443 Ŷumādà al-ūlā	2021 Dic 5

## Calendario israelita

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

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

Primer día del año	Fecha gregoriana	Duración (días)
5775	2014 Set 25	354
5776	2015 Set 14	385
5777	2016 Oct 3	353
5778	2017 Set 21	354
5779	2018 Set 10	385
5780	2019 Set 30	355
5781	2020 Set 19	353
5782	2021 Set 7	384
5783	2022 Set 26	355
5784	2023 Set 16	383
5785	2024 Oct 3	355

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

Inicio del mes	Fecha gregoriana				
5781 Šebāt 1	2021	Ene	14		
5781 Adār 1	2021	Feb	13		
5781 Nisan 1	2021	Mar	14		
5781 Iyyār 1	2021	Abr	13		
5781 Siwān 1	2021	May	12		
5781 Tammūz 1	2021	Jun	11		
5781 Ab 1	2021	Jul	10		
5781 Elūl 1	2021	Ago	9		
5782 Tišrī 1	2021	Set	7		
5782 Ḥešwān 1	2021	Oct	7		
5782 Kislew 1	2021	Nov	5		
5782 Ṭebēt 1	2021	Dic	5		

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

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

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

Año nuevo de los árboles	2021	Ene	28
Ayuno de Ester	2021	Feb	25
Suertes ( <i>Purim</i> )	2021	Feb	26
Pascua ( <i>Pesah</i> )	2021	Mar	28
<i>Lag B'Omer</i>	2021	Abr	30
Pentecostés ( <i>Shavuot</i> )	2021	May	17
Ayuno del mes de tammūz	2021	Jun	27
Ayuno. Destrucción de Jerusalén	2021	Jul	18
Año nuevo ( <i>Rosh-hashana</i> )	2021	Set	7
Ayuno de Guedaliah	2021	Set	9
Expiación ( <i>Yom Kippur</i> )	2021	Set	16
Tabernáculos ( <i>Sukkot</i> )	2021	Set	21
Alegría de la Ley	2021	Set	29
Dedicación del Templo ( <i>Hanukka</i> )	2021	Nov	29
Ayuno. Sitio de Jerusalén	2021	Dic	14

## Determinación del día de la semana correspondiente a una fecha

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

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

*Ejemplo:* 22 de noviembre de 2021: a 20□□ le corresponde el índice 7; a □□21, el índice 4; a noviembre, el índice 3; y al día 22, el índice 1. La suma es:  $7 + 4 + 3 + 1 = 15$ . Restándole dos veces 7 se obtiene 1, índice que corresponde a lunes.

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 <sup>(B)</sup>	Feb		Ene <sup>(B)</sup>	Ene
	May	Mar	Jun	Abr	Oct
	Ago	Nov		Jul	
				Dic	

(B=bisiesto)

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

Día de la semana	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Indice	1	2	3	4	5	6	7
--------	---	---	---	---	---	---	---

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



# TIEMPOS

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

## Relaciones válidas en el año 2021

Días desde el inicio de siglo = 7305 + día del año

Días hasta el fin de siglo = 29219 – día del año

Día juliano = 2459214,5 + día del año +  $TU/24^h$

Día juliano modificado = 59214 + día del año +  $TU/24^h$

Siglos julianos desde la época J2000 hasta la mitad del año:

$$T = (J2021.5 - J2000.0)/36525 = 0,215$$

Tiempo sidéreo local en el día  $d$ , instante  $TU$  y longitud  $\lambda_E$ :

$$\theta_{med} = 6^h658874 + 0^h065709825 d + 1,00273791 TU + \lambda_E$$

$$\theta_{ver} = \theta_{med} + \text{ecuación de los equinoccios}$$

Ecuación de los equinoccios =  $-0^h99 + 0^h00012 d$  (error < 0,1)

## Escalas de tiempo

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

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

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

### Escala atómica: TAI

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

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

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

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

$$TE = TAI + 32,184 .$$

La denominación “tiempo de efemérides” ha caído 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:

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

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 Coordinado Geocéntrico (TCG) y Tiempo Coordinado Baricéntrico (TCB). Además, para dar continuidad al TDT en este nuevo sistema, se definió el Tiempo Terrestre (TT) como un tiempo uniforme geocéntrico cuya unidad es el segundo (SI) sobre el geoide. Una nueva resolución de la UAI en 2000 refinó la definición del TT ligándolo de manera más simple al TCG. Existen expresiones para relacionar cada una de estas escalas de tiempo con el TAI.

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

La escala de Hora o Tiempo Universal (TU, internacionalmente designada por UT) está ligada a la rotación de la Tierra con referencia al Sol. Corresponde al tiempo solar medio (Sol ficticio) en Greenwich, denominación en desuso. Dado que la rotación de la Tierra no es uniforme, la escala del TU tampoco es uniforme si la comparamos con el TAI. Hay muchas causas que contribuyen, en distinto grado, a las variaciones en la rotación: a corto plazo, los efectos periódicos causados por las mareas y por las variaciones atmosféricas estacionales, así como desplazamientos de la superficie terrestre respecto del eje de rotación y movimientos en el interior; a largo plazo, la rotación es frenada por la fricción causada por las mareas. Por todo ello, la definición del segundo como la 86400ava parte del

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

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

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

$$TT - UT1 = 69\text{;}4 + 0\text{;}15(A - 2020) - 0\text{;}059(A - 2020)^2 - 0\text{;}0042(A - 2020)^3,$$

expresión válida entre 2010 y 2021.

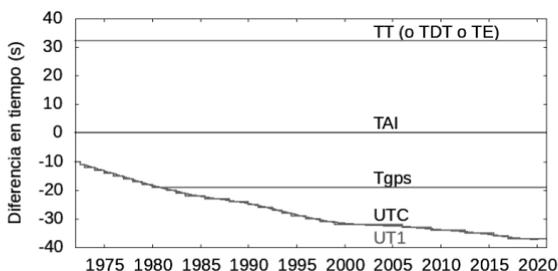
El Servicio Internacional de la Rotación Terrestre y de los Sistemas de Referencia (IERS) proporciona periódicamente los valores medidos y las predicciones de la diferencia  $TT-UT1$ .

### **Escala de difusión mundial: UTC**

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

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

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



Fecha	TT–UT1	Fecha	TAI–UTC
2013 Ene 1	66 <sup>s</sup> 91		
2014 Ene 1	67 <sup>s</sup> 28		
2015 Ene 1	67 <sup>s</sup> 64	2015 Jul 1	36 <sup>s</sup>
2016 Ene 1	68 <sup>s</sup> 10		
2017 Ene 1	68 <sup>s</sup> 59	2017 Ene 1	37 <sup>s</sup>
2018 Ene 1	68 <sup>s</sup> 97		
2019 Ene 1	69 <sup>s</sup> 22		
2020 Ene 1	69 <sup>s</sup> 36		
2021 Ene 1 (pred.)	69 <sup>s</sup> 4		
2022 Ene 1 (pred.)	69 <sup>s</sup> 5		

En las tablas anteriores se indican la diferencia TT–UT1 para el primer día del año y las fechas en que se ha anunciado un salto de 1<sup>s</sup> en la diferencia DTA=TAI–UTC, desde 2013 hasta 2022.

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

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

**Tiempo sidéreo:**  $\theta_v, \theta_m$

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

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

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

Cuando se consideran el ecuador y la eclíptica medios (los obtenidos considerando sólo la precesión), se obtiene el *tiempo sidéreo medio*,  $\theta_m$ , 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*,  $\theta_v$ . La diferencia entre ellos es inferior a  $1^{\circ}2$  y se denomina *ecuación de los equinoccios*:

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

siendo  $DJ$  el día juliano considerado.

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

$$\begin{aligned} \theta_v &= 6^{\text{h}}697374 + 0^{\text{h}}065709824 (DJ_{0^{\text{h}}} - 2451545) + EcEq + \\ &+ 1,0027379093 UT1 + \lambda_E \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ángulo horario} &= \text{tiempo sidéreo verdadero} - \text{ascensión recta} \\ AH &= \theta_v - \alpha. \end{aligned}$$

Valores precisos del tiempo sidéreo verdadero en Greenwich a 0<sup>h</sup> 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

$$\theta_v - EcEq - 6^h 745\,117 - 0^h 065\,709\,824 (DJ_{0h} - 2450450) - \lambda_E$$

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

La duración de un día sidéreo medio es de 23<sup>h</sup>56<sup>m</sup>04<sup>s</sup>.905. 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<sup>h</sup>56<sup>m</sup>04<sup>s</sup>.989.

## 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.

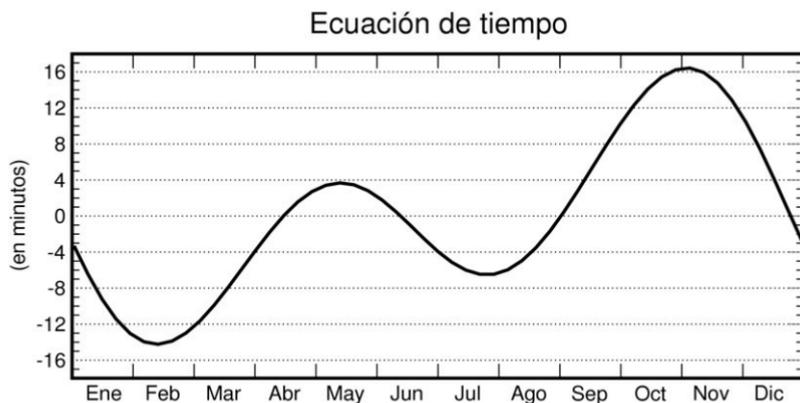
El *tiempo solar (local) verdadero* se define como el ángulo horario del Sol (o sea, la diferencia entre el tiempo sidéreo local verdadero  $\theta_v$  y la ascensión recta del Sol  $\alpha_{\odot}$ ). Este tiempo no es uniforme debido a la elipticidad de la órbita de la Tierra, a la inclinación relativa 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 (86400 segundos) puede ser de

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

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

$$\begin{aligned} Ec.Tiempo &= \text{tiempo solar verdadero} - \text{tiempo solar medio} \\ &= 595^s \text{ sen}(199^\circ + 1^\circ 9713 d) + 442^s \text{ sen}(175^\circ + 0^\circ 9856 d) \end{aligned}$$

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



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

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

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
		<b>Onda corta</b>	<b>MHz</b>
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
		<b>Onda larga</b>	<b>kHz</b>
DCF77	Mainflingen Alemania	+50°01' +09°00'	77,5
HBG	Prangins Suiza	+46°24' +06°15'	75
MSF	Rugby Reino Unido	+52°22' -01°11'	60
OMA	Liblice Rep. Checa	+50°04' +14°53'	50
WWVB	Fort Collins EEUU	+40°40' -105°03'	60

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

En la tabla anterior constan algunas de las emisoras terrestres que emiten de manera continua, durante todo el día y de acuerdo con la escala de tiempos de UTC, habitual desde 1972. En España, el Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, Cádiz) emite señales horarias en onda corta (modo A<sub>3</sub>J) desde las 10<sup>h</sup>00<sup>m</sup> a las 10<sup>h</sup>25<sup>m</sup> TUC a la frecuencia de 15,006 MHz y desde las 10<sup>h</sup>30<sup>m</sup> a las 10<sup>h</sup>55<sup>m</sup> TUC a 4,998 MHz.

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

## Sincronización de ordenadores al UTC

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

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

## Tiempo oficial y husos horarios

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

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

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

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

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

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

El uso de los datos aquí reseñados debe hacerse con reserva por varias razones. Muchos países cambian de horario durante el año (lo que hemos indicado con un asterisco \*). Además, en cualquier momento los gobiernos pueden tanto modificar el tiempo oficial en su país, como instaurar o eliminar la adopción de un horario adelantado durante parte del año. Por ejemplo, en abril de 2019 Brasil anuló los cambios horarios. En 2021 posiblemente se supriman los cambios de hora en la Unión Europea.

### Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO-TU	Países o regiones
<b>EUROPA</b>	
-1 <sup>h</sup>	I. Azores* (Portugal)
+0 <sup>h</sup>	I. Canarias* (España); I. Feroe* (Dinamarca); Irlanda*; Islandia; I. Madeira* (Portugal); Portugal*; Reino Unido*
+1 <sup>h</sup>	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 Svalbard (Noruega); Suecia*; Suiza*; Vaticano*
+2 <sup>h</sup>	Bulgaria*; Estonia*; Finlandia*; Grecia*; Kaliningrado (Rusia); Letonia*; Lituania*; R. Moldova*; Rumania*; Ucrania*
+3 <sup>h</sup>	Belarús; Rusia (hora de Moscú)
<b>ÁFRICA</b>	
-1 <sup>h</sup>	I. Cabo Verde
+0 <sup>h</sup>	I. Ascensión (RU); Burkina Faso; Costa de Marfil; Gambia; Ghana; Guinea; Guinea Bissau; Liberia; Malí; Mauritania; I. Santa Elena (RU); Santo Tomé y Príncipe; Senegal; Sierra Leona; Togo
+1 <sup>h</sup>	Angola; Argelia; Benin; Camerún; R. Centrafricana; Congo; Chad; Gabón; Guinea Ecuatorial; Libia*; Marruecos; Níger; Nigeria; Túnez*; R.D. Congo: Bajo Zaire, Bandundu, Ecuador
+2 <sup>h</sup>	Botswana; Burundi; Egipto; Lesotho; Malawi; Mozambique; Namibia; Ruanda; R. Sudáfrica; R.D. Congo: Alto Zaire, Kasai, Kivu, Shaba; Sudán; Swazilandia; Zambia; Zimbabwe
+3 <sup>h</sup>	Comoras; Eritrea; Etiopía; Kenia; Madagascar; I. Mayotte (Fr.); Somalia; Sudán del Sur; Tanzania; Uganda; Yibuti
+4 <sup>h</sup>	Mauricio*; I. Reunión (Fr.); I. Seychelles

### Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

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

### Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

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

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

La longitud,  $\lambda$ , 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<sup>h</sup> en el horario de otoño e invierno y a UTC+2<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> TU (las 2<sup>h</sup> 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<sup>h</sup> TU (las 3<sup>h</sup> de la madrugada en la península) del último domingo de octubre, momento en que los relojes se retrasan una hora.

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

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

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

**2021** Domingos 28 de marzo y 31 de octubre.

## Enero 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	V	1	2459215,5	06	43	27,514	-0,988	-03	26
2	S	2	2459216,5	06	47	24,075	-0,983	-03	54
3	D	3	2459217,5	06	51	20,633	-0,980	-04	22
4	L	4	2459218,5	06	55	17,187	-0,981	-04	49
5	M	5	2459219,5	06	59	13,740	-0,984	-05	16
6	M	6	2459220,5	07	03	10,291	-0,988	-05	42
7	J	7	2459221,5	07	07	06,843	-0,991	-06	09
8	V	8	2459222,5	07	11	03,398	-0,992	-06	34
9	S	9	2459223,5	07	14	59,956	-0,989	-06	59
10	D	10	2459224,5	07	18	56,517	-0,983	-07	24
11	L	11	2459225,5	07	22	53,082	-0,974	-07	48
12	M	12	2459226,5	07	26	49,648	-0,963	-08	12
13	M	13	2459227,5	07	30	46,214	-0,953	-08	35
14	J	14	2459228,5	07	34	42,777	-0,945	-08	57
15	V	15	2459229,5	07	38	39,337	-0,941	-09	19
16	S	16	2459230,5	07	42	35,893	-0,940	-09	40
17	D	17	2459231,5	07	46	32,446	-0,942	-10	00
18	L	18	2459232,5	07	50	28,998	-0,946	-10	19
19	M	19	2459233,5	07	54	25,548	-0,950	-10	38
20	M	20	2459234,5	07	58	22,099	-0,955	-10	56
21	J	21	2459235,5	08	02	18,651	-0,958	-11	14
22	V	22	2459236,5	08	06	15,205	-0,960	-11	30
23	S	23	2459237,5	08	10	11,761	-0,959	-11	46
24	D	24	2459238,5	08	14	08,320	-0,956	-12	01
25	L	25	2459239,5	08	18	04,881	-0,950	-12	15
26	M	26	2459240,5	08	22	01,443	-0,944	-12	28
27	M	27	2459241,5	08	25	58,005	-0,937	-12	41
28	J	28	2459242,5	08	29	54,567	-0,930	-12	52
29	V	29	2459243,5	08	33	51,127	-0,926	-13	03
30	S	30	2459244,5	08	37	47,683	-0,925	-13	13
31	D	31	2459245,5	08	41	44,237	-0,927	-13	23

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

## Febrero 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>m</i>	<i>s</i>
1	L	32	2459246,5	08	45	40,787	-0,931	-13	31
2	M	33	2459247,5	08	49	37,336	-0,937	-13	39
3	M	34	2459248,5	08	53	33,886	-0,943	-13	46
4	J	35	2459249,5	08	57	30,437	-0,947	-13	52
5	V	36	2459250,5	09	01	26,992	-0,948	-13	57
6	S	37	2459251,5	09	05	23,550	-0,945	-14	01
7	D	38	2459252,5	09	09	20,111	-0,940	-14	05
8	L	39	2459253,5	09	13	16,674	-0,932	-14	08
9	M	40	2459254,5	09	17	13,237	-0,925	-14	10
10	M	41	2459255,5	09	21	09,798	-0,919	-14	12
11	J	42	2459256,5	09	25	06,356	-0,916	-14	12
12	V	43	2459257,5	09	29	02,911	-0,916	-14	12
13	S	44	2459258,5	09	32	59,463	-0,920	-14	11
14	D	45	2459259,5	09	36	56,012	-0,926	-14	09
15	L	46	2459260,5	09	40	52,560	-0,934	-14	07
16	M	47	2459261,5	09	44	49,108	-0,941	-14	04
17	M	48	2459262,5	09	48	45,657	-0,947	-14	00
18	J	49	2459263,5	09	52	42,207	-0,952	-13	55
19	V	50	2459264,5	09	56	38,760	-0,955	-13	50
20	S	51	2459265,5	10	00	35,315	-0,955	-13	44
21	D	52	2459266,5	10	04	31,872	-0,954	-13	37
22	L	53	2459267,5	10	08	28,431	-0,950	-13	30
23	M	54	2459268,5	10	12	24,991	-0,946	-13	22
24	M	55	2459269,5	10	16	21,550	-0,942	-13	14
25	J	56	2459270,5	10	20	18,109	-0,939	-13	04
26	V	57	2459271,5	10	24	14,664	-0,939	-12	55
27	S	58	2459272,5	10	28	11,216	-0,942	-12	44
28	D	59	2459273,5	10	32	07,765	-0,948	-12	33

Algunas fechas julianas notables son:

B1850	= 2396 758,203	= 0,703 de enero de 1850
J1900	= 2415 020,0	= 0,500 de enero de 1900
B1900	= 2415 020,313	= 0,813 de enero de 1900
J1950	= 2433 282,5	= 1,000 de enero de 1950
B1950	= 2433 282,423	= 0,923 de enero de 1950
J1991.25	= 2448 349,0625	= 2,5625 de abril de 1991
J2000	= 2451 545,0	= 1,500 de enero de 2000
B2000	= 2451 544,533	= 1,033 de enero de 2000
J2050	= 2469 807,5	= 1,000 de enero de 2050

## Marzo 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>s</i>
1	L	60	2459274,5	10	36	04,312	-0,957	-12	22
2	M	61	2459275,5	10	40	00,859	-0,965	-12	10
3	M	62	2459276,5	10	43	57,407	-0,972	-11	58
4	J	63	2459277,5	10	47	53,959	-0,976	-11	45
5	V	64	2459278,5	10	51	50,514	-0,976	-11	32
6	S	65	2459279,5	10	55	47,073	-0,973	-11	18
7	D	66	2459280,5	10	59	43,633	-0,968	-11	04
8	L	67	2459281,5	11	03	40,194	-0,962	-10	50
9	M	68	2459282,5	11	07	36,753	-0,958	-10	35
10	M	69	2459283,5	11	11	33,310	-0,957	-10	20
11	J	70	2459284,5	11	15	29,864	-0,959	-10	04
12	V	71	2459285,5	11	19	26,415	-0,963	-09	48
13	S	72	2459286,5	11	23	22,963	-0,971	-09	32
14	D	73	2459287,5	11	27	19,509	-0,979	-09	16
15	L	74	2459288,5	11	31	16,055	-0,989	-08	59
16	M	75	2459289,5	11	35	12,602	-0,997	-08	43
17	M	76	2459290,5	11	39	09,151	-1,004	-08	25
18	J	77	2459291,5	11	43	05,701	-1,009	-08	08
19	V	78	2459292,5	11	47	02,254	-1,011	-07	51
20	S	79	2459293,5	11	50	58,809	-1,011	-07	33
21	D	80	2459294,5	11	54	55,366	-1,010	-07	15
22	L	81	2459295,5	11	58	51,925	-1,007	-06	58
23	M	82	2459296,5	12	02	48,483	-1,004	-06	40
24	M	83	2459297,5	12	06	45,041	-1,002	-06	21
25	J	84	2459298,5	12	10	41,596	-1,001	-06	03
26	V	85	2459299,5	12	14	38,149	-1,004	-05	45
27	S	86	2459300,5	12	18	34,699	-1,010	-05	27
28	D	87	2459301,5	12	22	31,246	-1,018	-05	09
29	L	88	2459302,5	12	26	27,792	-1,027	-04	51
30	M	89	2459303,5	12	30	24,339	-1,036	-04	32
31	M	90	2459304,5	12	34	20,889	-1,041	-04	14

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<sup>h</sup> de TU aparece la fracción 0,5. El denominado “día juliano modificado” se obtiene restando 2400000,5 días al día juliano que figura en la tabla. Se inicia a medianoche, lo cual resulta más conveniente en ciertas aplicaciones. Se suele designar por DJM o, por sus siglas en inglés, MJD.

## Abril 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>m</i>	<i>s</i>
1	J	91	2459305,5	12	38	17,443	-1,042	-03	56
2	V	92	2459306,5	12	42	14,002	-1,039	-03	39
3	S	93	2459307,5	12	46	10,562	-1,034	-03	21
4	D	94	2459308,5	12	50	07,124	-1,028	-03	03
5	L	95	2459309,5	12	54	03,684	-1,023	-02	46
6	M	96	2459310,5	12	58	00,242	-1,020	-02	29
7	M	97	2459311,5	13	01	56,797	-1,021	-02	12
8	J	98	2459312,5	13	05	53,348	-1,025	-01	55
9	V	99	2459313,5	13	09	49,897	-1,031	-01	39
10	S	100	2459314,5	13	13	46,445	-1,039	-01	23
11	D	101	2459315,5	13	17	42,991	-1,048	-01	07
12	L	102	2459316,5	13	21	39,539	-1,056	-00	51
13	M	103	2459317,5	13	25	36,087	-1,062	-00	36
14	M	104	2459318,5	13	29	32,638	-1,067	-00	21
15	J	105	2459319,5	13	33	29,192	-1,069	-00	06
16	V	106	2459320,5	13	37	25,747	-1,069	+00	08
17	S	107	2459321,5	13	41	22,305	-1,066	+00	22
18	D	108	2459322,5	13	45	18,864	-1,063	+00	35
19	L	109	2459323,5	13	49	15,423	-1,059	+00	49
20	M	110	2459324,5	13	53	11,982	-1,055	+01	01
21	M	111	2459325,5	13	57	08,540	-1,053	+01	14
22	J	112	2459326,5	14	01	05,095	-1,053	+01	26
23	V	113	2459327,5	14	05	01,647	-1,056	+01	37
24	S	114	2459328,5	14	08	58,197	-1,062	+01	49
25	D	115	2459329,5	14	12	54,745	-1,069	+01	59
26	L	116	2459330,5	14	16	51,293	-1,077	+02	09
27	M	117	2459331,5	14	20	47,843	-1,082	+02	19
28	M	118	2459332,5	14	24	44,398	-1,083	+02	28
29	J	119	2459333,5	14	28	40,957	-1,079	+02	37
30	V	120	2459334,5	14	32	37,519	-1,072	+02	45

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.

$$\begin{aligned} \text{tiempo solar medio} &= \text{TU} + \text{longitud}_{E,ste} \\ \text{tiempo solar verdadero} &= \text{tiempo solar medio} + \text{ecuación de tiempo} \end{aligned}$$

## Mayo 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	S	121	2459335,5	14	36	34,083	-1,063	+02	53
2	D	122	2459336,5	14	40	30,647	-1,055	+03	00
3	L	123	2459337,5	14	44	27,208	-1,049	+03	06
4	M	124	2459338,5	14	48	23,766	-1,046	+03	12
5	M	125	2459339,5	14	52	20,321	-1,047	+03	17
6	J	126	2459340,5	14	56	16,872	-1,051	+03	22
7	V	127	2459341,5	15	00	13,422	-1,056	+03	26
8	S	128	2459342,5	15	04	09,971	-1,063	+03	30
9	D	129	2459343,5	15	08	06,521	-1,069	+03	33
10	L	130	2459344,5	15	12	03,071	-1,073	+03	35
11	M	131	2459345,5	15	15	59,624	-1,076	+03	37
12	M	132	2459346,5	15	19	56,179	-1,077	+03	38
13	J	133	2459347,5	15	23	52,736	-1,075	+03	39
14	V	134	2459348,5	15	27	49,295	-1,071	+03	39
15	S	135	2459349,5	15	31	45,856	-1,065	+03	39
16	D	136	2459350,5	15	35	42,418	-1,059	+03	38
17	L	137	2459351,5	15	39	38,979	-1,053	+03	36
18	M	138	2459352,5	15	43	35,540	-1,048	+03	34
19	M	139	2459353,5	15	47	32,098	-1,045	+03	32
20	J	140	2459354,5	15	51	28,653	-1,045	+03	29
21	V	141	2459355,5	15	55	25,206	-1,048	+03	25
22	S	142	2459356,5	15	59	21,756	-1,053	+03	21
23	D	143	2459357,5	16	03	18,307	-1,058	+03	16
24	L	144	2459358,5	16	07	14,858	-1,062	+03	11
25	M	145	2459359,5	16	11	11,413	-1,063	+03	05
26	M	146	2459360,5	16	15	07,972	-1,059	+02	59
27	J	147	2459361,5	16	19	04,535	-1,051	+02	53
28	V	148	2459362,5	16	23	01,102	-1,039	+02	45
29	S	149	2459363,5	16	26	57,669	-1,028	+02	38
30	D	150	2459364,5	16	30	54,234	-1,018	+02	30
31	L	151	2459365,5	16	34	50,795	-1,012	+02	21

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.

$$\text{tiempo sidéreo medio} = \text{tiempo sidéreo verdadero} - \text{Ec. Equin.}$$

## Junio 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	M	152	2459366,5	16	38	47,354	–1,009	+02	13
2	M	153	2459367,5	16	42	43,908	–1,010	+02	03
3	J	154	2459368,5	16	46	40,461	–1,013	+01	54
4	V	155	2459369,5	16	50	37,012	–1,017	+01	43
5	S	156	2459370,5	16	54	33,563	–1,021	+01	33
6	D	157	2459371,5	16	58	30,115	–1,025	+01	22
7	L	158	2459372,5	17	02	26,669	–1,026	+01	11
8	M	159	2459373,5	17	06	23,225	–1,026	+01	00
9	M	160	2459374,5	17	10	19,783	–1,023	+00	48
10	J	161	2459375,5	17	14	16,344	–1,017	+00	36
11	V	162	2459376,5	17	18	12,906	–1,010	+00	24
12	S	163	2459377,5	17	22	09,469	–1,002	+00	12
13	D	164	2459378,5	17	26	06,033	–0,995	–00	01
14	L	165	2459379,5	17	30	02,595	–0,988	–00	14
15	M	166	2459380,5	17	33	59,154	–0,984	–00	27
16	M	167	2459381,5	17	37	55,712	–0,982	–00	39
17	J	168	2459382,5	17	41	52,266	–0,982	–00	52
18	V	169	2459383,5	17	45	48,819	–0,985	–01	05
19	S	170	2459384,5	17	49	45,370	–0,990	–01	18
20	D	171	2459385,5	17	53	41,922	–0,993	–01	32
21	L	172	2459386,5	17	57	38,476	–0,994	–01	45
22	M	173	2459387,5	18	01	35,034	–0,992	–01	57
23	M	174	2459388,5	18	05	31,596	–0,985	–02	10
24	J	175	2459389,5	18	09	28,162	–0,974	–02	23
25	V	176	2459390,5	18	13	24,730	–0,962	–02	36
26	S	177	2459391,5	18	17	21,297	–0,950	–02	49
27	D	178	2459392,5	18	21	17,861	–0,941	–03	01
28	L	179	2459393,5	18	25	14,422	–0,936	–03	13
29	M	180	2459394,5	18	29	10,978	–0,935	–03	25
30	M	181	2459395,5	18	33	07,531	–0,937	–03	37

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:

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

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

## Julio 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	J	182	2459396,5	18	37	04,083	–0,941	–03	49
2	V	183	2459397,5	18	41	00,634	–0,945	–04	00
3	S	184	2459398,5	18	44	57,186	–0,948	–04	12
4	D	185	2459399,5	18	48	53,739	–0,950	–04	23
5	L	186	2459400,5	18	52	50,295	–0,950	–04	33
6	M	187	2459401,5	18	56	46,853	–0,948	–04	43
7	M	188	2459402,5	19	00	43,413	–0,943	–04	53
8	J	189	2459403,5	19	04	39,975	–0,937	–05	03
9	V	190	2459404,5	19	08	36,537	–0,929	–05	12
10	S	191	2459405,5	19	12	33,100	–0,922	–05	21
11	D	192	2459406,5	19	16	29,662	–0,915	–05	29
12	L	193	2459407,5	19	20	26,222	–0,910	–05	37
13	M	194	2459408,5	19	24	22,780	–0,909	–05	45
14	M	195	2459409,5	19	28	19,334	–0,909	–05	52
15	J	196	2459410,5	19	32	15,886	–0,913	–05	58
16	V	197	2459411,5	19	36	12,437	–0,918	–06	04
17	S	198	2459412,5	19	40	08,987	–0,922	–06	09
18	D	199	2459413,5	19	44	05,540	–0,925	–06	14
19	L	200	2459414,5	19	48	02,095	–0,925	–06	18
20	M	201	2459415,5	19	51	58,655	–0,921	–06	22
21	M	202	2459416,5	19	55	55,218	–0,913	–06	25
22	J	203	2459417,5	19	59	51,784	–0,903	–06	28
23	V	204	2459418,5	20	03	48,350	–0,892	–06	30
24	S	205	2459419,5	20	07	44,914	–0,884	–06	31
25	D	206	2459420,5	20	11	41,474	–0,878	–06	32
26	L	207	2459421,5	20	15	38,031	–0,877	–06	32
27	M	208	2459422,5	20	19	34,584	–0,879	–06	32
28	M	209	2459423,5	20	23	31,135	–0,884	–06	31
29	J	210	2459424,5	20	27	27,684	–0,890	–06	29
30	V	211	2459425,5	20	31	24,234	–0,896	–06	27
31	S	212	2459426,5	20	35	20,785	–0,900	–06	24

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

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

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

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

## Agosto 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>m</i>	<i>s</i>
1	D	213	2459427,5	20	39	17,338	–0,902	–06	21
2	L	214	2459428,5	20	43	13,894	–0,902	–06	17
3	M	215	2459429,5	20	47	10,451	–0,900	–06	12
4	M	216	2459430,5	20	51	07,011	–0,896	–06	07
5	J	217	2459431,5	20	55	03,571	–0,890	–06	02
6	V	218	2459432,5	20	59	00,133	–0,885	–05	55
7	S	219	2459433,5	21	02	56,693	–0,879	–05	48
8	D	220	2459434,5	21	06	53,252	–0,876	–05	41
9	L	221	2459435,5	21	10	49,808	–0,875	–05	33
10	M	222	2459436,5	21	14	46,361	–0,877	–05	24
11	M	223	2459437,5	21	18	42,912	–0,882	–05	15
12	J	224	2459438,5	21	22	39,460	–0,889	–05	05
13	V	225	2459439,5	21	26	36,008	–0,896	–04	55
14	S	226	2459440,5	21	30	32,558	–0,902	–04	44
15	D	227	2459441,5	21	34	29,111	–0,905	–04	33
16	L	228	2459442,5	21	38	25,667	–0,904	–04	20
17	M	229	2459443,5	21	42	22,227	–0,900	–04	08
18	M	230	2459444,5	21	46	18,789	–0,893	–03	55
19	J	231	2459445,5	21	50	15,352	–0,885	–03	41
20	V	232	2459446,5	21	54	11,914	–0,878	–03	27
21	S	233	2459447,5	21	58	08,474	–0,874	–03	12
22	D	234	2459448,5	22	02	05,029	–0,874	–02	57
23	L	235	2459449,5	22	06	01,581	–0,877	–02	42
24	M	236	2459450,5	22	09	58,130	–0,883	–02	26
25	M	237	2459451,5	22	13	54,678	–0,891	–02	09
26	J	238	2459452,5	22	17	51,225	–0,899	–01	53
27	V	239	2459453,5	22	21	47,773	–0,906	–01	35
28	S	240	2459454,5	22	25	44,324	–0,912	–01	18
29	D	241	2459455,5	22	29	40,876	–0,915	–01	00
30	L	242	2459456,5	22	33	37,431	–0,915	–00	42
31	M	243	2459457,5	22	37	33,988	–0,914	–00	23

Duración media de distintos tipos de años:

Año juliano:	365 <sup>d</sup> 25000
Año gregoriano:	365 <sup>d</sup> 24250
Año trópico:	365 <sup>d</sup> 24219
Año sidéreo:	365 <sup>d</sup> 25636
Año anomalístico:	365 <sup>d</sup> 25964
Año eclíptico:	366 <sup>d</sup> 62005

## Setiembre 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	M	244	2459458,5	22	41	30,546	–0,911	–00	04
2	J	245	2459459,5	22	45	27,105	–0,907	+00	15
3	V	246	2459460,5	22	49	23,664	–0,904	+00	34
4	S	247	2459461,5	22	53	20,221	–0,902	+00	54
5	D	248	2459462,5	22	57	16,776	–0,902	+01	14
6	L	249	2459463,5	23	01	13,328	–0,905	+01	34
7	M	250	2459464,5	23	05	09,878	–0,911	+01	54
8	M	251	2459465,5	23	09	06,425	–0,919	+02	14
9	J	252	2459466,5	23	13	02,971	–0,929	+02	35
10	V	253	2459467,5	23	16	59,518	–0,937	+02	56
11	S	254	2459468,5	23	20	56,068	–0,942	+03	17
12	D	255	2459469,5	23	24	52,622	–0,944	+03	38
13	L	256	2459470,5	23	28	49,180	–0,941	+03	59
14	M	257	2459471,5	23	32	45,740	–0,936	+04	21
15	M	258	2459472,5	23	36	42,302	–0,930	+04	42
16	J	259	2459473,5	23	40	38,862	–0,925	+05	03
17	V	260	2459474,5	23	44	35,421	–0,922	+05	25
18	S	261	2459475,5	23	48	31,976	–0,922	+05	46
19	D	262	2459476,5	23	52	28,527	–0,926	+06	08
20	L	263	2459477,5	23	56	25,076	–0,933	+06	29
21	M	264	2459478,5	00	00	21,622	–0,942	+06	51
22	M	265	2459479,5	00	04	18,169	–0,951	+07	12
23	J	266	2459480,5	00	08	14,715	–0,960	+07	33
24	V	267	2459481,5	00	12	11,264	–0,966	+07	54
25	S	268	2459482,5	00	16	07,815	–0,971	+08	15
26	D	269	2459483,5	00	20	04,368	–0,973	+08	36
27	L	270	2459484,5	00	24	00,923	–0,973	+08	57
28	M	271	2459485,5	00	27	57,480	–0,971	+09	17
29	M	272	2459486,5	00	31	54,038	–0,969	+09	37
30	J	273	2459487,5	00	35	50,597	–0,966	+09	57

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 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	V	274	2459488,5	00	39	47,154	–0,964	+10	16
2	S	275	2459489,5	00	43	43,710	–0,963	+10	36
3	D	276	2459490,5	00	47	40,263	–0,966	+10	54
4	L	277	2459491,5	00	51	36,813	–0,971	+11	13
5	M	278	2459492,5	00	55	33,361	–0,978	+11	31
6	M	279	2459493,5	00	59	29,907	–0,987	+11	49
7	J	280	2459494,5	01	03	26,454	–0,996	+12	07
8	V	281	2459495,5	01	07	23,003	–1,002	+12	24
9	S	282	2459496,5	01	11	19,556	–1,005	+12	40
10	D	283	2459497,5	01	15	16,113	–1,003	+12	56
11	L	284	2459498,5	01	19	12,674	–0,998	+13	12
12	M	285	2459499,5	01	23	09,236	–0,991	+13	27
13	M	286	2459500,5	01	27	05,798	–0,984	+13	42
14	J	287	2459501,5	01	31	02,358	–0,980	+13	56
15	V	288	2459502,5	01	34	58,914	–0,979	+14	10
16	S	289	2459503,5	01	38	55,468	–0,981	+14	23
17	D	290	2459504,5	01	42	52,018	–0,986	+14	36
18	L	291	2459505,5	01	46	48,566	–0,994	+14	48
19	M	292	2459506,5	01	50	45,113	–1,002	+15	00
20	M	293	2459507,5	01	54	41,660	–1,010	+15	10
21	J	294	2459508,5	01	58	38,209	–1,016	+15	21
22	V	295	2459509,5	02	02	34,761	–1,020	+15	30
23	S	296	2459510,5	02	06	31,314	–1,022	+15	39
24	D	297	2459511,5	02	10	27,870	–1,021	+15	47
25	L	298	2459512,5	02	14	24,429	–1,018	+15	55
26	M	299	2459513,5	02	18	20,988	–1,014	+16	02
27	M	300	2459514,5	02	22	17,548	–1,009	+16	08
28	J	301	2459515,5	02	26	14,107	–1,006	+16	13
29	V	302	2459516,5	02	30	10,665	–1,003	+16	17
30	S	303	2459517,5	02	34	07,221	–1,003	+16	21
31	D	304	2459518,5	02	38	03,774	–1,005	+16	24

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

## Noviembre 2021

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.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>s</i>	<i>m</i>
1	L	305	2459519,5	02	42	00,325	–1,010	+16	26
2	M	306	2459520,5	02	45	56,873	–1,016	+16	27
3	M	307	2459521,5	02	49	53,422	–1,023	+16	28
4	J	308	2459522,5	02	53	49,972	–1,029	+16	27
5	V	309	2459523,5	02	57	46,525	–1,030	+16	26
6	S	310	2459524,5	03	01	43,083	–1,028	+16	24
7	D	311	2459525,5	03	05	39,646	–1,021	+16	21
8	L	312	2459526,5	03	09	36,211	–1,011	+16	17
9	M	313	2459527,5	03	13	32,776	–1,001	+16	13
10	M	314	2459528,5	03	17	29,340	–0,993	+16	07
11	J	315	2459529,5	03	21	25,900	–0,988	+16	01
12	V	316	2459530,5	03	25	22,457	–0,987	+15	54
13	S	317	2459531,5	03	29	19,010	–0,989	+15	46
14	D	318	2459532,5	03	33	15,561	–0,993	+15	38
15	L	319	2459533,5	03	37	12,111	–0,999	+15	28
16	M	320	2459534,5	03	41	08,661	–1,004	+15	18
17	M	321	2459535,5	03	45	05,212	–1,008	+15	07
18	J	322	2459536,5	03	49	01,765	–1,010	+14	55
19	V	323	2459537,5	03	52	58,321	–1,010	+14	42
20	S	324	2459538,5	03	56	54,879	–1,007	+14	28
21	D	325	2459539,5	04	00	51,439	–1,002	+14	14
22	L	326	2459540,5	04	04	48,001	–0,996	+13	59
23	M	327	2459541,5	04	08	44,564	–0,989	+13	43
24	M	328	2459542,5	04	12	41,126	–0,982	+13	26
25	J	329	2459543,5	04	16	37,686	–0,977	+13	08
26	V	330	2459544,5	04	20	34,245	–0,973	+12	50
27	S	331	2459545,5	04	24	30,802	–0,972	+12	31
28	D	332	2459546,5	04	28	27,356	–0,973	+12	11
29	L	333	2459547,5	04	32	23,908	–0,977	+11	50
30	M	334	2459548,5	04	36	20,459	–0,981	+11	29

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:

$$595^s \text{ sen}(199^\circ + 1^\circ 9713 d) + 441^s \text{ sen}(175^\circ + 0^\circ 9856 d)$$

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

## Diciembre 2021

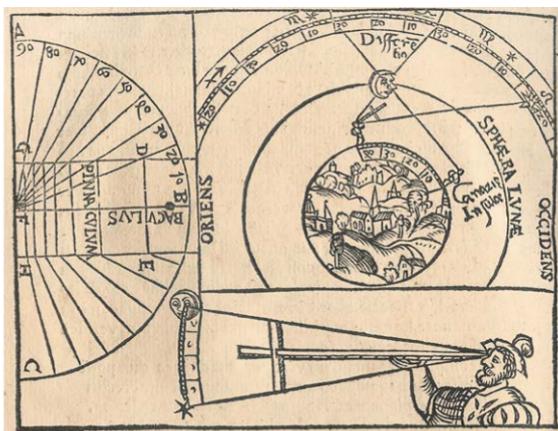
Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.—med.)	Ecuación de tiempo (v.—m.)	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>m</i>	<i>s</i>
1	M	335	2459549,5	04	40	17,010	-0,985	+11	07
2	J	336	2459550,5	04	44	13,564	-0,986	+10	44
3	V	337	2459551,5	04	48	10,123	-0,983	+10	21
4	S	338	2459552,5	04	52	06,686	-0,975	+09	57
5	D	339	2459553,5	04	56	03,253	-0,964	+09	32
6	L	340	2459554,5	04	59	59,822	-0,951	+09	07
7	M	341	2459555,5	05	03	56,389	-0,938	+08	42
8	M	342	2459556,5	05	07	52,954	-0,929	+08	16
9	J	343	2459557,5	05	11	49,514	-0,924	+07	49
10	V	344	2459558,5	05	15	46,071	-0,923	+07	22
11	S	345	2459559,5	05	19	42,624	-0,925	+06	55
12	D	346	2459560,5	05	23	39,176	-0,928	+06	27
13	L	347	2459561,5	05	27	35,728	-0,932	+05	59
14	M	348	2459562,5	05	31	32,281	-0,934	+05	31
15	M	349	2459563,5	05	35	28,835	-0,935	+05	02
16	J	350	2459564,5	05	39	25,392	-0,934	+04	33
17	V	351	2459565,5	05	43	21,951	-0,930	+04	04
18	S	352	2459566,5	05	47	18,513	-0,924	+03	35
19	D	353	2459567,5	05	51	15,076	-0,916	+03	05
20	L	354	2459568,5	05	55	11,640	-0,908	+02	36
21	M	355	2459569,5	05	59	08,203	-0,899	+02	06
22	M	356	2459570,5	06	03	04,766	-0,892	+01	36
23	J	357	2459571,5	06	07	01,326	-0,887	+01	06
24	V	358	2459572,5	06	10	57,885	-0,884	+00	37
25	S	359	2459573,5	06	14	54,440	-0,884	+00	07
26	D	360	2459574,5	06	18	50,993	-0,886	-00	23
27	L	361	2459575,5	06	22	47,545	-0,889	-00	52
28	M	362	2459576,5	06	26	44,097	-0,893	-01	22
29	M	363	2459577,5	06	30	40,651	-0,895	-01	51
30	J	364	2459578,5	06	34	37,208	-0,893	-02	20
31	V	365	2459579,5	06	38	33,769	-0,887	-02	49

La ecuación de tiempo se anula en las siguientes cuatro fechas: 15 de abril, 12 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 25 de julio. Su valor es máximo el día 3 de noviembre, con un máximo secundario el 13 de mayo.



# EFEMERIDES ASTRONOMICAS





# SOL

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

## Unidades prácticas

$\mathcal{R}_{\odot}$	= 695 660 km	= 6,957 $10^{10}$ cm
$\mathcal{L}_{\odot}$	= 3,828 $10^{26}$ W	= 3,828 $10^{33}$ erg s <sup>-1</sup>
$\mathcal{M}_{\odot}$	= 1,988547 $10^{30}$ kg	= 1,989 $10^{33}$ g
$\mathcal{GM}_{\odot}$	= 1,327 1244 $10^{20}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup>	= 39,47693 UA <sup>3</sup> años <sup>-2</sup>

## Datos solares

### Elementos medios de la órbita para 2021

Longitud media	$L_{\odot} = 279^{\circ}889321 + 0^{\circ}98564736 d$
Anomalía media	$M_{\odot} = 356^{\circ}589889 + 0^{\circ}98560028 d$
Longitud media del perigeo	$\varpi_{\odot} = 283^{\circ}299432 + 0^{\circ}00004708 d$
Excentricidad promedio	$e_{\odot} = 0,01670007$
Oblicuidad media de la eclíptica	$\varepsilon = 23^{\circ}436560 - 0^{\circ}00000036 d$

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

### Longitud verdadera (error < 30'')

$$\begin{aligned} \odot &= L_{\odot} + 1^{\circ}914 \sin(M_{\odot}) + 0^{\circ}020 \sin(2 M_{\odot}) \\ &= 279^{\circ}889 + 0^{\circ}98562 d + 1^{\circ}914 \sin(0^{\circ}9856 d - 3^{\circ}4) \\ &\quad + 0^{\circ}020 \sin(2^{\circ}d - 15^{\circ}) \end{aligned}$$

### Duración de los años

año trópico:	365 <sup>d</sup> 242 188	365 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> .07	(equin.–equin.)
año sidéreo:	365 <sup>d</sup> 256 363	365 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup> .7	(estrella–estrella)
año anomalístico:	365 <sup>d</sup> 259 636	365 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> .6	(nodo–nodo)

### Distancia media

Semidiámetro a 1 ua	15'59''63	959''63
Distancia media	1,000001018 ua	149 598 000 km
Distancia media en tiempo luz	$\tau_A = 499;004784$	$\simeq 8^m19^s0$
Paralaje horizontal ecuatorial a la distancia media		8''794 148

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

### Datos físicos

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

*Núcleo:*

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

*Generación de energía:*

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

**Rotación**

Velocidad angular ( $^{\circ}$ /día)	$\omega = 14,713 - 2,396 \text{ sen}^2 \phi_{\odot} - 1,787 \text{ sen}^4 \phi_{\odot}$
Velocidad superficial en el ecuador solar ( $\phi_{\odot} = 0^{\circ}$ )	$2,1 \text{ km s}^{-1}$
Periodo de rotación sidéreo en el ecuador solar	$24^{\text{d}} 11^{\text{h}} 14^{\text{m}}$
" " sidéreo (a $\phi_{\odot} = 26^{\circ}$ )	$25^{\text{d}} 09^{\text{h}} 07^{\text{m}}$
" " sinódico (a $\phi_{\odot} = 26^{\circ}$ )	$27^{\text{d}} 06^{\text{h}} 36^{\text{m}}$
Inclinación del ecuador sobre la eclíptica	$7^{\circ} 15'$
Longitud del nodo ascendente del ecuador solar	$76^{\circ} 1$
Orientación del Polo Norte solar	$\alpha_{PN} = 286^{\circ} 17$ $\delta_{PN} = 63^{\circ} 90$

**Luminosidad**

Tipo estelar	G2 v
Temperatura efectiva	$T_{eff} = 5772 \text{ K}$
Magnitudes absolutas	$M_{bol} = 4,74$ $M_U = 5,67$ $M_V = 4,83$ $M_B = 5,48$
Temperatura equivalente de su emisión a longitudes de onda ( $\lambda$ ) radio:	$T(\lambda < 2 \text{ cm}) \simeq 10^4 \text{ K}$ $T(\lambda > 2 \text{ m}) \simeq 10^6 \text{ K}$

*Flujo fuera de la atmósfera terrestre:*

Magnitudes aparentes	$m_{bol} = -26,832$	$m_U = -25,96$
	$V = m_V = -26,75$	$B = m_B = -26,09$
Constante solar	$1361 \text{ W m}^{-2}$	$1,95 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$

**Fotosfera solar**

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

**Campo magnético solar**

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

**Viento solar**

pérdida de masa	~ $10^9 \text{ kg s}^{-1}$ ~ $10^{-14} \mathcal{M}_{\odot}/\text{año}$
velocidad del viento a 1 UA del Sol	~ $450 \text{ km s}^{-1}$
tiempo en alcanzar la Tierra	~ 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:	$\alpha_{1900} = 271^{\circ}$	$\delta_{1900} = +30^{\circ}$
	$V_{LSR} = 19,5 \text{ km s}^{-1} = 0,01126 \text{ UA/día}$	
Según Mihalas y Binney:	$\alpha_{1900} = 267^{\circ}$	$\delta_{1900} = +28^{\circ}$
	$V_{LSR} = 16,5 \text{ km s}^{-1} = 0,00953 \text{ UA/día}$	
Convenio radioastronómico:	$\alpha_{1900} = 270^{\circ}$	$\delta_{1900} = +30^{\circ}$
	$V_{LSR} = 20,0 \text{ km s}^{-1} = 0,01155 \text{ UA/día}$	

*Movimiento del LSR respecto de la Galaxia:*

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

### Abundancia de los elementos químicos en el sistema solar

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

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

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

### Constantes para la época J2000.0

Convenio IAU 2006:

Precesión general en longitud, por siglo juliano	$p = 5028''796195$
Constante de nutación	$N = 9''2052331$
Constante de aberración	$k = 20''49551$
Oblicuidad de la eclíptica	$\epsilon_0 = 23^\circ 26' 21''406$ $= 23^\circ 4392794$ $= 84382''406$

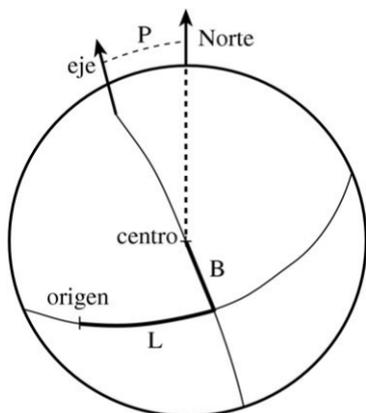
## Efemérides del Sol para 2021

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*). Asimismo, 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<sup>h</sup> de TU, expresada en coordenadas ecuatoriales, **ascensión recta** y **declinación**. Para obtener las coordenadas en cualquier otro instante debe realizarse una interpolación de segundo grado partiendo de los valores de dichas columnas (véase el apartado *Interpolación* en la sección *TABLAS*).

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

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



### Cálculos aproximados

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

- (1) a la ascensión recta del día considerado se le resta el tiempo sidéreo en Greenwich a 0<sup>h</sup> 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<sup>m</sup> (al ser la longitud de Madrid de -15<sup>m</sup>); y
- (3) si tenemos un tiempo negativo, se suman 24<sup>h</sup>.

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:

$$P \simeq -23,5 \cos (\odot - 76^\circ)$$

$$B \simeq 7,2 \operatorname{sen} (\odot - 76^\circ)$$

$$L \simeq \odot + 81^\circ + 14,1844 (2451545 - DJ)$$

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

La latitud heliográfica  $B$  toma sus valores mínimo y máximo ( $\pm 7,25$ ) 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 ( $\pm 26,3$ ) 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 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 V	7 38	12 18 25	16 59	18 46 53,6	-22 59 57	02,0	-3,0	280,2	
2 S	7 38	12 18 53	17 00	18 51 18,2	-22 54 47	01,5	-3,1	267,0	
3 D	7 38	12 19 21	17 01	18 55 42,6	-22 49 09	01,0	-3,2	253,8	
4 L	7 38	12 19 48	17 02	19 00 06,5	-22 43 05	00,5	-3,4	240,6	
5 M	7 38	12 20 15	17 03	19 04 30,0	-22 36 33	00,0	-3,5	227,5	
6 M	7 38	12 20 41	17 04	19 08 53,2	-22 29 34	-00,5	-3,6	214,3	
7 J	7 38	12 21 07	17 05	19 13 15,9	-22 22 09	-01,0	-3,7	201,1	
8 V	7 38	12 21 33	17 06	19 17 38,1	-22 14 17	-01,3	-3,7	188,0	
9 S	7 38	12 21 58	17 07	19 21 59,8	-22 05 59	-01,8	-3,9	174,8	
10 D	7 37	12 22 22	17 08	19 26 21,0	-21 57 15	-02,4	-4,0	161,6	
11 L	7 37	12 22 46	17 09	19 30 41,7	-21 48 05	-02,9	-4,0	148,5	
12 M	7 37	12 23 09	17 10	19 35 01,8	-21 38 30	-03,2	-4,3	135,3	
13 M	7 37	12 23 32	17 11	19 39 21,3	-21 28 30	-03,7	-4,4	122,0	
14 J	7 36	12 23 54	17 12	19 43 40,2	-21 18 04	-04,3	-4,5	109,0	
15 V	7 36	12 24 15	17 13	19 47 58,4	-21 07 14	-04,8	-4,5	95,8	
16 S	7 35	12 24 36	17 14	19 52 15,9	-20 56 00	-05,2	-4,7	82,5	
17 D	7 35	12 24 55	17 15	19 56 32,7	-20 44 22	-05,7	-4,8	69,5	
18 L	7 34	12 25 15	17 16	20 00 48,8	-20 32 20	-06,2	-4,9	56,2	
19 M	7 34	12 25 33	17 18	20 05 04,2	-20 19 55	-06,5	-4,9	43,1	
20 M	7 33	12 25 51	17 19	20 09 18,8	-20 07 07	-07,0	-5,0	30,0	
21 J	7 33	12 26 08	17 20	20 13 32,6	-19 53 56	-07,5	-5,0	16,8	
22 V	7 32	12 26 24	17 21	20 17 45,7	-19 40 23	-08,0	-5,2	3,6	
23 S	7 31	12 26 39	17 22	20 21 57,9	-19 26 28	-08,4	-5,3	350,5	
24 D	7 31	12 26 54	17 23	20 26 09,4	-19 12 12	-08,9	-5,4	337,3	
25 L	7 30	12 27 07	17 25	20 30 20,1	-18 57 34	-09,3	-5,5	324,1	
26 M	7 29	12 27 20	17 26	20 34 30,0	-18 42 36	-09,6	-5,5	311,0	
27 M	7 28	12 27 32	17 27	20 38 39,1	-18 27 17	-10,1	-5,7	297,8	
28 J	7 28	12 27 43	17 28	20 42 47,3	-18 11 39	-10,6	-5,7	284,6	
29 V	7 27	12 27 54	17 30	20 46 54,7	-17 55 40	-11,0	-5,8	271,5	
30 S	7 26	12 28 04	17 31	20 51 01,4	-17 39 23	-11,4	-5,9	258,3	
31 D	7 25	12 28 12	17 32	20 55 07,2	-17 22 47	-11,8	-6,0	245,1	

## SOL Febrero 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 L	7 24	12 28 20	17 33	20 59 12,2	-17 05 52	-12,1	-6,0	232,0	
2 M	7 23	12 28 28	17 34	21 03 16,4	-16 48 39	-12,6	-6,0	218,8	
3 M	7 22	12 28 34	17 36	21 07 19,8	-16 31 09	-13,0	-6,2	205,6	
4 J	7 21	12 28 40	17 37	21 11 22,4	-16 13 21	-13,4	-6,2	192,5	
5 V	7 20	12 28 45	17 38	21 15 24,2	-15 55 16	-13,8	-6,3	179,3	
6 S	7 19	12 28 49	17 39	21 19 25,2	-15 36 55	-14,1	-6,4	166,1	
7 D	7 18	12 28 52	17 41	21 23 25,5	-15 18 17	-14,6	-6,4	153,0	
8 L	7 17	12 28 55	17 42	21 27 25,0	-14 59 24	-15,0	-6,5	139,8	
9 M	7 15	12 28 56	17 43	21 31 23,7	-14 40 16	-15,3	-6,5	126,5	
10 M	7 14	12 28 57	17 44	21 35 21,6	-14 20 53	-15,6	-6,5	113,5	
11 J	7 13	12 28 57	17 45	21 39 18,8	-14 01 15	-16,1	-6,5	100,3	
12 V	7 12	12 28 57	17 47	21 43 15,2	-13 41 24	-16,3	-6,7	87,0	
13 S	7 11	12 28 56	17 48	21 47 10,8	-13 21 19	-16,8	-6,7	74,0	
14 D	7 09	12 28 54	17 49	21 51 05,7	-13 01 01	-17,1	-6,8	60,7	
15 L	7 08	12 28 51	17 50	21 54 59,9	-12 40 30	-17,5	-6,8	47,6	
16 M	7 07	12 28 47	17 51	21 58 53,3	-12 19 47	-17,8	-6,9	34,5	
17 M	7 05	12 28 43	17 53	22 02 45,9	-11 58 52	-18,1	-6,9	21,3	
18 J	7 04	12 28 38	17 54	22 06 37,9	-11 37 46	-18,3	-7,0	8,1	
19 V	7 03	12 28 32	17 55	22 10 29,2	-11 16 28	-18,7	-7,0	355,0	
20 S	7 01	12 28 26	17 56	22 14 19,7	-10 55 01	-19,1	-7,0	341,8	
21 D	7 00	12 28 19	17 57	22 18 09,6	-10 33 23	-19,3	-7,0	328,6	
22 L	6 59	12 28 11	17 58	22 21 58,9	-10 11 35	-19,7	-7,0	315,3	
23 M	6 57	12 28 03	18 00	22 25 47,5	-09 49 38	-19,8	-7,0	302,3	
24 M	6 56	12 27 54	18 01	22 29 35,5	-09 27 33	-20,2	-7,0	289,1	
25 J	6 54	12 27 45	18 02	22 33 22,9	-09 05 19	-20,5	-7,2	275,8	
26 V	6 53	12 27 35	18 03	22 37 09,6	-08 42 56	-20,8	-7,2	262,8	
27 S	6 51	12 27 24	18 04	22 40 55,9	-08 20 27	-21,0	-7,2	249,6	
28 D	6 50	12 27 13	18 05	22 44 41,5	-07 57 49	-21,3	-7,2	236,4	

## SOL Marzo 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 L	6 48	12 27 01	18 06	22 48 26,7	-07 35 05	-21,6	-7,2	223,1	
2 M	6 47	12 26 49	18 07	22 52 11,3	-07 12 15	-21,8	-7,2	210,1	
3 M	6 45	12 26 37	18 09	22 55 55,5	-06 49 18	-22,0	-7,2	196,9	
4 J	6 44	12 26 23	18 10	22 59 39,2	-06 26 15	-22,3	-7,2	183,6	
5 V	6 42	12 26 10	18 11	23 03 22,5	-06 03 07	-22,5	-7,3	170,5	
6 S	6 41	12 25 56	18 12	23 07 05,4	-05 39 54	-22,7	-7,3	157,4	
7 D	6 39	12 25 42	18 13	23 10 47,9	-05 16 36	-22,8	-7,3	144,1	
8 L	6 37	12 25 27	18 14	23 14 30,0	-04 53 13	-23,2	-7,3	131,0	
9 M	6 36	12 25 12	18 15	23 18 11,8	-04 29 47	-23,3	-7,2	117,8	
10 M	6 34	12 24 57	18 16	23 21 53,2	-04 06 17	-23,6	-7,2	104,7	
11 J	6 33	12 24 41	18 17	23 25 34,3	-03 42 44	-23,7	-7,2	91,5	
12 V	6 31	12 24 25	18 18	23 29 15,0	-03 19 08	-23,8	-7,2	78,3	
13 S	6 29	12 24 09	18 20	23 32 55,5	-02 55 30	-24,1	-7,2	65,0	
14 D	6 28	12 23 53	18 21	23 36 35,7	-02 31 50	-24,3	-7,2	52,0	
15 L	6 26	12 23 36	18 22	23 40 15,7	-02 08 08	-24,3	-7,2	38,7	
16 M	6 25	12 23 19	18 23	23 43 55,4	-01 44 26	-24,6	-7,2	25,6	
17 M	6 23	12 23 02	18 24	23 47 34,9	-01 20 42	-24,7	-7,0	12,4	
18 J	6 21	12 22 45	18 25	23 51 14,2	-00 56 58	-24,8	-7,0	359,2	
19 V	6 20	12 22 27	18 26	23 54 53,3	-00 33 14	-25,0	-7,0	346,1	
20 S	6 18	12 22 09	18 27	23 58 32,2	-00 09 30	-25,1	-7,0	332,8	
21 D	6 16	12 21 52	18 28	00 02 11,0	+00 14 13	-25,3	-7,0	319,7	
22 L	6 15	12 21 34	18 29	00 05 49,7	+00 37 54	-25,3	-7,0	306,5	
23 M	6 13	12 21 16	18 30	00 09 28,3	+01 01 35	-25,5	-7,0	293,3	
24 M	6 11	12 20 57	18 31	00 13 06,8	+01 25 13	-25,6	-6,9	280,1	
25 J	6 10	12 20 39	18 32	00 16 45,2	+01 48 49	-25,7	-6,9	266,8	
26 V	6 08	12 20 21	18 33	00 20 23,5	+02 12 23	-25,8	-6,8	253,8	
27 S	6 07	12 20 03	18 34	00 24 01,9	+02 35 54	-25,8	-6,8	240,6	
28 D	6 05	12 19 45	18 35	00 27 40,2	+02 59 21	-25,8	-6,7	227,4	
29 L	6 03	12 19 27	18 36	00 31 18,6	+03 22 45	-26,0	-6,7	214,1	
30 M	6 02	12 19 08	18 37	00 34 57,0	+03 46 05	-26,1	-6,7	201,0	
31 M	6 00	12 18 50	18 38	00 38 35,5	+04 09 21	-26,1	-6,5	187,8	

Inicio de la primavera el día 20 a las 9<sup>h</sup>37<sup>m</sup> de TU.

## SOL Abril 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 J	5 58	12 18 33	18 39	00 42 14,1	+04 32 32	-26,1	-6,5	174,6	
2 V	5 57	12 18 15	18 40	00 45 52,9	+04 55 38	-26,2	-6,5	161,4	
3 S	5 55	12 17 57	18 41	00 49 31,7	+05 18 40	-26,2	-6,4	148,1	
4 D	5 54	12 17 40	18 43	00 53 10,8	+05 41 35	-26,2	-6,4	135,0	
5 L	5 52	12 17 23	18 44	00 56 50,0	+06 04 25	-26,3	-6,3	121,8	
6 M	5 50	12 17 06	18 45	01 00 29,4	+06 27 09	-26,3	-6,3	108,5	
7 M	5 49	12 16 49	18 46	01 04 09,1	+06 49 46	-26,3	-6,2	95,4	
8 J	5 47	12 16 32	18 47	01 07 48,9	+07 12 17	-26,3	-6,0	82,2	
9 V	5 46	12 16 16	18 48	01 11 29,1	+07 34 40	-26,2	-6,0	69,0	
10 S	5 44	12 16 00	18 49	01 15 09,4	+07 56 56	-26,2	-6,0	55,9	
11 D	5 42	12 15 44	18 50	01 18 50,1	+08 19 03	-26,2	-5,9	42,7	
12 L	5 41	12 15 29	18 51	01 22 31,0	+08 41 02	-26,2	-5,8	29,5	
13 M	5 39	12 15 14	18 52	01 26 12,3	+09 02 53	-26,1	-5,8	16,3	
14 M	5 38	12 14 59	18 53	01 29 53,9	+09 24 34	-26,1	-5,7	3,0	
15 J	5 36	12 14 44	18 54	01 33 35,8	+09 46 06	-26,0	-5,5	349,8	
16 V	5 35	12 14 30	18 55	01 37 18,0	+10 07 29	-25,8	-5,5	336,6	
17 S	5 33	12 14 16	18 56	01 41 00,6	+10 28 41	-25,8	-5,5	323,3	
18 D	5 32	12 14 03	18 57	01 44 43,6	+10 49 43	-25,8	-5,4	310,2	
19 L	5 30	12 13 50	18 58	01 48 27,0	+11 10 34	-25,7	-5,3	297,0	
20 M	5 29	12 13 37	18 59	01 52 10,7	+11 31 14	-25,6	-5,2	283,8	
21 M	5 27	12 13 25	19 00	01 55 54,9	+11 51 42	-25,5	-5,0	270,6	
22 J	5 26	12 13 14	19 01	01 59 39,5	+12 11 59	-25,3	-5,0	257,3	
23 V	5 25	12 13 02	19 02	02 03 24,5	+12 32 03	-25,3	-4,9	244,1	
24 S	5 23	12 12 51	19 03	02 07 09,9	+12 51 55	-25,2	-4,8	231,0	
25 D	5 22	12 12 41	19 04	02 10 55,8	+13 11 34	-25,0	-4,8	217,8	
26 L	5 20	12 12 31	19 05	02 14 42,2	+13 30 60	-24,8	-4,7	204,6	
27 M	5 19	12 12 22	19 06	02 18 29,1	+13 50 12	-24,7	-4,5	191,3	
28 M	5 18	12 12 13	19 07	02 22 16,5	+14 09 11	-24,6	-4,5	178,1	
29 J	5 16	12 12 04	19 08	02 26 04,4	+14 27 56	-24,3	-4,4	164,9	
30 V	5 15	12 11 56	19 09	02 29 52,8	+14 46 27	-24,3	-4,3	151,6	

## SOL Mayo 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 S	5 14	12 11 49	19 10	02 33 41,8	+15 04 43	-24,1	-4,2	138,5	
2 D	5 13	12 11 42	19 11	02 37 31,3	+15 22 44	-23,8	-4,0	125,3	
3 L	5 11	12 11 36	19 12	02 41 21,4	+15 40 30	-23,7	-4,0	112,0	
4 M	5 10	12 11 31	19 13	02 45 12,0	+15 58 00	-23,5	-3,9	98,8	
5 M	5 09	12 11 25	19 14	02 49 03,2	+16 15 15	-23,3	-3,7	85,5	
6 J	5 08	12 11 21	19 15	02 52 55,0	+16 32 14	-23,1	-3,7	72,4	
7 V	5 07	12 11 17	19 17	02 56 47,4	+16 48 56	-22,8	-3,6	59,2	
8 S	5 06	12 11 14	19 18	03 00 40,3	+17 05 22	-22,7	-3,4	46,0	
9 D	5 04	12 11 11	19 19	03 04 33,9	+17 21 30	-22,3	-3,2	32,7	
10 L	5 03	12 11 09	19 20	03 08 28,0	+17 37 21	-22,2	-3,2	19,5	
11 M	5 02	12 11 07	19 20	03 12 22,7	+17 52 54	-22,0	-3,1	6,3	
12 M	5 01	12 11 06	19 21	03 16 17,9	+18 08 10	-21,7	-3,0	353,1	
13 J	5 00	12 11 06	19 22	03 20 13,8	+18 23 07	-21,3	-2,9	339,8	
14 V	4 59	12 11 06	19 23	03 24 10,2	+18 37 45	-21,2	-2,7	326,6	
15 S	4 58	12 11 07	19 24	03 28 07,2	+18 52 05	-20,8	-2,7	313,3	
16 D	4 57	12 11 08	19 25	03 32 04,7	+19 06 05	-20,6	-2,6	300,2	
17 L	4 57	12 11 10	19 26	03 36 02,8	+19 19 46	-20,3	-2,4	286,8	
18 M	4 56	12 11 12	19 27	03 40 01,4	+19 33 08	-20,1	-2,2	273,7	
19 M	4 55	12 11 15	19 28	03 44 00,6	+19 46 09	-19,8	-2,2	260,5	
20 J	4 54	12 11 18	19 29	03 48 00,3	+19 58 50	-19,5	-2,1	247,3	
21 V	4 53	12 11 22	19 30	03 52 00,5	+20 11 10	-19,1	-2,0	234,0	
22 S	4 53	12 11 27	19 31	03 56 01,2	+20 23 09	-18,8	-1,8	220,8	
23 D	4 52	12 11 32	19 32	04 00 02,4	+20 34 48	-18,5	-1,7	207,6	
24 L	4 51	12 11 37	19 33	04 04 04,1	+20 46 05	-18,2	-1,6	194,3	
25 M	4 50	12 11 43	19 33	04 08 06,3	+20 57 00	-17,8	-1,5	181,1	
26 M	4 50	12 11 49	19 34	04 12 09,0	+21 07 34	-17,5	-1,3	167,9	
27 J	4 49	12 11 56	19 35	04 16 12,2	+21 17 46	-17,2	-1,3	154,6	
28 V	4 49	12 12 04	19 36	04 20 15,9	+21 27 36	-16,8	-1,2	141,4	
29 S	4 48	12 12 11	19 37	04 24 20,0	+21 37 04	-16,5	-1,0	128,1	
30 D	4 48	12 12 20	19 37	04 28 24,6	+21 46 10	-16,1	-0,9	114,9	
31 L	4 47	12 12 28	19 38	04 32 29,6	+21 54 52	-15,6	-0,8	101,7	

## SOL Junio 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 M	4 47	12 12 37	19 39	04 36 35,1	+22 03 12	-15,4	-0,6	88,5	
2 M	4 46	12 12 47	19 40	04 40 40,9	+22 11 09	-15,0	-0,6	75,2	
3 J	4 46	12 12 57	19 40	04 44 47,2	+22 18 43	-14,6	-0,4	62,0	
4 V	4 46	12 13 07	19 41	04 48 53,8	+22 25 53	-14,1	-0,3	48,7	
5 S	4 45	12 13 18	19 42	04 53 00,8	+22 32 40	-13,8	-0,2	35,5	
6 D	4 45	12 13 29	19 42	04 57 08,2	+22 39 04	-13,4	-0,1	22,3	
7 L	4 45	12 13 40	19 43	05 01 15,8	+22 45 03	-13,0	+0,1	9,1	
8 M	4 45	12 13 52	19 43	05 05 23,8	+22 50 38	-12,6	+0,2	355,8	
9 M	4 44	12 14 03	19 44	05 09 32,0	+22 55 50	-12,1	+0,3	342,6	
10 J	4 44	12 14 15	19 44	05 13 40,5	+23 00 37	-11,8	+0,4	329,3	
11 V	4 44	12 14 28	19 45	05 17 49,3	+23 04 60	-11,4	+0,5	316,1	
12 S	4 44	12 14 40	19 45	05 21 58,2	+23 08 58	-11,0	+0,6	302,8	
13 D	4 44	12 14 53	19 46	05 26 07,3	+23 12 32	-10,6	+0,8	289,7	
14 L	4 44	12 15 06	19 46	05 30 16,5	+23 15 42	-10,1	+0,9	276,3	
15 M	4 44	12 15 18	19 47	05 34 25,9	+23 18 27	-09,6	+1,0	263,2	
16 M	4 44	12 15 31	19 47	05 38 35,4	+23 20 47	-09,3	+1,1	250,0	
17 J	4 44	12 15 44	19 47	05 42 44,9	+23 22 42	-08,9	+1,3	236,6	
18 V	4 44	12 15 57	19 48	05 46 54,5	+23 24 12	-08,4	+1,3	223,5	
19 S	4 44	12 16 10	19 48	05 51 04,1	+23 25 18	-08,0	+1,5	210,1	
20 D	4 45	12 16 23	19 48	05 55 13,7	+23 25 59	-07,5	+1,6	197,0	
21 L	4 45	12 16 36	19 48	05 59 23,2	+23 26 14	-07,0	+1,7	183,8	
22 M	4 45	12 16 49	19 49	06 03 32,8	+23 26 06	-06,7	+1,8	170,5	
23 M	4 45	12 17 02	19 49	06 07 42,2	+23 25 32	-06,2	+2,0	157,3	
24 J	4 46	12 17 15	19 49	06 11 51,6	+23 24 33	-05,8	+2,1	144,1	
25 V	4 46	12 17 28	19 49	06 16 00,9	+23 23 10	-05,3	+2,2	130,8	
26 S	4 46	12 17 40	19 49	06 20 10,1	+23 21 23	-04,9	+2,2	117,5	
27 D	4 47	12 17 53	19 49	06 24 19,1	+23 19 10	-04,4	+2,4	104,3	
28 L	4 47	12 18 05	19 49	06 28 27,9	+23 16 33	-04,0	+2,5	91,0	
29 M	4 47	12 18 17	19 49	06 32 36,6	+23 13 32	-03,5	+2,6	77,9	
30 M	4 48	12 18 29	19 49	06 36 45,1	+23 10 06	-03,1	+2,7	64,5	

Inicio del verano el día 21 a las 3<sup>h</sup>32<sup>m</sup> de TU.

## SOL Julio 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 J	4 48	12 18 40	19 49	06 40 53,3	+23 06 16	-02,6	+2,9	51,4	
2 V	4 49	12 18 52	19 49	06 45 01,3	+23 02 02	-02,2	+3,0	38,2	
3 S	4 49	12 19 03	19 48	06 49 09,1	+22 57 23	-01,7	+3,1	24,8	
4 D	4 50	12 19 13	19 48	06 53 16,6	+22 52 21	-01,3	+3,2	11,6	
5 L	4 51	12 19 24	19 48	06 57 23,7	+22 46 55	-00,8	+3,2	358,5	
6 M	4 51	12 19 34	19 48	07 01 30,6	+22 41 04	-00,3	+3,4	345,2	
7 M	4 52	12 19 44	19 47	07 05 37,1	+22 34 51	00,1	+3,5	332,0	
8 J	4 52	12 19 53	19 47	07 09 43,2	+22 28 13	00,6	+3,6	318,7	
9 V	4 53	12 20 02	19 47	07 13 49,0	+22 21 13	01,0	+3,7	305,5	
10 S	4 54	12 20 11	19 46	07 17 54,4	+22 13 49	01,5	+3,7	292,3	
11 D	4 54	12 20 19	19 46	07 21 59,3	+22 06 02	01,8	+3,9	279,0	
12 L	4 55	12 20 26	19 45	07 26 03,7	+21 57 53	02,4	+4,0	265,8	
13 M	4 56	12 20 34	19 45	07 30 07,7	+21 49 21	02,7	+4,0	252,6	
14 M	4 57	12 20 40	19 44	07 34 11,2	+21 40 26	03,2	+4,2	239,3	
15 J	4 57	12 20 46	19 44	07 38 14,2	+21 31 09	03,7	+4,3	226,1	
16 V	4 58	12 20 52	19 43	07 42 16,7	+21 21 31	04,0	+4,4	212,9	
17 S	4 59	12 20 57	19 42	07 46 18,6	+21 11 30	04,5	+4,5	199,6	
18 D	5 00	12 21 02	19 42	07 50 20,0	+21 01 08	05,0	+4,5	186,4	
19 L	5 01	12 21 06	19 41	07 54 20,8	+20 50 25	05,5	+4,7	173,1	
20 M	5 01	12 21 09	19 40	07 58 21,1	+20 39 20	05,9	+4,8	160,0	
21 M	5 02	12 21 12	19 40	08 02 20,7	+20 27 55	06,3	+4,9	146,6	
22 J	5 03	12 21 14	19 39	08 06 19,8	+20 16 10	06,7	+5,0	133,5	
23 V	5 04	12 21 16	19 38	08 10 18,4	+20 04 04	07,2	+5,0	120,3	
24 S	5 05	12 21 17	19 37	08 14 16,3	+19 51 38	07,5	+5,0	107,0	
25 D	5 06	12 21 17	19 36	08 18 13,6	+19 38 52	08,0	+5,2	93,8	
26 L	5 07	12 21 17	19 35	08 22 10,4	+19 25 47	08,4	+5,3	80,5	
27 M	5 08	12 21 17	19 34	08 26 06,5	+19 12 22	08,9	+5,4	67,3	
28 M	5 09	12 21 15	19 33	08 30 02,1	+18 58 39	09,3	+5,5	54,1	
29 J	5 09	12 21 13	19 32	08 33 57,1	+18 44 37	09,6	+5,5	40,9	
30 V	5 10	12 21 11	19 31	08 37 51,5	+18 30 16	10,1	+5,5	27,7	
31 S	5 11	12 21 08	19 30	08 41 45,3	+18 15 37	10,5	+5,7	14,4	

## SOL Agosto 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 D	5 12	12 21 04	19 29	08 45 38,5	+18 00 40	10,9	+5,8	1,2	
2 L	5 13	12 21 00	19 28	08 49 31,1	+17 45 25	11,3	+5,9	348,0	
3 M	5 14	12 20 55	19 27	08 53 23,1	+17 29 53	11,6	+5,9	334,8	
4 M	5 15	12 20 50	19 26	08 57 14,6	+17 14 03	12,0	+6,0	321,5	
5 J	5 16	12 20 44	19 25	09 01 05,5	+16 57 57	12,4	+6,0	308,3	
6 V	5 17	12 20 37	19 24	09 04 55,7	+16 41 35	12,8	+6,0	295,1	
7 S	5 18	12 20 30	19 22	09 08 45,4	+16 24 56	13,1	+6,2	281,8	
8 D	5 19	12 20 22	19 21	09 12 34,5	+16 08 01	13,6	+6,3	268,6	
9 L	5 20	12 20 14	19 20	09 16 23,0	+15 50 51	13,9	+6,3	255,4	
10 M	5 21	12 20 05	19 19	09 20 10,9	+15 33 26	14,3	+6,4	242,1	
11 M	5 22	12 19 55	19 17	09 23 58,3	+15 15 45	14,6	+6,4	229,0	
12 J	5 23	12 19 45	19 16	09 27 45,0	+14 57 50	15,0	+6,5	215,8	
13 V	5 24	12 19 35	19 15	09 31 31,2	+14 39 41	15,4	+6,5	202,5	
14 S	5 25	12 19 23	19 13	09 35 16,9	+14 21 17	15,6	+6,5	189,3	
15 D	5 26	12 19 12	19 12	09 39 01,9	+14 02 40	16,0	+6,5	176,1	
16 L	5 27	12 18 59	19 11	09 42 46,4	+13 43 50	16,3	+6,7	162,9	
17 M	5 28	12 18 47	19 09	09 46 30,4	+13 24 47	16,7	+6,7	149,6	
18 M	5 29	12 18 33	19 08	09 50 13,9	+13 05 31	17,0	+6,8	136,4	
19 J	5 30	12 18 19	19 06	09 53 56,8	+12 46 03	17,3	+6,8	123,2	
20 V	5 31	12 18 05	19 05	09 57 39,2	+12 26 23	17,7	+6,9	110,0	
21 S	5 32	12 17 50	19 03	10 01 21,2	+12 06 31	18,0	+6,9	96,8	
22 D	5 32	12 17 35	19 02	10 05 02,6	+11 46 27	18,3	+6,9	83,5	
23 L	5 33	12 17 19	19 00	10 08 43,6	+11 26 13	18,6	+7,0	70,4	
24 M	5 34	12 17 03	18 59	10 12 24,2	+11 05 48	18,8	+7,0	57,2	
25 M	5 35	12 16 46	18 57	10 16 04,4	+10 45 12	19,2	+7,0	43,9	
26 J	5 36	12 16 29	18 56	10 19 44,1	+10 24 26	19,5	+7,0	30,7	
27 V	5 37	12 16 12	18 54	10 23 23,5	+10 03 30	19,8	+7,0	17,5	
28 S	5 38	12 15 54	18 53	10 27 02,5	+09 42 24	20,0	+7,0	4,3	
29 D	5 39	12 15 36	18 51	10 30 41,2	+09 21 09	20,3	+7,0	351,1	
30 L	5 40	12 15 18	18 50	10 34 19,5	+08 59 46	20,6	+7,2	337,8	
31 M	5 41	12 14 59	18 48	10 37 57,5	+08 38 13	20,8	+7,2	324,7	

## SOL Setiembre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto h m	Culmin. h m s	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinac. ° ' "	P °	B °	L °	
1 M	5 42	12 14 40	18 46	10 41 35,3	+08 16 32	21,1	+7,2	311,5	
2 J	5 43	12 14 21	18 45	10 45 12,7	+07 54 43	21,3	+7,2	298,3	
3 V	5 44	12 14 01	18 43	10 48 49,9	+07 32 46	21,6	+7,2	285,0	
4 S	5 45	12 13 42	18 42	10 52 26,8	+07 10 41	21,8	+7,2	271,8	
5 D	5 46	12 13 22	18 40	10 56 03,5	+06 48 30	22,1	+7,2	258,6	
6 L	5 47	12 13 01	18 38	10 59 40,0	+06 26 12	22,3	+7,2	245,4	
7 M	5 48	12 12 41	18 37	11 03 16,2	+06 03 48	22,5	+7,3	232,1	
8 M	5 49	12 12 20	18 35	11 06 52,3	+05 41 17	22,7	+7,3	219,0	
9 J	5 50	12 12 00	18 33	11 10 28,1	+05 18 41	22,8	+7,3	205,8	
10 V	5 51	12 11 39	18 32	11 14 03,9	+04 55 59	23,1	+7,3	192,6	
11 S	5 52	12 11 18	18 30	11 17 39,4	+04 33 13	23,3	+7,2	179,4	
12 D	5 53	12 10 56	18 28	11 21 14,9	+04 10 21	23,5	+7,2	166,1	
13 L	5 54	12 10 35	18 27	11 24 50,2	+03 47 26	23,7	+7,2	153,0	
14 M	5 55	12 10 14	18 25	11 28 25,4	+03 24 26	23,8	+7,2	139,8	
15 M	5 56	12 09 52	18 23	11 32 00,6	+03 01 23	24,1	+7,2	126,5	
16 J	5 57	12 09 31	18 22	11 35 35,7	+02 38 17	24,2	+7,2	113,4	
17 V	5 58	12 09 09	18 20	11 39 10,8	+02 15 08	24,3	+7,2	100,2	
18 S	5 58	12 08 48	18 18	11 42 45,8	+01 51 56	24,5	+7,2	87,0	
19 D	5 59	12 08 27	18 17	11 46 20,9	+01 28 41	24,7	+7,0	73,8	
20 L	6 00	12 08 05	18 15	11 49 56,0	+01 05 25	24,8	+7,0	60,6	
21 M	6 01	12 07 44	18 13	11 53 31,1	+00 42 08	25,0	+7,0	47,4	
22 M	6 02	12 07 22	18 12	11 57 06,4	+00 18 48	25,1	+7,0	34,2	
23 J	6 03	12 07 01	18 10	12 00 41,7	-00 04 32	25,2	+7,0	21,0	
24 V	6 04	12 06 40	18 08	12 04 17,2	-00 27 53	25,3	+7,0	7,8	
25 S	6 05	12 06 20	18 07	12 07 52,8	-00 51 14	25,3	+7,0	354,6	
26 D	6 06	12 05 59	18 05	12 11 28,6	-01 14 36	25,5	+6,9	341,3	
27 L	6 07	12 05 38	18 03	12 15 04,7	-01 37 57	25,6	+6,9	328,2	
28 M	6 08	12 05 18	18 02	12 18 40,9	-02 01 18	25,7	+6,9	315,0	
29 M	6 09	12 04 58	18 00	12 22 17,4	-02 24 38	25,8	+6,8	301,8	
30 J	6 10	12 04 39	17 58	12 25 54,1	-02 47 56	25,8	+6,8	288,6	

Inicio del otoño el día 22 a las 19<sup>h</sup>21<sup>m</sup> de TU.

## SOL Octubre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 V	6 11	12 04 19	17 57	12 29 31,1	-03 11 13	26,0	+6,7	275,3	
2 S	6 12	12 04 00	17 55	12 33 08,5	-03 34 28	26,0	+6,7	262,2	
3 D	6 13	12 03 41	17 54	12 36 46,1	-03 57 41	26,1	+6,5	249,0	
4 L	6 14	12 03 23	17 52	12 40 24,1	-04 20 51	26,1	+6,5	235,8	
5 M	6 15	12 03 05	17 50	12 44 02,4	-04 43 58	26,2	+6,5	222,6	
6 M	6 16	12 02 47	17 49	12 47 41,1	-05 07 02	26,2	+6,5	209,4	
7 J	6 17	12 02 30	17 47	12 51 20,2	-05 30 02	26,2	+6,4	196,1	
8 V	6 18	12 02 13	17 45	12 54 59,7	-05 52 57	26,2	+6,3	183,0	
9 S	6 19	12 01 57	17 44	12 58 39,7	-06 15 48	26,3	+6,3	169,8	
10 D	6 20	12 01 41	17 42	13 02 20,0	-06 38 35	26,3	+6,2	156,6	
11 L	6 21	12 01 25	17 41	13 06 00,9	-07 01 15	26,3	+6,2	143,5	
12 M	6 23	12 01 10	17 39	13 09 42,1	-07 23 50	26,3	+6,0	130,3	
13 M	6 24	12 00 56	17 38	13 13 23,9	-07 46 19	26,2	+6,0	117,0	
14 J	6 25	12 00 42	17 36	13 17 06,2	-08 08 41	26,2	+6,0	103,9	
15 V	6 26	12 00 28	17 35	13 20 49,0	-08 30 56	26,2	+5,9	90,7	
16 S	6 27	12 00 15	17 33	13 24 32,3	-08 53 04	26,1	+5,8	77,5	
17 D	6 28	12 00 03	17 32	13 28 16,2	-09 15 04	26,1	+5,7	64,3	
18 L	6 29	11 59 51	17 30	13 32 00,7	-09 36 56	26,0	+5,7	51,1	
19 M	6 30	11 59 40	17 29	13 35 45,8	-09 58 39	26,0	+5,5	37,9	
20 M	6 31	11 59 30	17 27	13 39 31,5	-10 20 14	25,8	+5,5	24,7	
21 J	6 32	11 59 20	17 26	13 43 17,8	-10 41 40	25,8	+5,4	11,6	
22 V	6 33	11 59 11	17 24	13 47 04,8	-11 02 56	25,7	+5,3	358,3	
23 S	6 34	11 59 02	17 23	13 50 52,5	-11 24 02	25,6	+5,2	345,2	
24 D	6 36	11 58 54	17 22	13 54 40,9	-11 44 58	25,5	+5,0	332,0	
25 L	6 37	11 58 47	17 20	13 58 30,0	-12 05 43	25,3	+5,0	318,8	
26 M	6 38	11 58 41	17 19	14 02 19,8	-12 26 18	25,3	+5,0	305,6	
27 M	6 39	11 58 35	17 18	14 06 10,4	-12 46 41	25,2	+4,9	292,3	
28 J	6 40	11 58 30	17 16	14 10 01,7	-13 06 52	25,1	+4,8	279,2	
29 V	6 41	11 58 26	17 15	14 13 53,8	-13 26 51	24,8	+4,7	266,0	
30 S	6 42	11 58 23	17 14	14 17 46,7	-13 46 38	24,8	+4,5	252,9	
31 D	6 43	11 58 20	17 13	14 21 40,3	-14 06 11	24,6	+4,5	239,6	

## SOL Noviembre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU		a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>
1 L	6 45	11 58 19	17 11	14 25 34,8	-14 25 31	24,5	+4,4	226,5
2 M	6 46	11 58 18	17 10	14 29 30,1	-14 44 37	24,3	+4,3	213,3
3 M	6 47	11 58 18	17 09	14 33 26,2	-15 03 29	24,1	+4,2	200,1
4 J	6 48	11 58 19	17 08	14 37 23,1	-15 22 07	23,8	+4,0	186,9
5 V	6 49	11 58 20	17 07	14 41 20,9	-15 40 29	23,7	+4,0	173,6
6 S	6 50	11 58 23	17 06	14 45 19,5	-15 58 35	23,5	+3,9	160,6
7 D	6 52	11 58 26	17 05	14 49 18,9	-16 16 26	23,3	+3,7	147,4
8 L	6 53	11 58 30	17 04	14 53 19,2	-16 34 01	23,1	+3,7	134,1
9 M	6 54	11 58 35	17 03	14 57 20,3	-16 51 18	22,8	+3,5	121,0
10 M	6 55	11 58 41	17 02	15 01 22,2	-17 08 18	22,6	+3,4	107,8
11 J	6 56	11 58 47	17 01	15 05 24,9	-17 25 01	22,3	+3,2	94,5
12 V	6 57	11 58 55	17 00	15 09 28,5	-17 41 26	22,1	+3,2	81,5
13 S	6 59	11 59 03	16 59	15 13 32,9	-17 57 32	21,8	+3,1	68,3
14 D	7 00	11 59 12	16 58	15 17 38,1	-18 13 19	21,6	+3,0	55,1
15 L	7 01	11 59 22	16 57	15 21 44,1	-18 28 47	21,3	+2,9	41,9
16 M	7 02	11 59 33	16 57	15 25 51,0	-18 43 55	21,1	+2,7	28,7
17 M	7 03	11 59 44	16 56	15 29 58,7	-18 58 44	20,8	+2,6	15,5
18 J	7 04	11 59 57	16 55	15 34 07,3	-19 13 12	20,5	+2,5	2,4
19 V	7 06	12 00 10	16 54	15 38 16,6	-19 27 19	20,2	+2,4	349,2
20 S	7 07	12 00 24	16 54	15 42 26,8	-19 41 05	19,8	+2,2	336,0
21 D	7 08	12 00 39	16 53	15 46 37,8	-19 54 31	19,6	+2,1	322,8
22 L	7 09	12 00 55	16 53	15 50 49,7	-20 07 34	19,2	+2,0	309,6
23 M	7 10	12 01 11	16 52	15 55 02,3	-20 20 15	18,8	+1,8	296,3
24 M	7 11	12 01 28	16 51	15 59 15,7	-20 32 34	18,6	+1,8	283,3
25 J	7 12	12 01 46	16 51	16 03 29,9	-20 44 30	18,2	+1,6	270,1
26 V	7 13	12 02 05	16 51	16 07 44,8	-20 56 03	17,8	+1,5	256,8
27 S	7 14	12 02 25	16 50	16 12 00,6	-21 07 13	17,5	+1,3	243,6
28 D	7 15	12 02 45	16 50	16 16 17,0	-21 17 59	17,2	+1,3	230,5
29 L	7 17	12 03 06	16 49	16 20 34,2	-21 28 21	16,8	+1,1	217,4
30 M	7 18	12 03 28	16 49	16 24 52,1	-21 38 18	16,3	+1,0	204,1

## SOL Diciembre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culmin. <i>h m s</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinac. <i>° ' "</i>	P <i>°</i>	B <i>°</i>	L <i>°</i>	
1 M	7 19	12 03 50	16 49	16 29 10,7	-21 47 51	16,0	+0,9	191,0	
2 J	7 20	12 04 13	16 49	16 33 29,9	-21 56 59	15,6	+0,8	177,8	
3 V	7 21	12 04 37	16 48	16 37 49,8	-22 05 41	15,1	+0,6	164,6	
4 S	7 22	12 05 01	16 48	16 42 10,3	-22 13 58	14,8	+0,5	151,5	
5 D	7 22	12 05 26	16 48	16 46 31,4	-22 21 49	14,4	+0,4	138,3	
6 L	7 23	12 05 51	16 48	16 50 53,0	-22 29 15	14,0	+0,3	125,0	
7 M	7 24	12 06 17	16 48	16 55 15,2	-22 36 13	13,6	+0,1	111,9	
8 M	7 25	12 06 43	16 48	16 59 37,8	-22 42 46	13,1	+0,0	98,8	
9 J	7 26	12 07 10	16 48	17 04 00,9	-22 48 51	12,8	-0,1	85,5	
10 V	7 27	12 07 37	16 48	17 08 24,4	-22 54 29	12,3	-0,3	72,4	
11 S	7 28	12 08 05	16 48	17 12 48,3	-22 59 41	11,9	-0,4	59,2	
12 D	7 29	12 08 33	16 48	17 17 12,6	-23 04 24	11,5	-0,5	46,1	
13 L	7 29	12 09 01	16 49	17 21 37,2	-23 08 41	11,0	-0,6	32,9	
14 M	7 30	12 09 29	16 49	17 26 02,1	-23 12 29	10,6	-0,8	19,7	
15 M	7 31	12 09 58	16 49	17 30 27,3	-23 15 50	10,1	-0,9	6,5	
16 J	7 31	12 10 27	16 49	17 34 52,7	-23 18 44	09,6	-1,0	353,3	
17 V	7 32	12 10 56	16 50	17 39 18,4	-23 21 09	09,1	-1,2	340,2	
18 S	7 33	12 11 26	16 50	17 43 44,3	-23 23 06	08,8	-1,3	327,0	
19 D	7 33	12 11 55	16 51	17 48 10,3	-23 24 35	08,3	-1,3	313,8	
20 L	7 34	12 12 25	16 51	17 52 36,4	-23 25 36	07,8	-1,5	300,7	
21 M	7 34	12 12 55	16 51	17 57 02,6	-23 26 09	07,4	-1,7	287,5	
22 M	7 35	12 13 24	16 52	18 01 28,9	-23 26 13	06,9	-1,8	274,3	
23 J	7 35	12 13 54	16 53	18 05 55,2	-23 25 50	06,4	-1,8	261,1	
24 V	7 36	12 14 24	16 53	18 10 21,6	-23 24 58	05,9	-2,0	248,0	
25 S	7 36	12 14 54	16 54	18 14 47,9	-23 23 38	05,5	-2,2	234,8	
26 D	7 36	12 15 23	16 54	18 19 14,1	-23 21 50	05,0	-2,2	221,6	
27 L	7 37	12 15 53	16 55	18 23 40,2	-23 19 34	04,5	-2,4	208,4	
28 M	7 37	12 16 22	16 56	18 28 06,2	-23 16 49	04,0	-2,5	195,3	
29 M	7 37	12 16 51	16 57	18 32 32,1	-23 13 37	03,5	-2,6	182,1	
30 J	7 38	12 17 20	16 57	18 36 57,8	-23 09 57	03,0	-2,7	168,9	
31 V	7 38	12 17 49	16 58	18 41 23,2	-23 05 48	02,6	-2,9	155,8	

Inicio del invierno el día 21 a las 15<sup>h</sup>59<sup>m</sup> 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:

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

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:

$$\text{semidiámetro } s = \frac{0,269}{R} = \frac{960''}{R}$$

$$\text{movim. diario} \simeq \frac{59,1}{R^2}$$

$$\text{paralaje } p = \frac{8,794}{R}$$

$$\text{tiempo luz } \tau = 499^s R \simeq 499^s - 8^s \cos(0,986d)$$

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

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

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

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

La longitud y latitud eclípticas del Sol viene dadas por:

$$\lambda_{\odot} \simeq \odot \simeq 279^\circ + 0,9857 d + 1,9 \text{ sen}(0,9856 d - 4^\circ)$$

$$\beta_{\odot} \simeq 0^\circ$$

Las coordenadas rectangulares ecuatoriales del Sol viene dadas por:

$$x = R \cos \odot$$

$$y = 0,917 R \text{ sen } \odot$$

$$z = 0,398 R \text{ sen } \odot$$

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

$$\tan \alpha_{\odot} = y/x \quad (\alpha_{\odot} \text{ en el mismo cuadrante que } \odot)$$

$$\text{sen } \delta_{\odot} = z/R$$

## SOL 2021

Fecha	distancia R (UA)	semidiá- metro, s	movimiento diario ("/día)	paralaje horizontal	paso semidiám. por meridiano
Ene 1	0,98326	16'18"	61	8"94	70 <sup>s</sup> 6
Ene 11	0,98345	16'17"	61	8"94	70 <sup>s</sup> 0
Ene 21	0,98406	16'17"	61	8"94	69 <sup>s</sup> 1
Ene 31	0,98515	16'16"	61	8"93	68 <sup>s</sup> 0
Feb 10	0,98677	16'14"	61	8"91	66 <sup>s</sup> 8
Feb 20	0,98871	16'12"	61	8"89	65 <sup>s</sup> 8
Mar 2	0,99100	16'10"	60	8"87	65 <sup>s</sup> 0
Mar 12	0,99362	16'07"	60	8"85	64 <sup>s</sup> 4
Mar 22	0,99634	16'05"	60	8"83	64 <sup>s</sup> 1
Abr 1	0,99918	16'02"	59	8"80	64 <sup>s</sup> 1
Abr 11	1,00210	15'59"	59	8"78	64 <sup>s</sup> 4
Abr 21	1,00487	15'57"	59	8"75	65 <sup>s</sup> 0
May 1	1,00750	15'54"	58	8"73	65 <sup>s</sup> 7
May 11	1,00998	15'52"	58	8"71	66 <sup>s</sup> 5
May 21	1,01207	15'50"	58	8"69	67 <sup>s</sup> 3
May 31	1,01384	15'48"	58	8"67	67 <sup>s</sup> 9
Jun 10	1,01527	15'47"	57	8"66	68 <sup>s</sup> 4
Jun 20	1,01616	15'46"	57	8"65	68 <sup>s</sup> 5
Jun 30	1,01664	15'45"	57	8"65	68 <sup>s</sup> 4
Jul 10	1,01668	15'45"	57	8"65	67 <sup>s</sup> 9
Jul 20	1,01616	15'46"	57	8"65	67 <sup>s</sup> 2
Jul 30	1,01523	15'47"	57	8"66	66 <sup>s</sup> 4
Ago 9	1,01390	15'48"	58	8"67	65 <sup>s</sup> 5
Ago 19	1,01207	15'50"	58	8"69	64 <sup>s</sup> 7
Ago 29	1,00996	15'52"	58	8"71	64 <sup>s</sup> 1
Set 8	1,00758	15'54"	58	8"73	63 <sup>s</sup> 7
Set 18	1,00488	15'57"	59	8"75	63 <sup>s</sup> 6
Set 28	1,00211	15'59"	59	8"78	63 <sup>s</sup> 8
Oct 8	0,99928	16'02"	59	8"80	64 <sup>s</sup> 3
Oct 18	0,99638	16'05"	60	8"83	65 <sup>s</sup> 1
Oct 28	0,99366	16'07"	60	8"85	66 <sup>s</sup> 0
Nov 7	0,99112	16'10"	60	8"87	67 <sup>s</sup> 2
Nov 17	0,98876	16'12"	60	8"89	68 <sup>s</sup> 4
Nov 27	0,98682	16'14"	61	8"91	69 <sup>s</sup> 4
Dic 7	0,98527	16'16"	61	8"93	70 <sup>s</sup> 3
Dic 17	0,98408	16'17"	61	8"94	70 <sup>s</sup> 7
Dic 27	0,98346	16'17"	61	8"94	70 <sup>s</sup> 8

Estos valores se refieren a las 0<sup>h</sup> de Tiempo Universal.  
 1 ua (unidad astronómica) = 149 597 871 km

## Ortos y ocasos del Sol

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

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

La corrección en latitud depende de la diferencia de latitudes y de la declinación del Sol, o sea de la época del año. Puede encontrarse, para varios paralelos, en la página 146. El paralelo  $28^\circ$  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 12 de noviembre en Logroño. En las dos tablas siguientes se encuentra que las correcciones a aplicar son de  $-5^m$  en longitud y de  $+5^m$  en latitud (para la latitud de  $42^\circ 5'$ ).

$$\begin{aligned} \text{orto} &= 6^h 57^m + (-5^m) + (+5^m) = 6^h 57^m \text{ TU} \\ \text{ocaso} &= 17^h 00^m + (-5^m) - (+5^m) = 16^h 50^m \text{ TU} \end{aligned}$$

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

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

Para un lugar de longitud  $\lambda_E$ :

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

ocaso = ocaso en Madrid  $- 15^m - \lambda_E -$  corrección por latitud

*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  $\lambda_E = -1^h 1^m 39^s$ , en horario de verano:

orto =  $5^h 58^m - 15^m - (-1^h 2^m) + 6^m = 6^h 51^m$  TU =  $7^h 51^m$  TO

ocaso =  $18^h 40^m - 15^m - (-1^h 2^m) - 6^m = 19^h 21^m$  TU =  $20^h 21^m$  TO

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

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

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

Fecha	Latitud										Fecha
	28°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	
Dic 21	-33	-13	-10	-7	-5	-2	2	5	8	12	Dic 22
Dic 26	-32	-13	-10	-7	-4	-1	2	5	8	12	Dic 17
Dic 31	-32	-13	-10	-7	-4	-1	2	5	8	12	Dic 12
Ene 5	-31	-12	-10	-7	-4	-1	2	5	8	11	Dic 7
Ene 10	-30	-12	-9	-7	-4	-1	2	5	8	11	Dic 2
Ene 15	-28	-11	-9	-6	-4	-1	2	4	7	10	Nov 27
Ene 20	-27	-11	-8	-6	-4	-1	2	4	7	10	Nov 22
Ene 25	-25	-10	-8	-6	-3	-1	1	4	6	9	Nov 17
Ene 30	-23	-9	-7	-5	-3	-1	1	4	6	8	Nov 12
Feb 4	-21	-8	-6	-5	-3	-1	1	3	5	8	Nov 7
Feb 9	-19	-7	-6	-4	-2	-1	1	3	5	7	Nov 2
Feb 14	-16	-6	-5	-4	-2	-1	1	3	4	6	Oct 27
Feb 19	-14	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	4	5	Oct 22
Feb 24	-11	-4	-4	-3	-1	0	1	2	3	4	Oct 17
Mar 1	-9	-4	-3	-2	-1	0	1	1	2	3	Oct 12
Mar 6	-7	-3	-2	-1	-1	0	0	1	2	2	Oct 7
Mar 11	-4	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	Oct 2
Mar 16	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	Set 27
Mar 21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Set 22
Mar 26	4	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-1	Set 17
Mar 31	6	2	2	1	1	0	0	-1	-2	-2	Set 12
Abr 5	9	3	3	2	1	0	0	-1	-2	-3	Set 7
Abr 10	11	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	Set 2
Abr 15	13	5	4	3	2	1	-1	-2	-3	-5	Ago 28
Abr 20	16	6	5	3	2	1	-1	-2	-4	-6	Ago 23
Abr 25	18	7	6	4	2	1	-1	-3	-5	-7	Ago 17
Abr 30	20	8	6	5	3	1	-1	-3	-5	-7	Ago 12
May 5	23	9	7	5	3	1	-1	-4	-6	-8	Ago 7
May 10	25	10	8	5	3	1	-1	-4	-6	-9	Ago 2
May 15	27	11	8	6	4	1	-2	-4	-7	-10	Jul 28
May 20	28	11	9	6	4	1	-2	-4	-7	-10	Jul 23
May 25	30	12	9	7	4	1	-2	-5	-8	-11	Jul 18
May 30	31	12	10	7	4	1	-2	-5	-8	-12	Jul 13
Jun 4	32	13	10	7	4	1	-2	-5	-9	-12	Jul 8
Jun 9	33	13	10	7	4	1	-2	-5	-9	-12	Jul 3
Jun 14	34	13	11	8	5	1	-2	-5	-9	-13	Jun 28
Jun 19	34	14	11	8	5	1	-2	-5	-9	-13	Jun 23

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

ocaso = ocaso en Madrid  $-15^m - \lambda_E -$  corrección por latitud

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

- (1) se calculan la longitud del Sol,  $\odot$ , y el instante de culminación para el lugar usando la corrección dada en tabla de la página 145 o según de indica en la sección **Paso del Sol por el meridiano**.
- (2) se calcula el tiempo auxiliar:

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

- (3) para determinar el orto, se resta el valor  $H$  al instante de la culminación.
- (4) para determinar el ocaso, se suman ambos valores.

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

#### *Orientación del orto y del ocaso*

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

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

$$a \simeq \arccos(-0,008 - 0,452 \text{ sen } \odot), \quad \text{en Canarias.}$$

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

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

*Ejemplo:* En el día 21 de diciembre, en un lugar de latitud  $40^\circ$ , el Sol sale  $30^\circ$  al sur de la dirección Este y se pone  $30^\circ$  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					Fecha	
		28°	32°	36°	40°	44°		
Dic	21	-26	-27	-29	-30	-33	Dic	22
Dic	26	-26	-27	-29	-30	-32	Dic	17
Dic	31	-26	-27	-28	-30	-32	Dic	12
Ene	5	-25	-26	-28	-29	-31	Dic	7
Ene	10	-25	-26	-27	-28	-30	Dic	2
Ene	15	-24	-25	-26	-27	-29	Nov	27
Ene	20	-22	-23	-24	-26	-28	Nov	22
Ene	25	-21	-22	-23	-24	-26	Nov	17
Ene	30	-20	-20	-21	-22	-24	Nov	12
Feb	4	-18	-19	-19	-21	-22	Nov	7
Feb	9	-16	-17	-18	-18	-20	Nov	2
Feb	14	-14	-15	-15	-16	-17	Oct	27
Feb	19	-12	-13	-13	-14	-15	Oct	22
Feb	24	-10	-11	-11	-12	-12	Oct	17
Mar	1	-8	-8	-9	-9	-10	Oct	12
Mar	6	-6	-6	-6	-7	-7	Oct	7
Mar	11	-4	-4	-4	-4	-4	Oct	2
Mar	16	-1	-1	-1	-1	-1	Set	27
Mar	21	1	1	1	1	1	Set	22
Mar	26	3	3	3	4	4	Set	17
Mar	31	5	6	6	6	7	Set	12
Abr	5	7	8	8	9	9	Set	7
Abr	10	10	10	11	11	12	Set	2
Abr	15	12	12	13	14	15	Ago	28
Abr	20	14	14	15	16	17	Ago	23
Abr	25	16	16	17	18	19	Ago	17
Abr	30	17	18	19	20	22	Ago	12
May	5	19	20	21	22	24	Ago	7
May	10	21	22	23	24	26	Ago	2
May	15	22	23	24	26	28	Jul	28
May	20	23	24	26	27	29	Jul	23
May	25	24	26	27	29	31	Jul	18
May	30	25	27	28	30	32	Jul	13
Jun	4	26	27	29	31	33	Jul	8
Jun	9	27	28	30	31	34	Jul	3
Jun	14	27	28	30	32	34	Jun	28
Jun	19	27	29	30	32	35	Jun	23

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

$$\text{desviación} = 1^\circ - 24^\circ \cos(0.986d + 10^\circ) / \cos \phi$$

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

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

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

## Crepúsculos

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

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

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

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

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

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

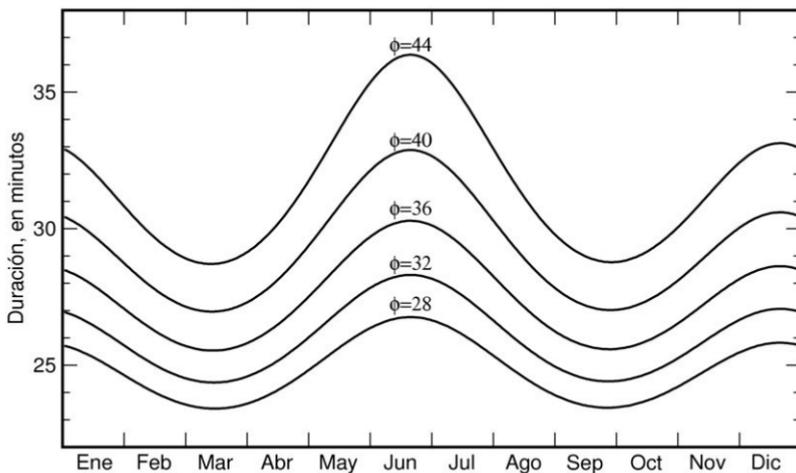
Duración, en minutos, del crepúsculo astronómico el día 15 del mes

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

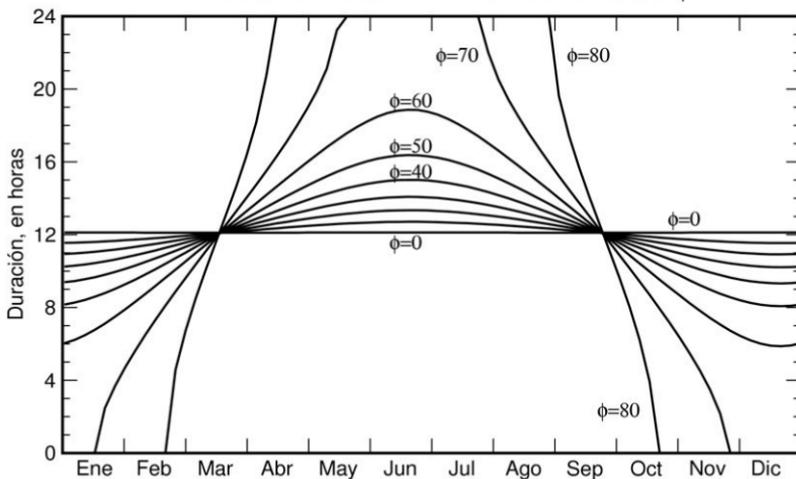
La duración aproximada del crepúsculo civil puede ser calculada mediante la siguiente fórmula, en la que  $\phi$  es la latitud del lugar y  $\delta_{\odot}$  es la declinación del Sol para el día considerado:

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

Duración del crepúsculo civil en función de la latitud  $\phi$



Duración del día en función de la latitud  $\phi$



## Tiempo de insolación (o duración del día)

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

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

Tiempo de insolación				
Latitud $\phi$ ( $^{\circ}$ )	Duración máxima (h min)	Duración mínima (h min)	Diferencia máx-mín (h min)	Cociente máx/mín
0	12 07	12 07	0	1,00
10	12 42	11 32	1 10	1,10
20	13 20	10 55	2 25	1,22
30	14 05	10 13	3 52	1,38
40	15 01	09 19	5 44	1,61
50	16 22	08 04	8 18	2,03
60	18 52	05 52	13 0	3,22
70	24 00	00 00		

En Madrid se tiene, para el año 2021:

- Día en que el Sol sale más tarde: 4 de enero
- Día en que el Sol sale más pronto: 14 de junio
- Día en que el Sol se pone más tarde: 27 de junio
- Día en que el Sol se pone más pronto: 7 de diciembre
- Día de mayor duración: 21 de junio (15<sup>h</sup>3<sup>m</sup>)
- Día de menor duración: 21 de diciembre (9<sup>h</sup>17<sup>m</sup>)

## 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  $\lambda_E$ , el instante de paso será:

$$\text{paso meridiano} = \text{paso meridiano en Madrid} - 14^m45^s - \lambda_E$$

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:

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

*Ejemplo:* al mediodía del día 1 de marzo la Ecuación de Tiempo es  $-3^m47^s$ , luego el Sol pasará por el meridiano de Madrid a las:

$$12^h - (-3^m47^s) - (-14^m45^s) = 12^h18^m32^s \text{ TU}$$

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 143:

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

## Rotaciones sinódicas del Sol

Las rotaciones sinódicas del Sol (o sea, tal como son vistas desde la Tierra) empezaron a numerarse a partir del 9 de noviembre de 1853 y su periodo medio es de  $27^d2753$ , correspondiente a una latitud heliográfica de  $26^\circ$ . 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 2021**

NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora
2240	Ene	22	7	2245	Jun	7	16	2250	Oct	21	21
2241	Feb	18	15	2246	Jul	4	21	2251	Nov	18	4
2242	Mar	17	23	2247	Ago	1	2	2252	Dic	15	12
2243	Abr	14	6	2248	Ago	28	8	2253	Ene	11	20
2244	May	11	11	2249	Set	24	14				

La primera rotación que se iniciará en 2021 es la número 2240, lo cual tendrá lugar el día 22 de enero a las 6<sup>h</sup>6 TU. La primera rotación en 2022 será la número 2253, iniciándose el 11 de enero a las 19<sup>h</sup>8 TU.

## Manchas solares

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

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

**Número relativo de manchas solares en los últimos 20 años**

año	manchas	año	manchas	año	manchas	año	manchas
2001	168	2006	26	2011	73	2016	41
2002	160	2007	13	2012	90	2017	21
2003	103	2008	4	2013	95	2018	8
2004	66	2009	6	2014	107	2019	4
2005	45	2010	26	2015	72	2020	5

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

# LUNA

Datos lunares

Coordenadas topocéntricas de la Luna

Efemérides diarias de la Luna

Ortos y ocasos de la Luna

Paso de la Luna por el meridiano

Distancia, semidiámetro y paralaje horizontal

Fases de la Luna

Perigeos y apogeos

## Unidades prácticas

$$\begin{array}{lll} \mathcal{R}_{\text{L}} & = 1\,738,14 \text{ km} & = 0,2725 \mathcal{R}_{\oplus} \\ \mathcal{M}_{\text{L}} & = 7,3463 \cdot 10^{22} \text{ kg} & = 0,0123 \mathcal{M}_{\oplus} \\ G\mathcal{M}_{\text{L}} & = 4,902\,8001 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} & = 0,0123000371 G \mathcal{M}_{\oplus} \end{array}$$

## Datos lunares

### Elementos medios de la órbita para 2021

Longitud media	$L_{\text{q}} = 114^{\circ}700051 + 13^{\circ}17639645 d$
Anomalía media	$M_{\text{q}} = 256^{\circ}937594 + 13^{\circ}06499304 d$
Longitud del perigeo medio	$\varpi_{\text{q}} = 217^{\circ}762453 + 0^{\circ}11140340 d$
Long. media del nodo ascendente	$\Omega_{\text{q}} = 78^{\circ}915673 - 0^{\circ}05295374 d$
Elongación media referida al Sol	$D_{\text{q}} = 194^{\circ}810733 + 12^{\circ}19074909 d$

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

### Coordenadas eclípticas verdaderas

Desarrollos aproximados de longitud eclíptica, latitud eclíptica y paralaje:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{q}} &= L_{\text{q}} + 377' \sin M_{\text{q}} + 76' \sin(2 D_{\text{q}} - M_{\text{q}}) + 40' \sin(2 D_{\text{q}}) + 13' \sin(2 M_{\text{q}}) \\ \beta_{\text{q}} &= 309' \sin(\lambda_{\text{q}} - \Omega_{\text{q}}) \\ \pi_{\text{q}} &= 57' + 3' \cos M_{\text{q}}\end{aligned}$$

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

$$\text{semidiámetro} = 0,2725 \pi_{\text{q}}, \quad \text{distancia geocéntrica} = \frac{1}{\sin \pi_{\text{q}}} R_{\oplus}$$

### Distancia

Distancia media	384400 km	60,268 $R_{\oplus}$
	en tiempo luz	1;28222
Distancias extremas:	mínima	356375 km = 55,874 $R_{\oplus}$
	máxima	406720 km = 63,768 $R_{\oplus}$
Semidiámetro medio:	geocéntrico	15'32"6
	topocéntrico (cénit)	15'48"3
Paralaje ecuatorial horizontal media		3422"608 = 57'02"608

### Otros datos orbitales

Excentricidad	$e_{\text{q}} = 0,054900489$	
Inclinación orbital media:	respecto de la eclíptica	$5^{\circ}145396$
	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:	$1^{\circ}54242 = 1^{\circ}32'32"7$	

Movimiento sidéreo medio diario	13° 176358
Intervalo medio entre tránsitos o pasos por el meridiano	24 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>
Velocidad orbital media	1,023 km s <sup>-1</sup> = 3683 km h <sup>-1</sup>
Aumento de la distancia a la Tierra	~4 m/siglo

### Traslación y rotación

Duración media de los meses:

mes sinódico (luna nueva)	29 <sup>d</sup> 5305884	29 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 02 <sup>s</sup> ;8
mes sidéreo (estrella a estrella)	27 <sup>d</sup> 3216616	27 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup> ;6
mes anomalístico (perigeo)	27 <sup>d</sup> 5545501	27 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup> ;1
mes trópico (equinoccio)	27 <sup>d</sup> 3215823	27 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup> ;7
mes draconítico (nodo)	27 <sup>d</sup> 212220	27 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> ;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 <sup>d</sup> 62005
periodo Saros = 223 meses sinódicos = 19 años eclípticos	
	= 6585,32 días = 18,03001 años trópicos

*Libraciones:*

Desplazamiento máximo:	en longitud: 7°9 (periodo=mes anomalístico)
	en latitud: 6°8 (periodo=mes draconítico)
	diurna: 1°0

Desplazamiento medio:

libración óptica en longitud:	6°15
libración óptica en latitud:	6°69
libración física en longitud:	0°025
libración física en latitud:	0°04

### Datos físicos

en unidades terrestres

Radio ecuatorial	$\mathcal{R}_{\perp} = 1738,14 \text{ km}$	$0,2725 \mathcal{R}_{\oplus}$
Radio medio	1737,42 km	
Superficie	$3,788 \cdot 10^7 \text{ km}^2$	0,0743
Volumen	$2,199 \cdot 10^{10} \text{ km}^3$	0,0203

Masa	$\mathcal{M}_\oplus = 7,3460 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	0,0123 $\mathcal{M}_\oplus$
Densidad media	$3,344 \text{ g cm}^{-3}$	0,6063
Constante gravitatoria	$G \mathcal{M}_\oplus = 4,902800 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	0,0123000371
Gravedad superficial	$1,623 \text{ m s}^{-2}$	0,1652
Velocidad de escape	$2,375 \text{ km s}^{-1}$	0,2123
Momento de inercia	$0,394 \mathcal{M}_\oplus \mathcal{R}_\oplus^2$	
Momento gravitatorio $J_2$	$202,7 \cdot 10^{-6}$	

### 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  $\lambda_E$  la longitud (en horas) y  $\phi$  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, 3<sup>er</sup> grado en las tablas de la Luna las coordenadas geocéntricas de ésta ( $\alpha_\oplus$ ,  $\delta_\oplus$ ) y la distancia  $r$  (en radios terrestres) para el instante  $TU$  considerado.

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

$$x = r \cos \delta_{\text{q}} \cos \alpha_{\text{q}} - \cos \phi \cos \theta$$

$$y = r \cos \delta_{\text{q}} \sin \alpha_{\text{q}} - \cos \phi \sin \theta$$

$$z = r \sin \delta_{\text{q}} - \sin \phi$$

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  $\alpha_t$  y  $\delta_t$  y el semidiámetro  $s_t$  vienen dados por:

$$\alpha_t = \arctan(y/x) \quad (\text{aprox. mismo cuadrante que } \alpha_{\text{q}})$$

$$\delta_t = \arcsen(z/r_t)$$

$$s_t = \frac{937'}{r_t}$$

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

$$\alpha_t = \alpha_{\text{q}} - \frac{57,30}{r} \frac{\cos \phi \sin(\theta - \alpha_{\text{q}})}{\cos \delta_{\text{q}}}$$

$$\delta_t = \delta_{\text{q}} - \frac{57,30}{r} [\cos \delta_{\text{q}} \sin \phi - \sin \delta_{\text{q}} \cos \phi \cos(\theta - \alpha_{\text{q}})]$$

## Efemérides de la Luna para 2021

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

En las dos columnas centrales se indica la posición aparente geocéntrica de la Luna a las 0<sup>h</sup> de TU, expresada en coordenadas ecuatoriales, **ascensión recta** y **declinación**. La determinación de tales coordenadas para un instante cualquiera se debe realizar con una interpolación de, al menos, 3<sup>er</sup> grado dada la complejidad del movimiento de la Luna (ver el apartado **Interpolación** en la sección *TABLAS*). Con una interpolación de 4<sup>to</sup> grado los errores pueden llegar a ser de algunos segundos de arco en ambas coordenadas y con una interpolación de 3<sup>er</sup> 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 ( $1 \mathcal{R}_{\oplus} = 6378,14 \text{ km}$ ). En este caso una interpolación de 3<sup>er</sup> grado bastará para obtener la distancia con una precisión de unos 2 km ( $0,0003 \mathcal{R}_{\oplus}$ ).

## Valores extremos en los siglos XX y XXI

Intervalos menor y mayor entre lunas nuevas consecutivas: 29<sup>d</sup>274 y 29<sup>d</sup>829

Intervalos menor y mayor entre perigeos sucesivos: 24<sup>d</sup>65 y 28<sup>d</sup>54

Intervalos menor y mayor entre dos apogeos sucesivos: 26<sup>d</sup>98 y 27<sup>d</sup>90

Valores extremos entre los que varía el perigeo lunar:

356 375 y 370 350 km

Valores extremos entre los que varía el apogeo lunar:

404 050 y 406 712 km

## LUNA Enero 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>			Declinación <i>° ' "</i>		
1 V	19 22	1 59	9 35	08 23	36,8		+23 01 21		60,5912
2 S	20 30	2 52	10 13	09 19	01,3		+20 12 55		60,0836
3 D	21 39	3 44	10 47	10 12	53,3		+16 18 14		59,6044
4 L	22 48	4 34	11 17	11 05	08,2		+11 30 30		59,1555
5 M	23 58	5 22	11 45	11 56	11,3		+06 04 46		58,7389
6 M	** **	6 10	12 12	12 46	49,1		+00 17 09		58,3606
7 J	1 09	7 00	12 41	13 38	00,1		-05 35 23		58,0336
8 V	2 21	7 51	13 13	14 30	45,5		-11 14 25		57,7794
9 S	3 35	8 45	13 49	15 25	58,1		-16 19 45		57,6269
10 D	4 49	9 43	14 32	16 24	06,9		-20 29 47		57,6065
11 L	6 00	10 43	15 23	17 24	58,3		-23 23 50		57,7447
12 M	7 06	11 44	16 22	18 27	25,0		-24 46 22		58,0562
13 M	8 02	12 44	17 28	19 29	37,7		-24 31 34		58,5379
14 J	8 49	13 40	18 36	20 29	42,7		-22 45 20		59,1670
15 V	9 27	14 32	19 44	21 26	21,7		-19 42 53		59,9018
16 S	9 59	15 21	20 49	22 19	08,7		-15 43 49		60,6878
17 D	10 27	16 05	21 52	23 08	21,8		-11 07 24		61,4630
18 L	10 51	16 48	22 53	23 54	45,2		-06 10 05		62,1668
19 M	11 14	17 28	23 52	00 39	15,0		-01 05 03		62,7452
20 M	11 37	18 09	** **	01 22	49,9		+03 57 16		63,1564
21 J	12 01	18 51	0 51	02 06	27,7		+08 47 56		63,3729
22 V	12 28	19 34	1 50	02 51	02,8		+13 18 27		63,3832
23 S	12 58	20 20	2 50	03 37	24,1		+17 19 38		63,1923
24 D	13 33	21 09	3 50	04 26	09,6		+20 41 04		62,8205
25 L	14 16	22 00	4 51	05 17	39,6		+23 10 58		62,3019
26 M	15 06	22 54	5 49	06 11	47,3		+24 37 06		61,6804
27 M	16 04	23 49	6 42	07 07	54,3		+24 48 52		61,0058
28 J	17 08	** **	7 30	08 04	56,0		+23 39 58		60,3294
29 V	18 17	0 44	8 11	09 01	40,2		+21 10 37		59,6978
30 S	19 28	1 38	8 47	09 57	10,9		+17 28 07		59,1482
31 D	20 39	2 29	9 19	10 51	03,0		+12 45 33		58,7044

Cuarto menguante	06 <sup>d</sup> 09 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
Luna nueva	13 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	20 <sup>d</sup> 21 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>
Luna llena	28 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>

Perigeo	9 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup>
Apogeo	21 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup>

## LUNA Febrero 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distan. $\mathcal{R}_{\oplus}$
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>		
1 L	21 50	3 19	9 48	11 43 24,9	+07 19 44	58,3763	
2 M	23 01	4 08	10 16	12 34 51,4	+01 29 03	58,1615	
3 M	** **	4 57	10 44	13 26 13,1	-04 27 32	58,0489	
4 J	0 12	5 48	11 14	14 18 26,9	-10 10 59	58,0247	
5 V	1 25	6 40	11 48	15 12 25,4	-15 22 07	58,0770	
6 S	2 37	7 35	12 28	16 08 44,4	-19 41 45	58,1999	
7 D	3 48	8 33	13 15	17 07 28,3	-22 51 46	58,3941	
8 L	4 54	9 32	14 10	18 07 58,0	-24 37 33	58,6650	
9 M	5 52	10 31	15 12	19 08 53,1	-24 51 17	59,0192	
10 M	6 42	11 28	16 18	20 08 35,4	-23 34 21	59,4597	
11 J	7 23	12 21	17 25	21 05 42,3	-20 57 07	59,9816	
12 V	7 57	13 11	18 32	21 59 30,2	-17 15 53	60,5679	
13 S	8 26	13 57	19 36	22 49 57,3	-12 49 01	61,1911	
14 D	8 52	14 41	20 39	23 37 32,0	-07 53 56	61,8127	
15 L	9 16	15 23	21 39	00 22 59,4	-02 45 44	62,3887	
16 M	9 39	16 04	22 39	01 07 11,5	+02 23 09	62,8728	
17 M	10 02	16 45	23 38	01 51 01,6	+07 22 16	63,2223	
18 J	10 28	17 28	** **	02 35 21,5	+12 02 26	63,4020	
19 V	10 56	18 12	0 38	03 20 59,2	+16 14 40	63,3881	
20 S	11 28	18 59	1 38	04 08 35,4	+19 49 32	63,1707	
21 D	12 07	19 49	2 37	04 58 38,4	+22 36 37	62,7556	
22 L	12 53	20 41	3 36	05 51 16,0	+24 24 48	62,1652	
23 M	13 47	21 36	4 31	06 46 09,9	+25 03 22	61,4374	
24 M	14 49	22 31	5 21	07 42 34,3	+24 23 58	60,6245	
25 J	15 57	23 25	6 05	08 39 27,6	+22 23 04	59,7881	
26 V	17 08	** **	6 43	09 35 50,5	+19 03 29	58,9948	
27 S	18 20	0 18	7 17	10 31 05,3	+14 34 49	58,3069	
28 D	19 34	1 10	7 48	11 25 04,2	+09 12 19	57,7761	

Cuarto menguante	04 <sup>d</sup> 17 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
Luna nueva	11 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	19 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>
Luna llena	27 <sup>d</sup> 08 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>

Perigeo	3 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup>
Apogeo	18 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>

## LUNA Marzo 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>			Declinación <i>° ' "</i>		
1 L	20 47	2 01	8 17	12 18	07,5	+03	15	13	57,4348
2 M	22 01	2 51	8 45	13 10	55,2	-02	54	59	57,2941
3 M	23 15	3 43	9 15	14 04	16,4	-08	55	60	57,3427
4 J	** **	4 36	9 49	14 58	58,3	-14	25	50	57,5531
5 V	0 29	5 31	10 27	15 55	33,7	-19	03	46	57,8878
6 S	1 41	6 28	11 11	16 54	07,7	-22	31	35	58,3090
7 D	2 49	7 27	12 04	17 54	07,1	-24	35	34	58,7837
8 L	3 49	8 25	13 03	18 54	23,4	-25	08	42	59,2878
9 M	4 40	9 22	14 07	19 53	31,4	-24	12	08	59,8061
10 M	5 22	10 15	15 13	20 50	17,6	-21	54	45	60,3308
11 J	5 58	11 05	16 19	21 44	00,8	-18	30	42	60,8574
12 V	6 28	11 52	17 24	22 34	36,1	-14	16	30	61,3811
13 S	6 54	12 36	18 26	23 22	26,3	-09	28	30	61,8931
14 D	7 18	13 18	19 27	00 08	11,0	-04	21	42	62,3779
15 L	7 41	13 59	20 27	00 52	36,7	+00	50	45	62,8137
16 M	8 04	14 41	21 27	01 36	31,9	+05	57	17	63,1728
17 M	8 28	15 23	22 27	02 20	43,9	+10	47	34	63,4247
18 J	8 55	16 06	23 27	03 05	56,3	+15	11	52	63,5389
19 V	9 26	16 52	** **	03 52	46,8	+19	00	34	63,4888
20 S	10 01	17 40	0 27	04 41	42,6	+22	03	48	63,2558
21 D	10 43	18 31	1 25	05 32	55,3	+24	11	27	62,8330
22 L	11 33	19 23	2 21	06 26	15,4	+25	13	48	62,2274
23 M	12 31	20 17	3 12	07 21	11,3	+25	02	44	61,4625
24 M	13 35	21 11	3 58	08 16	55,5	+23	33	20	60,5797
25 J	14 43	22 04	4 38	09 12	38,7	+20	45	20	59,6358
26 V	15 55	22 56	5 13	10 07	44,9	+16	43	56	58,7019
27 S	17 09	23 48	5 45	11 02	01,9	+11	39	51	57,8547
28 D	18 24	** **	6 14	11 55	43,2	+05	48	57	57,1684
29 L	19 39	0 39	6 43	12 49	22,5	-00	28	33	56,7040
30 M	20 56	1 31	7 13	13 43	45,4	-06	49	01	56,4985
31 M	22 13	2 25	7 46	14 39	37,6	-12	46	55	56,5593

Cuarto menguante	06 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>
Luna nueva	13 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	21 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>
Luna llena	28 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>

Perigeo	2 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>
Apogeo	18 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>
Perigeo	30 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup>

## LUNA Abril 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>	Distan. $\mathcal{R}_{\oplus}$
1 J	23 30	3 22	8 23	15 37 31,2	-17 56 53	56,8632
2 V	** **	4 20	9 07	16 37 28,9	-21 56 14	57,3654
3 S	0 41	5 20	9 57	17 38 52,4	-24 28 09	58,0064
4 D	1 45	6 20	10 56	18 40 24,9	-25 24 23	58,7258
5 L	2 40	7 18	11 59	19 40 33,4	-24 46 30	59,4700
6 M	3 24	8 12	13 05	20 38 00,6	-22 44 25	60,1969
7 M	4 01	9 03	14 11	21 32 06,3	-19 33 13	60,8780
8 J	4 32	9 50	15 15	22 22 49,6	-15 29 33	61,4972
9 V	4 58	10 34	16 18	23 10 38,0	-10 49 23	62,0470
10 S	5 23	11 16	17 19	23 56 14,4	-05 47 01	62,5245
11 D	5 45	11 57	18 19	00 40 27,9	-00 35 05	62,9289
12 L	6 08	12 38	19 18	01 24 07,6	+04 35 01	63,2558
13 M	6 31	13 20	20 18	02 08 00,7	+09 32 40	63,4977
14 M	6 57	14 03	21 18	02 52 49,6	+14 07 36	63,6421
15 J	7 26	14 48	22 18	03 39 09,8	+18 09 32	63,6724
16 V	7 59	15 35	23 18	04 27 26,2	+21 28 11	63,5706
17 S	8 38	16 24	** **	05 17 48,4	+23 53 24	63,3194
18 D	9 25	17 15	0 14	06 10 06,4	+25 15 50	62,9068
19 L	10 18	18 07	1 06	07 03 50,5	+25 27 59	62,3294
20 M	11 18	19 00	1 53	07 58 17,6	+24 25 19	61,5964
21 M	12 23	19 52	2 34	08 52 43,5	+22 07 05	60,7326
22 J	13 32	20 43	3 10	09 46 36,4	+18 36 39	59,7801
23 V	14 43	21 33	3 42	10 39 46,6	+14 01 30	58,7980
24 S	15 56	22 24	4 12	11 32 28,5	+08 33 03	57,8601
25 D	17 11	23 15	4 40	12 25 17,0	+02 26 50	57,0476
26 L	18 28	** **	5 09	13 19 01,0	-03 57 09	56,4385
27 M	19 47	0 09	5 40	14 14 33,6	-10 14 33	56,0946
28 M	21 06	1 05	6 15	15 12 38,4	-15 57 47	56,0501
29 J	22 24	2 05	6 57	16 13 30,7	-20 38 48	56,3046
30 V	23 34	3 07	7 46	17 16 38,0	-23 53 33	56,8234

Cuarto menguante	04 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>
Luna nueva	12 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	20 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>
Luna llena	27 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>

Apogeo	14 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup>
Perigeo	27 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup>

## LUNA Mayo 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>			Declinación <i>° ' "</i>		
1 S	** **	4 09	8 44	18 20	34,4	-25 27 16	57,5460		
2 D	0 35	5 10	9 48	19 23	23,1	-25 17 47	58,3988		
3 L	1 24	6 07	10 55	20 23	18,5	-23 34 53	59,3070		
4 M	2 04	7 00	12 02	21 19	21,5	-20 35 46	60,2049		
5 M	2 36	7 49	13 08	22 11	24,6	-16 39 43	61,0408		
6 J	3 04	8 34	14 11	22 59	58,4	-12 04 34	61,7803		
7 V	3 28	9 16	15 12	23 45	52,7	-07 05 26	62,4037		
8 S	3 51	9 57	16 12	00 30	03,8	-01 54 52	62,9033		
9 D	4 13	10 38	17 11	01 13	27,6	+03 16 18	63,2805		
10 L	4 36	11 19	18 11	01 56	56,1	+08 18 02	63,5408		
11 M	5 01	12 01	19 11	02 41	15,9	+13 00 25	63,6907		
12 M	5 28	12 45	20 11	03 27	06,0	+17 13 09	63,7350		
13 J	6 00	13 31	21 11	04 14	53,5	+20 45 32	63,6743		
14 V	6 37	14 20	22 09	05 04	48,9	+23 26 47	63,5052		
15 S	7 21	15 11	23 03	05 56	41,5	+25 06 59	63,2214		
16 D	8 11	16 02	23 51	06 49	58,6	+25 38 16	62,8156		
17 L	9 09	16 54	** **	07 43	52,8	+24 56 10	62,2822		
18 M	10 11	17 45	0 34	08 37	35,1	+23 00 18	61,6229		
19 M	11 17	18 35	1 10	09 30	29,9	+19 54 18	60,8482		
20 J	12 25	19 24	1 43	10 22	25,3	+15 45 10	59,9830		
21 V	13 35	20 12	2 12	11 13	34,8	+10 42 33	59,0678		
22 S	14 46	21 02	2 39	12 04	34,3	+04 58 43	58,1596		
23 D	16 00	21 53	3 06	12 56	16,1	-01 11 02	57,3286		
24 L	17 17	22 47	3 35	13 49	41,2	-07 27 25	56,6507		
25 M	18 36	23 44	4 08	14 45	49,4	-13 26 27	56,1976		
26 M	19 55	** **	4 46	15 45	21,6	-18 40 18	56,0226		
27 J	21 12	0 46	5 31	16 48	16,2	-22 40 18	56,1507		
28 V	22 20	1 50	6 26	17 53	27,6	-25 03 01	56,5712		
29 S	23 16	2 54	7 29	18 58	50,9	-25 36 55	57,2406		
30 D	** **	3 55	8 38	20 02	04,6	-24 25 47	58,0911		
31 L	0 02	4 52	9 48	21 01	25,6	-21 45 54	59,0434		

Cuarto menguante	03 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>
Luna nueva	11 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	19 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>
Luna llena	26 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>

Apogeo	11 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup>
Perigeo	26 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup>

## LUNA Junio 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>			Declinación <i>° ' "</i>		
1 M	0 38	5 44	10 57	21 56	16,1	-17 59	14	60,0184	
2 M	1 08	6 31	12 02	22 46	54,1	-13 27	21	60,9472	
3 J	1 33	7 15	13 05	23 34	09,8	-08 28	20	61,7763	
4 V	1 57	7 56	14 05	00 19	05,3	-03 16	26	62,4696	
5 S	2 19	8 37	15 05	01 02	43,8	+01 57	03	63,0077	
6 D	2 41	9 18	16 04	01 46	04,7	+07 02	25	63,3851	
7 L	3 05	9 59	17 04	02 30	01,8	+11 50	28	63,6072	
8 M	3 31	10 43	18 04	03 15	20,9	+16 11	39	63,6872	
9 M	4 01	11 29	19 04	04 02	36,7	+19 55	37	63,6407	
10 J	4 37	12 17	20 03	04 52	06,7	+22 51	24	63,4836	
11 V	5 18	13 07	20 59	05 43	45,9	+24 48	15	63,2296	
12 S	6 07	13 59	21 49	06 37	03,3	+25 37	11	62,8883	
13 D	7 03	14 51	22 34	07 31	07,4	+25 12	39	62,4645	
14 L	8 04	15 42	23 12	08 25	00,3	+23 33	45	61,9607	
15 M	9 08	16 32	23 45	09 17	55,4	+20 44	23	61,3788	
16 M	10 15	17 20	** **	10 09	30,8	+16 52	13	60,7232	
17 J	11 22	18 07	0 14	10 59	52,8	+12 07	30	60,0057	
18 V	12 31	18 55	0 41	11 49	32,8	+06 42	06	59,2481	
19 S	13 41	19 43	1 08	12 39	21,0	+00 49	26	58,4859	
20 D	14 54	20 33	1 35	13 30	19,7	-05 14	48	57,7670	
21 L	16 09	21 28	2 04	14 23	35,5	-11 11	34	57,1494	
22 M	17 27	22 26	2 38	15 20	08,0	-16 37	45	56,6955	
23 M	18 45	23 28	3 18	16 20	29,1	-21 06	48	56,4608	
24 J	19 57	** **	4 08	17 24	17,0	-24 12	19	56,4835	
25 V	21 00	0 33	5 08	18 29	59,6	-25 34	29	56,7751	
26 S	21 52	1 37	6 15	19 35	12,5	-25 06	51	57,3171	
27 D	22 34	2 37	7 27	20 37	34,5	-22 58	35	58,0625	
28 L	23 07	3 33	8 38	21 35	39,9	-19 29	56	58,9446	
29 M	23 35	4 23	9 47	22 29	12,4	-15 04	56	59,8877	
30 M	** **	5 10	10 53	23 18	45,7	-10 05	33	60,8170	

Cuarto menguante	02 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>
Luna nueva	10 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	18 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>
Luna llena	24 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>

Apogeo	8 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup>
Perigeo	23 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>

## LUNA Julio 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distan. $\mathcal{R}_{\oplus}$
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>		
1 J	0 00	5 53	11 55	00 05 18,5	-04 49 29	61,6673	
2 V	0 23	6 35	12 56	00 49 56,4	+00 29 44	62,3880	
3 S	0 45	7 16	13 56	01 33 43,8	+05 41 27	62,9453	
4 D	1 09	7 57	14 55	02 17 40,3	+10 36 33	63,3218	
5 L	1 34	8 40	15 55	03 02 38,4	+15 06 09	63,5150	
6 M	2 02	9 25	16 56	03 49 21,1	+19 00 49	63,5354	
7 M	2 36	10 12	17 55	04 38 16,3	+22 10 11	63,4029	
8 J	3 15	11 02	18 53	05 29 30,3	+24 23 26	63,1428	
9 V	4 02	11 54	19 45	06 22 42,2	+25 30 35	62,7830	
10 S	4 56	12 46	20 32	07 17 05,0	+25 24 21	62,3500	
11 D	5 56	13 38	21 13	08 11 36,7	+24 02 04	61,8664	
12 L	7 01	14 29	21 47	09 05 19,6	+21 26 30	61,3497	
13 M	8 07	15 18	22 18	09 57 37,4	+17 45 20	60,8116	
14 M	9 15	16 06	22 45	10 48 23,5	+13 09 41	60,2600	
15 J	10 22	16 52	23 11	11 37 59,1	+07 52 38	59,7010	
16 V	11 31	17 39	23 37	12 27 07,3	+02 08 19	59,1435	
17 S	12 41	18 28	** **	13 16 45,6	-03 48 03	58,6020	
18 D	13 53	19 19	0 05	14 07 58,6	-09 39 36	58,0991	
19 L	15 08	20 13	0 35	15 01 49,7	-15 06 54	57,6673	
20 M	16 23	21 12	1 12	15 59 06,9	-19 47 44	57,3452	
21 M	17 36	22 14	1 56	17 00 01,4	-23 18 16	57,1736	
22 J	18 43	23 18	2 50	18 03 45,3	-25 17 06	57,1865	
23 V	19 39	** **	3 53	19 08 28,2	-25 31 17	57,4048	
24 S	20 26	0 20	5 03	20 11 50,8	-24 01 14	57,8291	
25 D	21 03	1 18	6 16	21 11 58,1	-21 00 39	58,4364	
26 L	21 34	2 12	7 27	22 07 55,4	-16 51 19	59,1834	
27 M	22 01	3 01	8 36	22 59 47,1	-11 56 45	60,0113	
28 M	22 25	3 46	9 41	23 48 15,2	-06 37 49	60,8550	
29 J	22 48	4 29	10 43	00 34 18,9	-01 11 15	61,6492	
30 V	23 11	5 11	11 44	01 19 01,1	+04 09 56	62,3374	
31 S	23 35	5 53	12 45	02 03 22,4	+09 15 20	62,8742	

Cuarto menguante	01 <sup>d</sup> 21 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>
Luna nueva	10 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	17 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>
Luna llena	24 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	31 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>

Apogeo	5 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup>
Perigeo	21 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup>

## LUNA Agosto 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>			Distan. $\mathcal{R}_{\oplus}$	
1 D	** **	6 35	13 45	02 48 18,2	+13 55 52	63,2298			
2 L	0 02	7 19	14 46	03 34 36,2	+18 02 35	63,3900			
3 M	0 34	8 06	15 46	04 22 51,9	+21 26 02	63,3558			
4 M	1 11	8 55	16 44	05 13 23,2	+23 56 08	63,1430			
5 J	1 55	9 46	17 38	06 06 03,3	+25 22 49	62,7781			
6 V	2 47	10 39	18 27	07 00 18,1	+25 37 39	62,2970			
7 S	3 45	11 31	19 10	07 55 12,4	+24 35 49	61,7397			
8 D	4 49	12 23	19 48	08 49 45,5	+22 17 35	61,1473			
9 L	5 57	13 14	20 20	09 43 10,4	+18 48 50	60,5564			
10 M	7 05	14 02	20 49	10 35 06,1	+14 20 07	59,9975			
11 M	8 14	14 50	21 15	11 25 40,8	+09 05 15	59,4914			
12 J	9 23	15 37	21 41	12 15 26,9	+03 19 53	59,0495			
13 V	10 33	16 25	22 08	13 05 13,6	-02 39 13	58,6761			
14 S	11 44	17 15	22 37	13 55 59,3	-08 34 20	58,3709			
15 D	12 57	18 08	23 11	14 48 43,4	-14 06 32	58,1343			
16 L	14 11	19 04	23 51	15 44 15,1	-18 55 34	57,9696			
17 M	15 23	20 03	** **	16 42 56,8	-22 40 25	57,8861			
18 M	16 30	21 05	0 40	17 44 25,4	-25 01 40	57,8981			
19 J	17 29	22 06	1 38	18 47 23,7	-25 45 32	58,0219			
20 V	18 19	23 05	2 45	19 49 57,0	-24 48 16	58,2719			
21 S	18 59	23 58	3 56	20 50 13,8	-22 17 44	58,6540			
22 D	19 32	** **	5 07	21 47 03,8	-18 30 57	59,1621			
23 L	20 00	0 51	6 17	22 40 09,4	-13 49 14	59,7752			
24 M	20 25	1 38	7 24	23 29 54,6	-08 33 49	60,4584			
25 M	20 49	2 22	8 28	00 17 06,5	-03 03 22	61,1658			
26 J	21 12	3 05	9 31	01 02 40,9	+02 26 47	61,8460			
27 V	21 36	3 47	10 32	01 47 34,5	+07 44 08	62,4464			
28 S	22 02	4 29	11 33	02 32 40,6	+12 38 10	62,9204			
29 D	22 32	5 13	12 34	03 18 46,3	+16 59 28	63,2300			
30 L	23 06	5 59	13 34	04 06 29,4	+20 38 49	63,3497			
31 M	23 47	6 47	14 33	04 56 13,3	+23 26 48	63,2687			

Luna nueva	08 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	15 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>
Luna llena	22 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	30 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>

Apogeo	2 <sup>d</sup> 08 <sup>h</sup>
Perigeo	17 <sup>d</sup> 09 <sup>h</sup>
Apogeo	30 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup>

## LUNA Setiembre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>			Declinación <i>° ' "</i>		
1 M	** **	7 37	15 29	05 48	01,3	+25 14	04	62,9915	
2 J	0 35	8 29	16 20	06 41	32,7	+25 52	11	62,5381	
3 V	1 31	9 21	17 06	07 36	05,1	+25 15	07	61,9424	
4 S	2 33	10 14	17 45	08 30	45,5	+23 20	51	61,2498	
5 D	3 40	11 05	18 19	09 24	45,7	+20 12	19	60,5140	
6 L	4 49	11 55	18 49	10 17	37,7	+15 57	27	59,7909	
7 M	5 59	12 44	19 17	11 09	19,1	+10 48	31	59,1327	
8 M	7 10	13 32	19 43	12 00	12,3	+05 01	05	58,5827	
9 J	8 21	14 21	20 10	12 50	58,2	-01 06	48	58,1694	
10 V	9 34	15 11	20 39	13 42	28,4	-07 15	20	57,9046	
11 S	10 48	16 04	21 12	14 35	37,0	-13 03	27	57,7848	
12 D	12 02	16 59	21 50	15 31	09,0	-18 09	24	57,7942	
13 L	13 15	17 58	22 36	16 29	26,0	-22 11	55	57,9119	
14 M	14 24	18 58	23 30	17 30	09,4	-24 52	17	58,1164	
15 M	15 25	19 58	** **	18 32	13,4	-25 57	36	58,3909	
16 J	16 16	20 57	0 33	19 33	58,2	-25 23	53	58,7249	
17 V	16 58	21 52	1 42	20 33	43,3	-23 17	19	59,1133	
18 S	17 32	22 43	2 52	21 30	21,5	-19 52	10	59,5549	
19 D	18 01	23 31	4 02	22 23	31,7	-15 27	10	60,0470	
20 L	18 27	** **	5 09	23 13	31,3	-10 21	50	60,5825	
21 M	18 51	0 16	6 14	00 01	01,1	-04 54	18	61,1466	
22 M	19 14	0 59	7 17	00 46	51,9	+00 39	28	61,7160	
23 J	19 37	1 41	8 19	01 31	56,4	+06 05	44	62,2595	
24 V	20 02	2 24	9 21	02 17	04,4	+11 12	32	62,7403	
25 S	20 30	3 07	10 22	03 03	00,4	+15 49	11	63,1198	
26 D	21 03	3 52	11 23	03 50	20,0	+19 45	41	63,3616	
27 L	21 41	4 39	12 23	04 39	26,4	+22 52	30	63,4350	
28 M	22 25	5 28	13 20	05 30	25,3	+25 00	37	63,3196	
29 M	23 17	6 19	14 12	06 23	01,8	+26 02	03	63,0077	
30 J	** **	7 11	15 00	07 16	42,2	+25 50	53	62,5055	

Luna nueva	07 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	13 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>
Luna llena	20 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	29 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>

Perigeo	11 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>
Apogeo	26 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup>

## LUNA Octubre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>			Declinación <i>° ' "</i>		
1 V	0 16	8 02	15 41	08 10 41,8	+24 24 16	61,8371			
2 S	1 20	8 54	16 16	09 04 18,5	+21 43 12	61,0417			
3 D	2 28	9 44	16 48	09 57 05,1	+17 52 47	60,1739			
4 L	3 38	10 33	17 16	10 48 57,1	+13 02 00	59,2993			
5 M	4 49	11 22	17 43	11 40 12,9	+07 23 33	58,4880			
6 M	6 01	12 11	18 10	12 31 29,7	+01 13 42	57,8073			
7 J	7 15	13 02	18 39	13 23 37,0	-05 07 47	57,3117			
8 V	8 31	13 55	19 10	14 17 28,2	-11 18 00	57,0347			
9 S	9 48	14 51	19 47	15 13 49,0	-16 51 59	56,9847			
10 D	11 04	15 50	20 31	16 13 01,1	-21 24 36	57,1454			
11 L	12 17	16 52	21 24	17 14 43,9	-24 33 48	57,4813			
12 M	13 21	17 53	22 26	18 17 46,2	-26 04 41	57,9466			
13 M	14 15	18 53	23 33	19 20 20,5	-25 52 53	58,4941			
14 J	14 59	19 48	** **	20 20 40,6	-24 05 08	59,0828			
15 V	15 35	20 40	0 43	21 17 37,6	-20 56 23	59,6813			
16 S	16 05	21 28	1 52	22 10 52,2	-16 45 26	60,2696			
17 D	16 31	22 13	2 59	23 00 45,8	-11 51 08	60,8365			
18 L	16 55	22 56	4 03	23 48 02,5	-06 30 44	61,3759			
19 M	17 17	23 38	5 06	00 33 35,8	-00 59 18	61,8840			
20 M	17 40	** **	6 08	01 18 19,9	+04 29 47	62,3540			
21 J	18 04	0 20	7 10	02 03 05,8	+09 44 24	62,7757			
22 V	18 31	1 03	8 11	02 48 37,8	+14 33 09	63,1322			
23 S	19 02	1 47	9 13	03 35 31,4	+18 45 11	63,4022			
24 D	19 37	2 33	10 13	04 24 08,9	+22 10 02	63,5598			
25 L	20 19	3 22	11 12	05 14 34,9	+24 38 05	63,5800			
26 M	21 08	4 11	12 06	06 06 33,7	+26 01 11	63,4397			
27 M	22 03	5 02	12 55	06 59 31,5	+26 13 31	63,1229			
28 J	23 04	5 53	13 37	07 52 44,0	+25 12 27	62,6242			
29 V	** **	6 44	14 14	08 45 30,2	+22 58 50	61,9518			
30 S	0 08	7 33	14 46	09 37 24,2	+19 36 47	61,1308			
31 D	1 16	8 21	15 15	10 28 22,3	+15 13 14	60,2034			

Luna nueva	06 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	13 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>
Luna llena	20 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	28 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>

Perigeo	8 <sup>d</sup> 17 <sup>h</sup>
Apogeo	24 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup>

## LUNA Noviembre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distan. $\mathcal{R}_{\oplus}$
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>		
1 L	2 25	9 09	15 42	11 18 43,7	+09 57 42	59,2298	
2 M	3 35	9 57	16 08	12 09 06,8	+04 02 31	58,2834	
3 M	4 48	10 47	16 36	13 00 24,4	-02 16 22	57,4452	
4 J	6 04	11 39	17 06	13 53 36,3	-08 38 36	56,7922	
5 V	7 22	12 35	17 41	14 49 39,7	-14 39 10	56,3866	
6 S	8 42	13 35	18 22	15 49 11,3	-19 49 37	56,2635	
7 D	9 59	14 38	19 13	16 52 04,0	-23 41 43	56,4253	
8 L	11 10	15 42	20 14	17 57 07,3	-25 53 18	56,8414	
9 M	12 10	16 45	21 21	19 02 14,9	-26 14 26	57,4569	
10 M	12 59	17 44	22 32	20 05 09,7	-24 49 56	58,2049	
11 J	13 38	18 37	23 43	21 04 15,4	-21 56 15	59,0166	
12 V	14 10	19 27	** **	21 58 59,9	-17 55 00	59,8329	
13 S	14 37	20 12	0 51	22 49 44,4	-13 07 29	60,6083	
14 D	15 01	20 55	1 56	23 37 19,5	-07 52 02	61,3126	
15 L	15 23	21 37	2 59	00 22 47,0	-02 23 43	61,9292	
16 M	15 45	22 18	4 00	01 07 08,5	+03 04 48	62,4528	
17 M	16 09	23 00	5 01	01 51 21,2	+08 22 15	62,8832	
18 J	16 34	23 44	6 03	02 36 15,3	+13 17 51	63,2232	
19 V	17 03	** **	7 04	03 22 31,1	+17 40 50	63,4744	
20 S	17 36	0 29	8 05	04 10 35,0	+21 20 18	63,6346	
21 D	18 16	1 17	9 04	05 00 34,8	+24 05 45	63,6963	
22 L	19 02	2 06	10 00	05 52 15,2	+25 47 59	63,6480	
23 M	19 55	2 57	10 51	06 44 59,3	+26 20 25	63,4754	
24 M	20 53	3 48	11 35	07 37 57,1	+25 40 06	63,1639	
25 J	21 56	4 38	12 14	08 30 20,1	+23 48 05	62,7030	
26 V	23 00	5 26	12 47	09 21 35,7	+20 48 59	62,0892	
27 S	** **	6 14	13 16	10 11 35,6	+16 49 54	61,3312	
28 D	0 06	7 00	13 42	11 00 36,7	+11 59 35	60,4530	
29 L	1 14	7 46	14 08	11 49 16,8	+06 28 09	59,4963	
30 M	2 23	8 33	14 33	12 38 30,3	+00 27 42	58,5206	

Luna nueva	04 <sup>d</sup> 21 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	11 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>
Luna llena	19 <sup>d</sup> 08 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	27 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>

Perigeo	5 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup>
Apogeo	21 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup>

## LUNA Diciembre 2021

Día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>			Distan. $\mathcal{R}_{\oplus}$	
1 M	3 35	9 23	15 01	13 29 22,3	-05	46	26	57,6002	
2 J	4 51	10 16	15 33	14 23 02,4	-11	54	15	56,8180	
3 V	6 10	11 14	16 10	15 20 31,4	-17	30	15	56,2530	
4 S	7 30	12 16	16 57	16 22 17,9	-22	04	36	55,9675	
5 D	8 47	13 22	17 54	17 27 47,4	-25	07	53	55,9945	
6 L	9 55	14 28	19 01	18 35 05,3	-26	19	16	56,3289	
7 M	10 51	15 31	20 14	19 41 25,5	-25	34	06	56,9308	
8 M	11 36	16 29	21 28	20 44 18,9	-23	05	01	57,7332	
9 J	12 11	17 22	22 39	21 42 27,3	-19	15	32	58,6554	
10 V	12 40	18 09	23 47	22 35 49,0	-14	31	25	59,6173	
11 S	13 05	18 54	** **	23 25 10,3	-09	15	14	60,5492	
12 D	13 28	19 36	0 51	00 11 38,4	-03	44	44	61,3971	
13 L	13 51	20 18	1 54	00 56 23,4	+01	46	27	62,1251	
14 M	14 13	20 59	2 55	01 40 31,0	+07	07	14	62,7143	
15 M	14 38	21 42	3 55	02 24 59,7	+12	07	46	63,1595	
16 J	15 05	22 27	4 56	03 10 38,2	+16	38	15	63,4658	
17 V	15 37	23 13	5 57	03 58 02,0	+20	28	30	63,6436	
18 S	16 15	** **	6 57	04 47 28,2	+23	28	00	63,7059	
19 D	16 59	0 02	7 55	05 38 49,4	+25	26	48	63,6640	
20 L	17 50	0 53	8 47	06 31 32,4	+26	16	57	63,5246	
21 M	18 47	1 44	9 34	07 24 44,2	+25	54	07	63,2910	
22 M	19 48	2 34	10 14	08 17 27,1	+24	18	33	62,9606	
23 J	20 52	3 23	10 49	09 08 56,2	+21	34	56	62,5288	
24 V	21 56	4 10	11 18	09 58 51,3	+17	51	10	61,9912	
25 S	23 01	4 56	11 45	10 47 19,9	+13	17	00	61,3473	
26 D	** **	5 41	12 10	11 34 53,6	+08	03	01	60,6052	
27 L	0 07	6 26	12 34	12 22 22,0	+02	20	31	59,7857	
28 M	1 15	7 13	13 00	13 10 48,1	-03	37	51	58,9242	
29 M	2 27	8 02	13 28	14 01 23,2	-09	36	40	58,0728	
30 J	3 41	8 55	14 01	14 55 19,1	-15	16	18	57,2979	
31 V	4 59	9 53	14 42	15 53 33,1	-20	11	58	56,6726	

Luna nueva	04 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	11 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>
Luna llena	19 <sup>d</sup> 04 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	27 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>

Perigeo	4 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>
Apogeo	18 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup>

## 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<sup>h</sup> de un día, no se volverá a producir hasta dos días después, a primera hora. La ausencia de tal fenómeno en el día intermedio se indica en las tablas con el símbolo \*\*.

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

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

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

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

$\delta_{\parallel}$ (°)	Latitud, $\phi$										
	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<sup>h</sup> o +2<sup>h</sup> en la Península y Baleares, 0<sup>h</sup> o +1<sup>h</sup> en Canarias.

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

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

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

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

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

*Ejemplo:* determinación de los instantes de salida y puesta de la Luna en Logroño (latitud  $42^{\circ}5'$ ) el día 10 de noviembre, en que su declinación media es de  $-23^{\circ}$  y el horario oficial es el de invierno:

$$\begin{aligned}\text{orto} &= 12^{\text{h}}59^{\text{m}} + (-5)^{\text{m}} + (+7^{\text{m}}) = 13^{\text{h}}01^{\text{m}} \text{ TU} = 14^{\text{h}}01^{\text{m}} \text{ TO} \\ \text{ocaso} &= 22^{\text{h}}32^{\text{m}} + (-5)^{\text{m}} - (+7^{\text{m}}) = 22^{\text{h}}20^{\text{m}} \text{ TU} = 23^{\text{h}}20^{\text{m}} \text{ TO}\end{aligned}$$

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

En un lugar de longitud  $\lambda_E$  (positiva al Este de Greenwich):

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

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

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

## Paso de la Luna por el meridiano

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

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

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

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

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  $r_{\text{q}}$ , el semidiámetro  $s_{\text{q}}$  y la paralaje ecuatorial horizontal  $\pi_{\text{q}}$  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:

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

$$s_{\text{q}} = 0,272493 \pi_{\text{q}}, \quad \sin \pi_{\text{q}} = \frac{1}{r_{\text{q}}(\text{en } \mathcal{R}_{\oplus})}$$

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

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

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

Se denomina paralaje ecuatorial horizontal  $\pi_0$  de la Luna al ángulo bajo el cual se ve desde la Luna el radio ecuatorial terrestre, definición que da lugar a la segunda de las fórmulas. El semidiámetro lunar  $s_0$  se relaciona con la paralaje horizontal simplemente como el cociente de diámetros de los dos astros, que es lo que expresa la primera de las fórmulas anteriores.

## Fases de la Luna

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

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

Fases de la Luna en 2021

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	13 05 00	Ene	20 21 02	Ene	28 19 16	Feb	06 09 37
Feb	11 19 06	Feb	19 18 47	Feb	27 08 17	Mar	06 01 30
Mar	13 10 21	Mar	21 14 40	Mar	28 18 48	Abr	04 10 02
Abr	12 02 31	Abr	20 06 59	Abr	27 03 32	May	03 19 50
May	11 19 00	May	19 19 13	May	26 11 14	Jun	02 07 24
Jun	10 10 53	Jun	18 03 54	Jun	24 18 40	Jul	01 21 11
Jul	10 01 17	Jul	17 10 11	Jul	24 02 37	Jul	31 13 16
Ago	08 13 50	Ago	15 15 20	Ago	22 12 02	Ago	30 07 13
Set	07 00 52	Set	13 20 39	Set	20 23 55	Set	29 01 57
Oct	06 11 05	Oct	13 03 25	Oct	20 14 57	Oct	28 20 05
Nov	04 21 15	Nov	11 12 46	Nov	19 08 57	Nov	27 12 28
Dic	04 07 43	Dic	11 01 36	Dic	19 04 36	Dic	27 02 24

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

## Perigeos y apogeos

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

Luna en el perigeo				Luna en el apogeo			
mes	fecha y hora		distancia km	mes	fecha y hora		distancia km
	día	h			día	h	
Ene	9	16	367 360	Ene	21	13	404 400
Feb	3	19	370 080	Feb	18	10	404 507
Mar	2	5	365 400	Mar	18	5	405 285
Mar	30	6	360 296	Abr	14	18	406 139
Abr	27	15	357 373	May	11	22	406 513
May	26	2	357 314	Jun	8	2	406 211
Jun	23	10	359 967	Jul	5	15	405 311
Jul	21	10	364 542	Ago	2	8	404 372
Ago	17	9	369 158	Ago	30	2	404 060
Set	11	10	368 492	Set	26	22	404 604
Oct	8	17	363 404	Oct	24	15	405 588
Nov	5	22	358 852	Nov	21	2	406 267
Dic	4	10	356 795	Dic	18	2	406 328

# 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:	$2,669 \cdot 10^{27} \text{ kg}$ $= 447 \mathcal{M}_{\oplus} = \mathcal{M}_{\odot}/745$
Número de satélites conocidos:	173
Masa total de los satélites:	$6,2 \cdot 10^{23} \text{ kg} = 0,10 \mathcal{M}_{\oplus}$
Coordenadas del polo norte del plano invariable del sistema solar:	$\alpha = 18^{\text{h}}15^{\text{m}}24^{\text{s}}, \delta = 66^{\circ}59'$ (época J2000.0)

## Unidades prácticas

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

La masa de la Tierra es:	$1 \mathcal{M}_{\oplus} = 5,9724 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
y la masa del Sol es:	$1 \mathcal{M}_{\odot} = 1,988547 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 332946 \mathcal{M}_{\oplus}$
Const. gravitatoria geocén.:	$G\mathcal{M}_{\oplus} = 398\,600,4418 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
El radio de la Tierra es:	$1 \mathcal{R}_{\oplus} = 6378,1366 \text{ km}$ (ecuatorial)
La distancia Tierra-Sol es:	$1 \text{ ua} = 149\,597\,871 \text{ km} = 8,317 \text{ minutos luz}$
La velocidad de la luz es:	$c = 299\,792,458 \text{ km/s} = 173,145 \text{ ua/día}$
de donde se deduce que:	$1 \text{ ua/día} = 1731,457 \text{ km/s} = 6\,233\,245 \text{ km/h}$

La constante gravitatoria de Newton expresada en diversas unidades es:

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

## Elementos orbitales

En las páginas siguientes figuran los elementos orbitales de los planetas referidos al equinoccio y eclíptica medios J2000.0. Algunos valores, como el del semieje mayor y de la excentricidad de la órbita sufren variaciones debido a las perturbaciones planetarias, siendo especialmente importantes para los planetas exteriores a Júpiter. Cuando alguna magnitud se expresa en *años* se refiere a años julianos. Para tenerla en días basta multiplicar por 365,25. Un *día* corresponde a exactamente 86400 segundos.

Los elementos que caracterizan una órbita son:

- T** = instante de paso por el perihelio,
- a** = semieje mayor de la órbita,
- e** = excentricidad,
- $\omega$  = argumento del perihelio,
- $\Omega$  = 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:

$$q = a(1 - e) \text{ y } Q = a(1 + e)$$

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

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

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

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

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

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

#### Elementos orbitales (J2000.0)

Planeta	inclinación $i$	longitud del nodo, $\Omega$	longitud del perihelio, $\omega$	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:  $\omega = \omega - \Omega$ .

**Distancias orbitales (J2000.0)**

Planeta	semieje mayor, $a$		excentri- cidad, $e$	distancias (ua)	
	ua	$10^6$ km		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	movimiento medio diario	velocidad orbital media	periodo sinódico
	$P$ (años)	$n$	$V$ (km/s)	medio (días)
Mercurio	0,240844	$4^{\circ}092377$	47,873	115,878
Venus	0,615183	$1^{\circ}602169$	35,021	583,921
Tierra	0,999979	$0^{\circ}985647$	29,786	
Marte	1,880711	$0^{\circ}524071$	24,131	779,936
Júpiter	11,856525	$0^{\circ}083129$	13,070	398,884
Saturno	29,423519	$0^{\circ}033498$	9,672	378,092
Urano	83,747407	$0^{\circ}011769$	6,835	369,656
Neptuno	163,723204	$0^{\circ}006020$	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**

Planeta	distancia a la Tierra ( $10^6$ km)		diámetro aparente desde la Tierra		diámetro medio del Sol visto
	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 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 5	0,0030	175,942	0°01
Venus	243 <sup>d</sup> 02 Retr.	0,0018	R 116,750	177°36
Tierra	23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup> 099	0,4651	1,000	23°45
Marte	24 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> 663	0,2408	1,027	25°19
Júpiter	09 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup> 7	12,5720	0,414	3°13
Saturno	10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> 4	10,0179	0,444	26°73
Urano	17 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 4 Retr.	2,5875	R 0,718	97°77
Neptuno	16 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup> 6	2,6829	0,671	28°32

**Parámetros de las coordenadas planetográficas**

Planeta	eje de rotación (J2000)		meridiano de referencia
	$\alpha_0$	$\delta_0$	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 <sub>1</sub> –0,48 senN

Siendo  $d = DJ - 2451545$  y  $T = d/36525$ . DJ es el día juliano.

En el caso de Neptuno:  $w_1 = 536,3128492 d$  y  $N = 357,85 + 52,316 T$ .

**Datos fotométricos**

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

La constante solar de la Tierra es:  $1361 \text{ W m}^{-2} = 1,95 \text{ cal min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ .  
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

Planeta	Tamaño					
	radio ecuato. en $\mathcal{R}_{\oplus}$	diámetro ecuato. en km	diámetro polar en km	achata- miento, $f$	tamaño angular a 1 ua	volumen Tierra=1 ( $\approx 10^{12} \text{km}^3$ )
Mercurio	0,383	4 879,4	= ecuato.	$\sim 0$	6''73	0,0562
Venus	0,949	12 103,6	= ecuato.	$\sim 0$	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:  $f = 1 - D_{\text{polar}}/D_{\text{ecuato}}$ .

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

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

$J_2$  es el achatamiento dinámico del planeta,  $R_{\text{P}}$  y  $M_{\text{P}}$  son el radio ecuatorial y la masa del planeta respectivamente.

**Atmósfera**

Planeta	temperatura				presión (atm)	gases más abundantes (> 1%)
	superficial (°C)	nubes (°C)	equil. (°K)	efectiva (°K)		
Mercurio	-170 a 350		634	442,5	$\sim 10^{-15}$	O <sub>2</sub> , Na, H <sub>2</sub> , He
Venus	460	-33	464	231,7	92	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
Tierra	15		394	254,3	1	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , (H <sub>2</sub> O)
Marte	-55		319	210,1	0,007	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , Ar
Júpiter		-144	173	110,0		H <sub>2</sub> , He
Saturno		-176	128	81,1		H <sub>2</sub> , He
Urano		-214	90	58,2		H <sub>2</sub> , He, CH <sub>4</sub>
Neptuno		-214	72	46,6		H <sub>2</sub> , He, CH <sub>4</sub>

Temperatura de equilibrio es la máxima que puede alcanzar un cuerpo negro situado donde el planeta y debida exclusivamente a la radiación solar.

Temperatura efectiva es la que describe la emisión del planeta si radiara según la ley de Stefan-Boltzmann de un cuerpo negro.

**Magnetosfera**

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

$R_p$  el radio ecuatorial del planeta. Equivalencia: 1 G (gauss) =  $10^{-4}$  T (tesla).

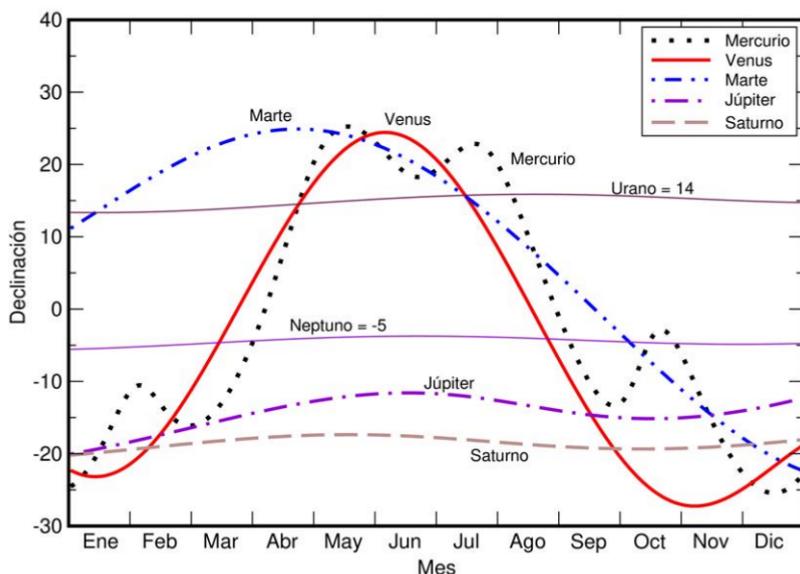
El momento dipolar magnético de la Tierra es:  $7,91 \cdot 10^{15}$  T m<sup>3</sup>.

**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.

2021



## Efemérides para observaciones físicas

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

En la primera tabla se dan los instantes de orto, culminación y ocaso en Madrid (en TU), y además las coordenadas ecuatoriales y la distancia geocéntrica en el instante de la observación, a 0<sup>h</sup> 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.

$\tau$  es la distancia planeta-Tierra en tiempo luz, expresada en minutos.

Se relaciona con la distancia expresada en unidades astronómicas mediante:  $distancia$  (en ua) = 0,12024  $distancia$  (en minutos-luz).

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

$$D_{pol} = (1 - f)D_{ecu}$$

#### BRILLO:

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

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

#### ILUMINACIÓN:

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

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

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

#### ORIENTACIÓN:

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

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

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

## MERCURIO 2021

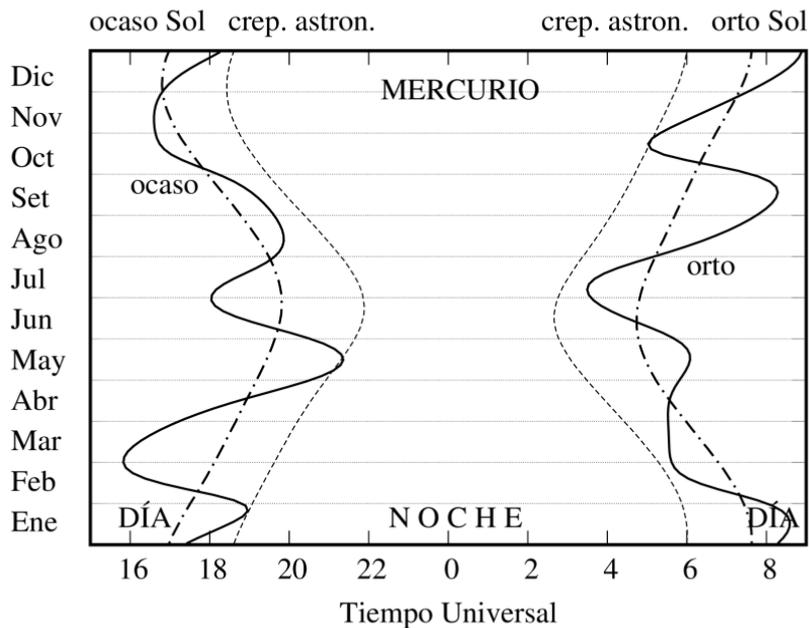
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto <i>h m</i>	Culm. <i>h m</i>	Ocaso <i>h m</i>	Asc. recta <i>h m s</i>	Declinación <i>° ' "</i>		
Ene.	1	8 17	12 51	17 25	19 17 59	-24 20 58	1,3895	
	11	8 33	13 21	18 9	20 27 38	-21 8 12	1,2645	
	21	8 32	13 41	18 50	21 27 40	-15 45 17	1,0502	
Feb.	31	7 58	13 23	18 47	21 52 19	-10 58 40	0,7829	
	10	6 48	12 8	17 27	21 18 22	-11 49 19	0,6476	
Mar.	20	5 55	11 4	16 12	20 51 25	-15 7 52	0,7233	
	2	5 37	10 43	15 50	21 8 51	-16 4 41	0,8747	
Abr.	12	5 33	10 47	16 0	21 50 51	-14 22 58	1,0238	
	22	5 33	11 1	16 29	22 43 55	-10 22 43	1,1534	
May.	1	5 32	11 21	17 12	23 43 27	-4 19 34	1,2590	
	11	5 32	11 48	18 6	0 49 39	+3 29 55	1,3275	
	21	5 36	12 24	19 14	2 4 42	+12 23 19	1,3205	
Jun.	1	5 47	13 6	20 26	3 25 29	+20 14 33	1,1882	
	11	6 1	13 36	21 13	4 36 27	+24 30 51	0,9698	
	21	6 4	13 42	21 19	5 22 51	+25 6 57	0,7597	
Jul.	31	5 47	13 14	20 41	5 36 48	+23 14 36	0,6095	
	10	5 4	12 19	19 32	5 21 25	+20 15 16	0,5505	
	20	4 14	11 22	18 29	5 2 59	+18 20 2	0,6004	
Ago.	30	3 39	10 51	18 3	5 9 44	+19 2 35	0,7461	
	10	3 30	10 52	18 15	5 49 8	+21 23 35	0,9572	
	20	3 55	11 24	18 53	6 59 19	+22 51 46	1,1825	
Sep.	30	4 54	12 13	19 32	8 27 18	+20 43 3	1,3265	
	9	5 59	12 55	19 50	9 49 25	+14 57 41	1,3448	
	19	6 53	13 23	19 51	10 57 7	+7 42 28	1,2839	
Oct.	29	7 35	13 39	19 41	11 53 4	+0 24 1	1,1825	
	8	8 4	13 45	19 26	12 39 38	-6 10 42	1,0537	
	18	8 17	13 40	19 3	13 14 56	-11 15 51	0,9021	
Nov.	28	7 57	13 13	18 29	13 28 40	-13 20 18	0,7445	
	8	6 39	12 8	17 39	13 4 49	-9 29 56	0,6584	
	18	5 14	11 5	16 56	12 38 35	-3 18 23	0,7864	
Dic.	28	5 8	10 54	16 40	13 5 28	-4 40 37	1,0548	
	7	5 44	11 11	16 36	14 0 28	-10 28 50	1,2710	
	17	6 28	11 33	16 37	15 2 6	-16 31 20	1,3957	
Dic.	27	7 12	11 58	16 43	16 6 25	-21 22 9	1,4477	
	7	7 53	12 26	16 58	17 13 26	-24 28 8	1,4399	
	17	8 27	12 56	17 24	18 22 40	-25 25 54	1,3734	
	27	8 49	13 25	18 1	19 31 10	-23 57 23	1,2391	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

MERCURIO 2021

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. "	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	11,56	4,84	-1,0	2,1	16,7	0,979	0,10	157,4	-3,9	356,0
Ene 21	8,73	6,41	-0,7	2,6	69,4	0,676	2,08	248,6	-6,3	341,7
Feb 10	5,39	10,39	4,8	5,0	166,1	0,015	10,24	12,3	-10,7	342,4
Mar 2	7,27	7,69	0,3	3,6	91,3	0,489	3,93	138,6	-7,3	343,5
Mar 22	9,59	5,83	-0,1	3,1	58,8	0,759	1,41	237,6	-4,4	335,5
Abr 11	11,04	5,07	-1,2	2,0	24,2	0,956	0,22	326,1	-2,4	331,4
May 1	9,88	5,66	-1,2	2,1	48,2	0,833	0,95	47,4	-0,8	338,6
May 21	6,32	8,86	0,8	3,9	116,1	0,280	6,38	142,9	1,9	350,4
Jun 10	4,58	12,22	6,2	5,3	172,8	0,004	12,17	266,8	6,6	350,2
Jun 30	6,20	9,02	1,0	4,0	119,7	0,252	6,74	32,5	7,3	348,9
Jul 20	9,83	5,69	-1,1	2,2	51,2	0,813	1,06	129,3	5,6	1,8
Ago 9	11,18	5,00	-1,2	2,0	22,5	0,962	0,19	211,1	5,3	20,3
Ago 29	9,83	5,69	-0,1	3,1	57,1	0,771	1,30	299,9	5,7	27,9
Set 18	7,50	7,46	0,3	3,6	89,7	0,502	3,71	39,1	6,3	28,4
Oct 8	5,48	10,22	5,0	5,0	167,3	0,012	10,09	164,9	5,9	28,6
Oct 28	8,77	6,38	-0,7	2,6	70,3	0,668	2,12	289,8	1,6	28,4
Nov 17	11,61	4,82	-1,0	2,1	16,4	0,980	0,10	21,7	-0,5	23,2
Dic 7	11,98	4,67	-1,0	2,1	9,7	0,993	0,03	112,8	-2,1	10,6
Dic 27	10,30	5,43	-0,8	2,5	42,0	0,872	0,70	204,3	-4,0	354,4



## VENUS 2021

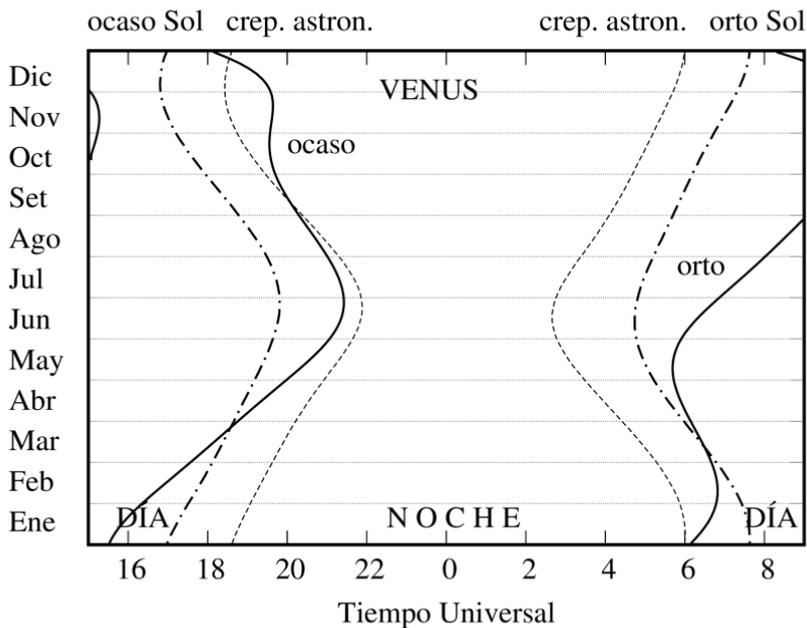
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto h m	Culm. h m	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinación ° ' "		
Ene.	1	6 9	10 50	15 31	17 18 28	-22 26 1	1,5599	
	11	6 27	11 5	15 44	18 12 47	-23 10 10	1,5937	
	21	6 40	11 20	16 1	19 7 16	-22 43 37	1,6237	
Feb.	31	6 48	11 35	16 22	20 0 55	-21 7 50	1,6498	
	10	6 49	11 47	16 45	20 53 1	-18 29 6	1,6723	
	20	6 47	11 58	17 10	21 43 12	-14 57 20	1,6908	
Mar.	2	6 40	12 7	17 34	22 31 30	-10 44 27	1,7053	
	12	6 31	12 14	17 58	23 18 16	-6 2 52	1,7158	
	22	6 20	12 20	18 21	0 4 4	-1 5 1	1,7219	
Abr.	1	6 9	12 26	18 44	0 49 33	+3 56 46	1,7234	
	11	5 59	12 33	19 8	1 35 26	+8 50 34	1,7201	
	21	5 50	12 40	19 32	2 22 21	+13 24 10	1,7116	
May.	1	5 44	12 50	19 56	3 10 48	+17 25 4	1,6978	
	11	5 41	13 0	20 20	4 1 4	+20 41 6	1,6785	
	21	5 44	13 13	20 42	4 53 4	+23 0 52	1,6534	
Jun.	31	5 53	13 27	21 1	5 46 18	+24 15 11	1,6227	
	10	6 7	13 41	21 15	6 39 55	+24 18 50	1,5863	
	20	6 26	13 55	21 24	7 32 57	+23 11 29	1,5444	
Jul.	30	6 47	14 7	21 26	8 24 28	+20 57 50	1,4974	
	10	7 10	14 17	21 22	9 13 58	+17 46 30	1,4455	
	20	7 33	14 24	21 15	10 1 16	+13 48 26	1,3892	
Ago.	30	7 56	14 30	21 4	10 46 34	+9 15 35	1,3289	
	9	8 17	14 34	20 51	11 30 19	+4 19 43	1,2653	
	19	8 38	14 38	20 37	12 13 6	-0 47 43	1,1985	
Set.	29	8 59	14 41	20 22	12 55 30	-5 55 27	1,1292	
	8	9 19	14 44	20 8	13 38 9	-10 52 39	1,0579	
	18	9 40	14 48	19 55	14 21 31	-15 28 20	0,9847	
Oct.	28	10 1	14 53	19 45	15 5 53	-19 31 16	0,9101	
	8	10 20	14 59	19 38	15 51 17	-22 51 2	0,8346	
	18	10 37	15 6	19 34	16 37 18	-25 18 24	0,7582	
Nov.	28	10 50	15 12	19 33	17 22 53	-26 46 48	0,6817	
	7	10 56	15 16	19 36	18 6 35	-27 14 29	0,6055	
	17	10 54	15 16	19 38	18 46 22	-26 45 6	0,5305	
Dic.	27	10 41	15 9	19 38	19 19 41	-25 28 15	0,4580	
	7	10 17	14 53	19 29	19 43 32	-23 38 28	0,3905	
	17	9 39	14 23	19 8	19 54 5	-21 33 21	0,3316	
	27	8 44	13 37	18 29	19 47 50	-19 30 43	0,2876	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

**VENUS 2021**

Fecha	$\tau$ <i>min</i>	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. "	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	12,97	10,70	-3,9	0,9	28,2	0,941	0,64	120,2	0,1	5,1
Ene 21	13,50	10,28	-3,9	0,9	21,5	0,965	0,36	174,9	0,5	354,6
Feb 10	13,91	9,98	-3,9	0,8	14,9	0,983	0,17	229,6	0,7	345,4
Mar 2	14,18	9,79	-3,9	0,8	8,5	0,995	0,05	284,3	0,7	339,4
Mar 22	14,32	9,69	-3,9	0,8	2,4	1,000	0,00	338,8	0,3	337,2
Abr 11	14,31	9,70	-3,9	0,8	5,7	0,997	0,02	33,3	-0,2	338,8
May 1	14,12	9,83	-3,9	0,8	12,9	0,987	0,12	87,6	-0,8	344,1
May 21	13,75	10,09	-3,9	0,8	20,6	0,968	0,32	141,8	-1,4	352,6
Jun 10	13,19	10,52	-3,9	0,9	28,6	0,939	0,64	195,9	-1,6	2,8
Jun 30	12,45	11,15	-3,9	1,0	36,7	0,901	1,11	249,9	-1,6	12,3
Jul 20	11,55	12,01	-3,9	1,1	45,0	0,854	1,76	303,6	-1,0	19,1
Ago 9	10,52	13,19	-3,9	1,2	53,2	0,799	2,65	357,2	-0,1	22,5
Ago 29	9,39	14,78	-4,0	1,3	61,5	0,739	3,86	50,4	1,2	22,4
Set 18	8,19	16,95	-4,1	1,3	70,0	0,671	5,58	103,1	2,5	19,1
Oct 8	6,94	20,00	-4,3	1,4	79,2	0,594	8,12	155,2	3,7	12,9
Oct 28	5,67	24,48	-4,5	1,5	89,7	0,503	12,17	206,0	4,4	4,7
Nov 17	4,41	31,46	-4,7	1,5	102,8	0,389	19,22	254,3	4,2	356,6
Dic 7	3,25	42,74	-4,9	1,4	121,7	0,237	32,61	297,1	2,4	351,2
Dic 27	2,39	58,03	-4,5	0,9	152,2	0,058	54,69	328,4	-1,5	350,8



## MARTE 2021

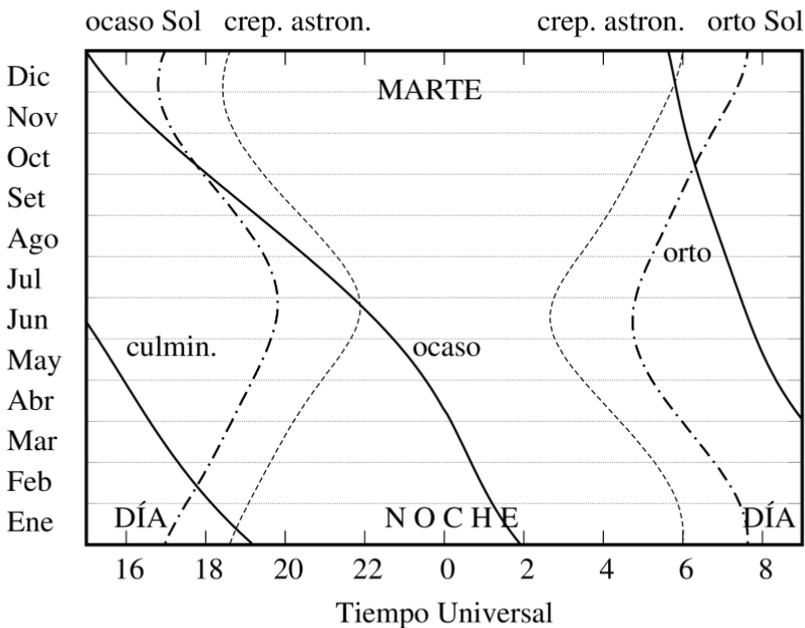
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto h m	Culm. h m	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinación ° ' "		
Ene.	1	12 28	19 10	1 54	1 40 18	+11 20 41	0,8985	
	11	11 59	18 48	1 38	1 57 25	+13 6 39	0,9907	
	21	11 32	18 27	1 24	2 16 18	+14 53 55	1,0857	
Feb.	31	11 6	18 8	1 12	2 36 40	+16 39 19	1,1824	
	10	10 42	17 51	1 1	2 58 17	+18 19 55	1,2802	
Mar.	20	10 19	17 34	0 50	3 21 2	+19 53 23	1,3784	
	2	9 58	17 18	0 40	3 44 45	+21 17 20	1,4760	
Abr.	12	9 38	17 4	0 31	4 9 18	+22 29 44	1,5727	
	22	9 19	16 49	0 21	4 34 35	+23 28 53	1,6678	
May.	1	9 3	16 36	0 11	5 0 26	+24 13 17	1,7606	
	11	8 48	16 23	23 58	5 26 44	+24 41 46	1,8507	
Jun.	21	8 34	16 10	23 46	5 53 20	+24 53 35	1,9376	
	1	8 22	15 57	23 33	6 20 4	+24 48 16	2,0208	
Jul.	11	8 11	15 45	23 19	6 46 49	+24 25 45	2,1000	
	21	8 1	15 32	23 3	7 13 26	+23 46 16	2,1748	
Ago.	31	7 52	15 19	22 46	7 39 49	+22 50 25	2,2447	
	10	7 44	15 5	22 27	8 5 52	+21 38 59	2,3097	
Sep.	20	7 36	14 52	22 7	8 31 33	+20 12 59	2,3694	
	30	7 29	14 38	21 46	8 56 49	+18 33 37	2,4234	
Oct.	10	7 21	14 23	21 24	9 21 41	+16 42 8	2,4718	
	20	7 14	14 8	21 2	9 46 10	+14 39 50	2,5142	
Nov.	30	7 7	13 53	20 38	10 10 17	+12 28 11	2,5505	
	9	7 0	13 37	20 14	10 34 8	+10 8 28	2,5807	
Dic.	19	6 53	13 21	19 50	10 57 46	+7 42 7	2,6045	
	29	6 45	13 5	19 25	11 21 17	+5 10 38	2,6220	
Ene.	8	6 38	12 50	19 0	11 44 47	+2 35 19	2,6332	
	18	6 32	12 34	18 36	12 8 21	-0 2 16	2,6379	
Feb.	28	6 25	12 18	18 11	12 32 8	-2 40 35	2,6364	
	8	6 19	12 3	17 47	12 56 12	-5 18 6	2,6286	
Mar.	18	6 13	11 48	17 23	13 20 42	-7 53 3	2,6146	
	28	6 7	11 34	17 0	13 45 43	-10 23 34	2,5948	
Abr.	7	6 2	11 20	16 37	14 11 22	-12 47 48	2,5693	
	17	5 57	11 7	16 16	14 37 44	-15 3 35	2,5382	
May.	27	5 53	10 55	15 56	15 4 54	-17 8 44	2,5021	
	7	5 49	10 43	15 38	15 32 55	-19 1 1	2,4613	
Jun.	17	5 45	10 33	15 21	16 1 47	-20 38 1	2,4160	
	27	5 40	10 23	15 6	16 31 29	-21 57 29	2,3670	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

MARTE 2021

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	fase	def.ilu. "	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	7,47	10,43	-0,3	4,4	38,6	0,891	1,14	163,6	-22,9	323,0
Ene 21	9,03	8,63	0,2	4,5	39,6	0,885	0,99	331,3	-20,3	321,5
Feb 10	10,65	7,32	0,6	4,5	39,1	0,888	0,82	138,2	-16,7	321,2
Mar 2	12,28	6,35	0,9	4,5	37,6	0,896	0,66	304,9	-12,2	322,5
Mar 22	13,87	5,62	1,2	4,5	35,4	0,908	0,52	111,6	-7,1	325,4
Abr 11	15,39	5,06	1,4	4,5	32,7	0,921	0,40	278,3	-1,7	330,0
May 1	16,81	4,64	1,6	4,5	29,7	0,934	0,30	85,0	3,8	335,8
May 21	18,09	4,31	1,7	4,5	26,4	0,948	0,23	251,5	9,2	342,5
Jun 10	19,21	4,06	1,8	4,5	23,0	0,960	0,16	57,6	14,2	349,9
Jun 30	20,15	3,87	1,8	4,5	19,4	0,972	0,11	223,2	18,6	357,7
Jul 20	20,91	3,73	1,8	4,4	15,7	0,981	0,07	28,1	22,2	5,7
Ago 9	21,46	3,63	1,8	4,3	11,9	0,989	0,04	192,4	24,7	13,5
Ago 29	21,81	3,57	1,8	4,3	8,0	0,995	0,02	356,2	26,0	21,1
Set 18	21,94	3,55	1,7	4,2	4,1	0,999	0,00	159,8	25,9	27,8
Oct 8	21,86	3,56	1,6	4,1	0,4	1,000	0,00	323,3	24,3	33,2
Oct 28	21,58	3,61	1,6	4,1	4,0	0,999	0,00	127,2	21,3	37,0
Nov 17	21,11	3,69	1,6	4,2	8,1	0,995	0,02	291,6	17,2	38,5
Dic 7	20,47	3,81	1,6	4,2	12,1	0,989	0,04	96,3	12,1	37,8
Dic 27	19,69	3,96	1,5	4,2	16,2	0,980	0,08	261,4	6,2	34,7



## JUPITER 2021

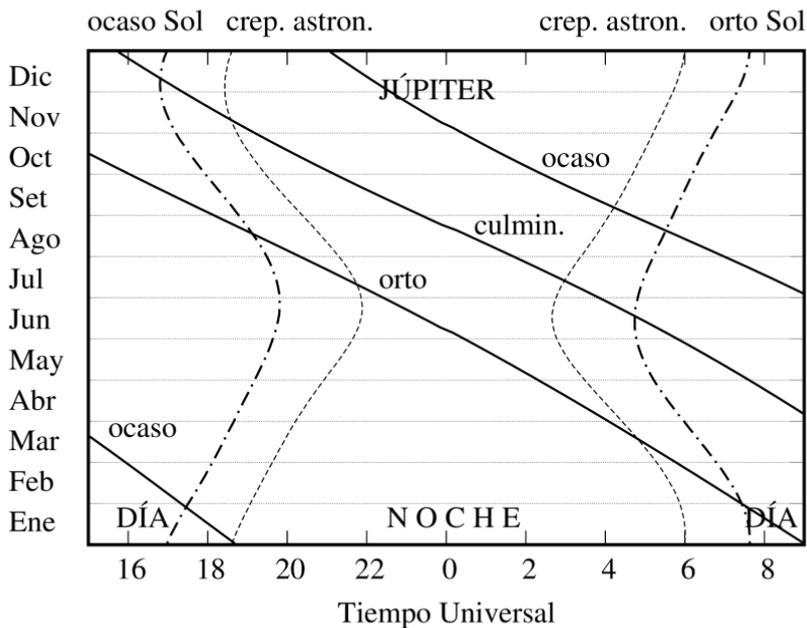
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto h m	Culm. h m	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinación ° ' "		
Ene.	1	9 0	13 50	18 41	20 20 44	-20 0 44	5,9940	
	11	8 28	13 21	18 13	20 30 17	-19 28 39	6,0404	
	21	7 56	12 51	17 46	20 39 58	-18 54 11	6,0659	
Feb.	31	7 24	12 21	17 19	20 49 38	-18 17 40	6,0704	
	10	6 52	11 51	16 51	20 59 15	-17 39 33	6,0537	
	20	6 19	11 21	16 24	21 8 41	-17 0 17	6,0162	
Mar.	2	5 46	10 51	15 56	21 17 53	-16 20 26	5,9585	
	12	5 13	10 21	15 28	21 26 44	-15 40 33	5,8817	
	22	4 40	9 50	15 0	21 35 11	-15 1 18	5,7871	
Abr.	1	4 6	9 18	14 31	21 43 8	-14 23 23	5,6763	
	11	3 32	8 46	14 1	21 50 30	-13 47 28	5,5513	
	21	2 57	8 14	13 30	21 57 11	-13 14 21	5,4142	
May.	1	2 22	7 40	12 58	22 3 6	-12 44 47	5,2678	
	11	1 46	7 6	12 25	22 8 11	-12 19 30	5,1147	
	21	1 10	6 31	11 51	22 12 18	-11 59 19	4,9580	
Jun.	31	0 33	5 54	11 16	22 15 22	-11 44 53	4,8013	
	10	23 51	5 17	10 39	22 17 19	-11 36 48	4,6481	
	20	23 12	4 38	10 0	22 18 4	-11 35 30	4,5026	
Jul.	30	22 33	3 59	9 20	22 17 37	-11 41 5	4,3689	
	10	21 53	3 18	8 38	22 15 56	-11 53 23	4,2511	
	20	21 12	2 35	7 55	22 13 8	-12 11 47	4,1533	
Ago.	30	20 30	1 52	7 11	22 9 22	-12 35 5	4,0793	
	9	19 48	1 9	6 25	22 4 51	-13 1 44	4,0319	
	19	19 5	0 24	5 39	21 59 54	-13 29 51	4,0134	
Set.	29	18 22	23 36	4 53	21 54 53	-13 57 18	4,0246	
	8	17 40	22 52	4 8	21 50 10	-14 22 12	4,0650	
	18	16 58	22 8	3 23	21 46 7	-14 42 50	4,1332	
Oct.	28	16 16	21 26	2 40	21 42 59	-14 57 59	4,2260	
	8	15 36	20 45	1 58	21 41 0	-15 6 54	4,3401	
	18	14 56	20 5	1 18	21 40 17	-15 9 10	4,4713	
Nov.	28	14 17	19 26	0 39	21 40 53	-15 4 45	4,6150	
	7	13 39	18 49	0 3	21 42 46	-14 53 48	4,7669	
	17	13 2	18 13	23 24	21 45 52	-14 36 35	4,9225	
Dic.	27	12 25	17 38	22 50	21 50 5	-14 13 30	5,0777	
	7	11 49	17 4	22 18	21 55 18	-13 44 58	5,2289	
	17	11 14	16 31	21 47	22 1 23	-13 11 23	5,3725	
	27	10 39	15 58	21 17	22 8 13	-12 33 16	5,5055	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

**JUPITER 2021**

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	def.ilu. "	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	49,85	32,89	-2,0	5,3	4,1	0,04	302,4	-0,9	344,9
Ene 21	50,45	32,50	-1,9	5,3	1,2	0,00	68,1	-0,7	343,3
Feb 10	50,35	32,57	-2,0	5,3	1,8	0,01	194,2	-0,5	341,7
Mar 2	49,56	33,09	-2,0	5,3	4,7	0,06	320,8	-0,3	340,3
Mar 22	48,13	34,07	-2,0	5,3	7,3	0,14	88,0	-0,0	339,1
Abr 11	46,17	35,51	-2,1	5,3	9,5	0,24	216,0	0,2	338,2
May 1	43,81	37,42	-2,2	5,3	11,0	0,34	344,9	0,4	337,5
May 21	41,23	39,76	-2,3	5,3	11,6	0,40	114,8	0,6	337,0
Jun 10	38,66	42,41	-2,5	5,3	11,1	0,39	245,9	0,8	336,8
Jun 30	36,34	45,12	-2,6	5,3	9,3	0,30	18,0	0,9	336,8
Jul 20	34,54	47,47	-2,8	5,3	6,4	0,15	151,0	0,9	337,0
Ago 9	33,53	48,90	-2,9	5,3	2,4	0,02	284,5	0,9	337,4
Ago 29	33,47	48,99	-2,9	5,3	2,0	0,01	57,9	0,8	337,9
Set 18	34,37	47,70	-2,8	5,3	6,0	0,13	190,3	0,7	338,5
Oct 8	36,10	45,42	-2,7	5,3	9,1	0,29	321,3	0,7	338,8
Oct 28	38,38	42,72	-2,5	5,3	10,9	0,39	90,7	0,6	338,8
Nov 17	40,94	40,05	-2,4	5,3	11,4	0,39	218,6	0,6	338,5
Dic 7	43,49	37,70	-2,2	5,3	10,8	0,33	345,3	0,7	337,9
Dic 27	45,79	35,81	-2,1	5,3	9,2	0,23	111,3	0,8	337,2



## SATURNO 2021

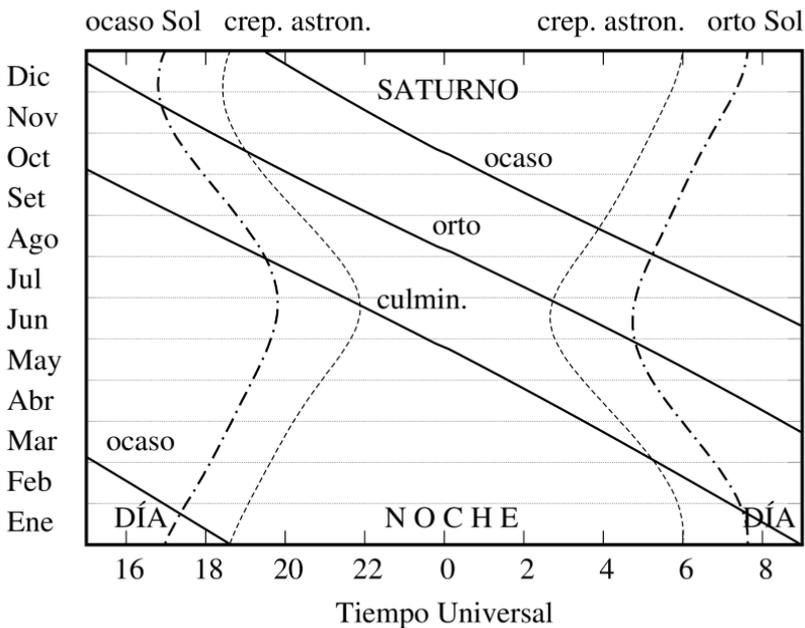
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto h m	Culm. h m	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinación ° ' "		
Ene.	1	8 55	13 45	18 35	20 15 50	-20 10 28	10,8998	
	11	8 20	13 11	18 1	20 20 39	-19 55 23	10,9460	
	21	7 44	12 36	17 28	20 25 33	-19 39 31	10,9666	
Feb.	31	7 9	12 2	16 55	20 30 28	-19 23 8	10,9611	
	10	6 33	11 27	16 21	20 35 19	-19 6 30	10,9298	
	20	5 58	10 53	15 48	20 40 1	-18 49 58	10,8734	
Mar.	2	5 22	10 18	15 14	20 44 30	-18 33 53	10,7933	
	12	4 45	9 43	14 40	20 48 41	-18 18 34	10,6914	
	22	4 9	9 7	14 5	20 52 31	-18 4 24	10,5701	
Abr.	1	3 32	8 31	13 30	20 55 55	-17 51 46	10,4324	
	11	2 55	7 55	12 54	20 58 50	-17 40 58	10,2816	
	21	2 18	7 18	12 18	21 1 12	-17 32 21	10,1213	
May.	1	1 40	6 40	11 41	21 2 59	-17 26 11	9,9558	
	11	1 1	6 2	11 3	21 4 9	-17 22 40	9,7891	
	21	0 22	5 23	10 24	21 4 39	-17 21 56	9,6259	
Jun.	31	23 39	4 44	9 44	21 4 31	-17 24 1	9,4708	
	10	22 59	4 4	9 4	21 3 44	-17 28 50	9,3280	
	20	22 19	3 23	8 23	21 2 21	-17 36 10	9,2022	
Jul.	30	21 38	2 42	7 41	21 0 25	-17 45 40	9,0971	
	10	20 57	2 0	6 58	20 58 2	-17 56 54	9,0161	
	20	20 16	1 18	6 15	20 55 19	-18 9 17	8,9622	
Ago.	30	19 35	0 36	5 32	20 52 23	-18 22 11	8,9371	
	9	18 53	23 49	4 49	20 49 23	-18 35 0	8,9417	
	19	18 12	23 7	4 6	20 46 29	-18 47 5	8,9761	
Set.	29	17 31	22 25	3 24	20 43 49	-18 57 53	9,0388	
	8	16 50	21 43	2 41	20 41 32	-19 6 56	9,1280	
	18	16 9	21 2	2 0	20 39 45	-19 13 53	9,2406	
Oct.	28	15 29	20 22	1 19	20 38 33	-19 18 28	9,3728	
	8	14 49	19 42	0 39	20 38 0	-19 20 33	9,5204	
	18	14 10	19 3	23 56	20 38 7	-19 20 2	9,6787	
Nov.	28	13 31	18 25	23 18	20 38 56	-19 16 56	9,8430	
	7	12 53	17 47	22 40	20 40 26	-19 11 18	10,0085	
	17	12 15	17 10	22 4	20 42 33	-19 3 13	10,1705	
Dic.	27	11 38	16 33	21 28	20 45 16	-18 52 48	10,3245	
	7	11 1	15 57	20 53	20 48 30	-18 40 14	10,4665	
	17	10 25	15 21	20 18	20 52 11	-18 25 41	10,5928	
	27	9 48	14 46	19 44	20 56 15	-18 9 22	10,7003	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

**SATURNO 2021**

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	def.ilu. "	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	90,65	15,25	0,7	6,9	2,0	0,00	187,5	25,1	6,8
Ene 21	91,21	15,15	0,6	6,8	0,3	0,00	200,8	24,2	6,8
Feb 10	90,90	15,21	0,7	6,8	1,5	0,00	214,4	23,3	6,8
Mar 2	89,77	15,40	0,8	6,9	3,1	0,01	228,8	22,3	6,7
Mar 22	87,91	15,72	0,8	6,9	4,5	0,02	243,7	21,5	6,7
Abr 11	85,51	16,16	0,7	7,0	5,4	0,04	259,5	20,9	6,7
May 1	82,80	16,69	0,7	7,0	5,8	0,04	275,9	20,4	6,6
May 21	80,06	17,27	0,6	7,0	5,6	0,04	292,9	20,3	6,6
Jun 10	77,58	17,82	0,5	6,9	4,7	0,03	310,4	20,5	6,6
Jun 30	75,66	18,27	0,4	6,9	3,3	0,01	328,1	20,9	6,7
Jul 20	74,54	18,54	0,3	6,8	1,4	0,00	345,8	21,5	6,7
Ago 9	74,37	18,59	0,3	6,8	0,7	0,00	3,2	22,2	6,7
Ago 29	75,17	18,39	0,3	6,9	2,7	0,01	20,0	22,8	6,7
Set 18	76,85	17,99	0,4	6,9	4,3	0,03	35,9	23,3	6,8
Oct 8	79,18	17,46	0,5	6,9	5,4	0,04	50,9	23,5	6,8
Oct 28	81,86	16,88	0,6	7,0	5,7	0,04	65,0	23,4	6,8
Nov 17	84,59	16,34	0,7	6,9	5,5	0,04	78,5	23,0	6,7
Dic 7	87,05	15,88	0,7	6,9	4,6	0,03	91,6	22,3	6,7
Dic 27	88,99	15,53	0,8	6,9	3,3	0,01	104,5	21,5	6,7



## URANO 2021

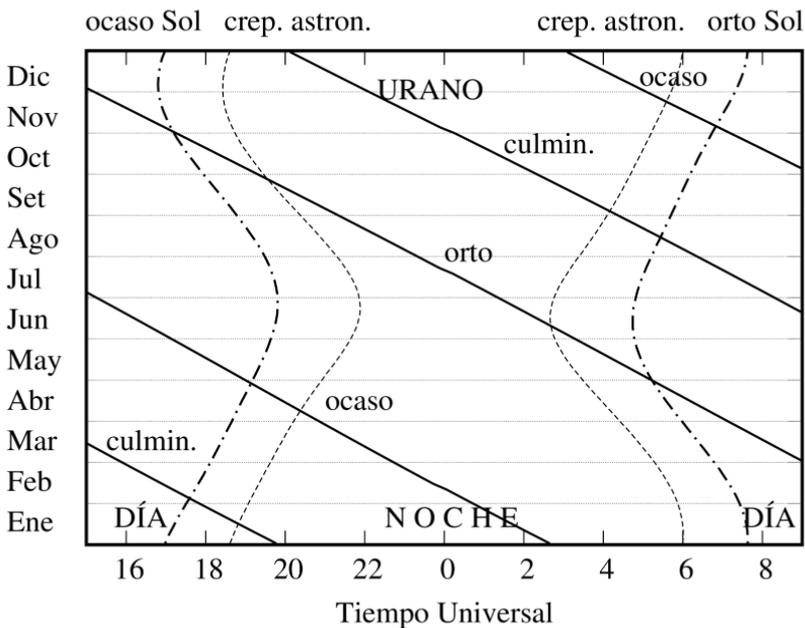
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto h m	Culm. h m	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinación ° ' "		
Ene.	1	12 58	19 46	2 39	2 18 27	+13 21 27	19,3212	
	11	12 18	19 7	1 59	2 18 10	+13 20 18	19,4813	
	21	11 39	18 28	1 20	2 18 13	+13 20 52	19,6497	
Feb.	31	11 0	17 49	0 41	2 18 36	+13 23 10	19,8209	
	10	10 21	17 10	0 3	2 19 19	+13 27 6	19,9898	
	20	9 43	16 32	23 21	2 20 21	+13 32 36	20,1515	
Mar.	2	9 4	15 54	22 44	2 21 40	+13 39 30	20,3011	
	12	8 26	15 16	22 7	2 23 15	+13 47 36	20,4349	
	22	7 48	14 39	21 30	2 25 3	+13 56 42	20,5491	
Abr.	1	7 10	14 1	20 53	2 27 1	+14 6 36	20,6409	
	11	6 32	13 24	20 16	2 29 8	+14 17 3	20,7083	
	21	5 54	12 47	19 40	2 31 20	+14 27 49	20,7495	
May.	1	5 16	12 10	19 3	2 33 36	+14 38 42	20,7638	
	11	4 39	11 33	18 27	2 35 51	+14 49 28	20,7511	
	21	4 1	10 56	17 51	2 38 4	+14 59 54	20,7117	
Jun.	31	3 23	10 19	17 14	2 40 12	+15 9 50	20,6468	
	10	2 45	9 41	16 37	2 42 13	+15 19 3	20,5581	
	20	2 7	9 4	16 0	2 44 4	+15 27 26	20,4477	
Jul.	30	1 29	8 26	15 23	2 45 42	+15 34 47	20,3185	
	10	0 51	7 48	14 46	2 47 7	+15 41 0	20,1736	
	20	0 12	7 10	14 8	2 48 15	+15 45 58	20,0166	
Ago.	30	23 30	6 31	13 29	2 49 5	+15 49 35	19,8517	
	9	22 51	5 53	12 51	2 49 37	+15 51 48	19,6831	
	19	22 11	5 13	12 12	2 49 49	+15 52 33	19,5154	
Set.	29	21 32	4 34	11 32	2 49 41	+15 51 51	19,3535	
	8	20 52	3 54	10 52	2 49 14	+15 49 44	19,2018	
	18	20 13	3 14	10 12	2 48 29	+15 46 16	19,0653	
Oct.	28	19 32	2 34	9 31	2 47 27	+15 41 35	18,9481	
	8	18 52	1 53	8 50	2 46 11	+15 35 51	18,8541	
	18	18 12	1 12	8 9	2 44 44	+15 29 17	18,7867	
Nov.	28	17 31	0 32	7 28	2 43 10	+15 22 9	18,7481	
	7	16 51	23 47	6 46	2 41 32	+15 14 45	18,7400	
	17	16 10	23 6	6 5	2 39 55	+15 7 26	18,7628	
Dic.	27	15 30	22 25	5 24	2 38 24	+15 0 29	18,8159	
	7	14 50	21 44	4 43	2 37 1	+14 54 15	18,8975	
	17	14 10	21 4	4 2	2 35 52	+14 49 1	19,0051	
	27	13 30	20 24	3 21	2 34 58	+14 45 3	19,1348	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

URANO 2021

Fecha	$\tau$ <i>min</i>	$D_{ecu}$ "	V	a.fase °	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	160,69	3,65	5,8	2,6	352,2	49,7	262,0
Ene 21	163,42	3,59	5,8	2,8	294,5	49,6	262,0
Feb 10	166,25	3,53	5,8	2,8	236,8	49,9	262,2
Mar 2	168,84	3,47	5,9	2,4	179,3	50,5	262,4
Mar 22	170,90	3,43	5,9	1,7	122,0	51,3	262,9
Abr 11	172,23	3,40	5,9	0,9	65,1	52,3	263,4
May 1	172,69	3,39	5,9	0,0	8,5	53,4	263,9
May 21	172,25	3,40	5,9	0,9	312,3	54,5	264,6
Jun 10	170,98	3,43	5,9	1,8	256,3	55,5	265,1
Jun 30	168,98	3,47	5,9	2,4	200,6	56,4	265,6
Jul 20	166,47	3,52	5,8	2,8	144,9	57,0	266,0
Ago 9	163,70	3,58	5,8	2,9	89,2	57,3	266,2
Ago 29	160,96	3,64	5,8	2,7	33,3	57,3	266,2
Set 18	158,56	3,70	5,7	2,2	337,2	57,1	266,0
Oct 8	156,80	3,74	5,7	1,4	280,8	56,5	265,7
Oct 28	155,92	3,76	5,7	0,4	224,0	55,8	265,3
Nov 17	156,05	3,76	5,7	0,6	166,9	55,0	264,8
Dic 7	157,17	3,73	5,7	1,6	109,5	54,3	264,4
Dic 27	159,14	3,68	5,7	2,3	51,8	53,8	264,1



## NEPTUNO 2021

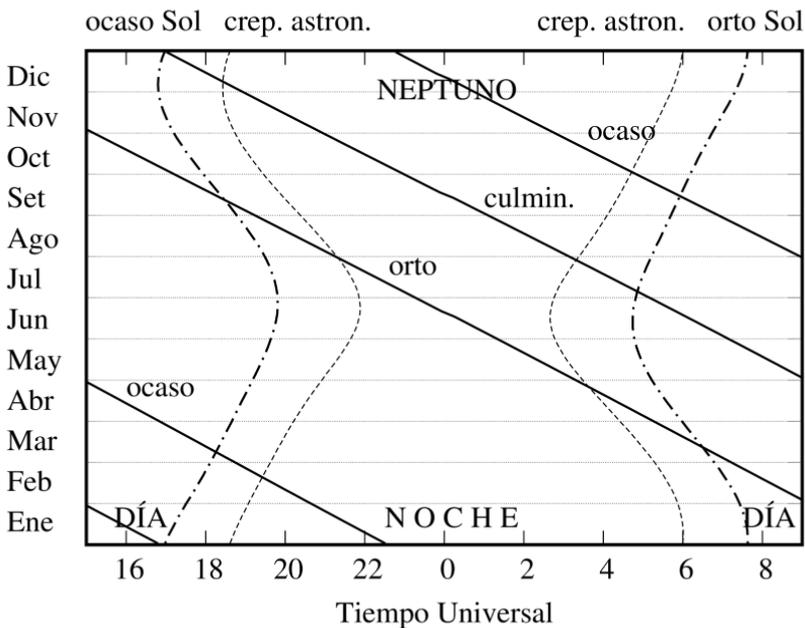
Mes	día	en Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua
		Orto h m	Culm. h m	Ocaso h m	Asc. recta h m s	Declinación ° ' "		
Ene.	1	11 5	16 48	22 31	23 19 18	- 5 33 11	30,2862	
	11	10 26	16 9	21 53	23 20 4	- 5 28 2	30,4404	
	21	9 47	15 31	21 15	23 21 1	- 5 21 48	30,5788	
Feb.	31	9 9	14 53	20 37	23 22 6	- 5 14 40	30,6973	
	10	8 30	14 15	19 59	23 23 19	- 5 6 48	30,7928	
	20	7 52	13 37	19 22	23 24 38	- 4 58 24	30,8626	
Mar.	2	7 13	12 59	18 44	23 26 0	- 4 49 39	30,9050	
	12	6 35	12 21	18 7	23 27 24	- 4 40 45	30,9190	
	22	5 56	11 43	17 29	23 28 47	- 4 31 55	30,9043	
Abr.	1	5 18	11 5	16 52	23 30 9	- 4 23 22	30,8617	
	11	4 39	10 27	16 14	23 31 27	- 4 15 15	30,7926	
	21	4 1	9 49	15 37	23 32 40	- 4 7 47	30,6988	
May.	1	3 22	9 10	14 59	23 33 45	- 4 1 7	30,5833	
	11	2 43	8 32	14 21	23 34 42	- 3 55 23	30,4491	
	21	2 5	7 54	13 43	23 35 30	- 3 50 44	30,3000	
Jun.	31	1 26	7 15	13 4	23 36 7	- 3 47 15	30,1402	
	10	0 47	6 36	12 25	23 36 32	- 3 45 0	29,9738	
	20	0 8	5 57	11 46	23 36 46	- 3 44 3	29,8056	
Jul.	30	23 24	5 18	11 7	23 36 48	- 3 44 23	29,6402	
	10	22 45	4 38	10 27	23 36 37	- 3 45 58	29,4823	
	20	22 5	3 58	9 47	23 36 16	- 3 48 46	29,3365	
Ago.	30	21 26	3 19	9 7	23 35 44	- 3 52 38	29,2069	
	9	20 46	2 39	8 27	23 35 2	- 3 57 28	29,0975	
	19	20 6	1 58	7 47	23 34 13	- 4 3 4	29,0117	
Set.	29	19 26	1 18	7 6	23 33 18	- 4 9 15	28,9523	
	8	18 46	0 38	6 25	23 32 19	- 4 15 46	28,9211	
	18	18 6	23 53	5 45	23 31 18	- 4 22 22	28,9195	
Oct.	28	17 27	23 13	5 4	23 30 18	- 4 28 49	28,9476	
	8	16 47	22 33	4 23	23 29 21	- 4 34 52	29,0049	
	18	16 7	21 53	3 43	23 28 29	- 4 40 15	29,0898	
Nov.	28	15 27	21 13	3 3	23 27 45	- 4 44 47	29,1996	
	7	14 47	20 33	2 22	23 27 10	- 4 48 16	29,3312	
	17	14 8	19 53	1 43	23 26 46	- 4 50 34	29,4806	
Dic.	27	13 28	19 14	1 3	23 26 34	- 4 51 34	29,6429	
	7	12 49	18 34	0 24	23 26 34	- 4 51 13	29,8133	
	17	12 10	17 55	23 41	23 26 47	- 4 49 29	29,9865	
	27	11 31	17 16	23 2	23 27 12	- 4 46 26	30,1571	

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

$$1 \text{ ua} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$$

NEPTUNO 2021

Fecha	$\tau$ <i>min</i>	$D_{ecu}$ "	V	a.fase °	$L_P$ °	$B_P$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	251,88	2,25	7,8	1,7	81,2	-24,3	322,2
Ene 21	254,32	2,23	7,8	1,4	6,0	-24,2	322,0
Feb 10	256,10	2,22	7,8	0,9	291,0	-24,0	321,7
Mar 2	257,03	2,21	7,8	0,3	216,1	-23,8	321,3
Mar 22	257,02	2,21	7,8	0,4	141,6	-23,6	320,9
Abr 11	256,09	2,22	7,8	0,9	67,5	-23,4	320,6
May 1	254,35	2,23	7,8	1,4	353,7	-23,2	320,3
May 21	252,00	2,25	7,8	1,8	280,4	-23,1	320,1
Jun 10	249,28	2,28	7,8	1,9	207,4	-23,0	320,0
Jun 30	246,51	2,30	7,7	1,9	134,6	-23,0	319,9
Jul 20	243,98	2,33	7,7	1,6	62,0	-23,0	320,0
Ago 9	242,00	2,35	7,7	1,1	349,3	-23,1	320,2
Ago 29	240,79	2,36	7,7	0,5	276,5	-23,2	320,4
Set 18	240,52	2,36	7,7	0,1	203,4	-23,4	320,6
Oct 8	241,23	2,35	7,7	0,8	130,0	-23,5	320,9
Oct 28	242,85	2,34	7,7	1,3	56,1	-23,6	321,1
Nov 17	245,18	2,32	7,7	1,7	341,8	-23,7	321,2
Dic 7	247,95	2,29	7,8	1,9	267,0	-23,7	321,3
Dic 27	250,81	2,26	7,8	1,8	192,0	-23,7	321,2



## 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 2<sup>do</sup> 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  $\lambda$  es:

$$\text{orto} = \text{orto en Madrid} - 15^m - \lambda + \text{corrección por latitud}$$

$$\text{ocaso} = \text{ocaso en Madrid} - 15^m - \lambda - \text{corrección por latitud}$$

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**

$\delta$ ( $^{\circ}$ )	Latitud, $\phi$										
	28 $^{\circ}$	32 $^{\circ}$	36 $^{\circ}$	37 $^{\circ}$	38 $^{\circ}$	39 $^{\circ}$	40 $^{\circ}$	41 $^{\circ}$	42 $^{\circ}$	43 $^{\circ}$	44 $^{\circ}$
-30	-45	-33	-18	-14	-10	-6	-2	3	7	12	17
-27	-39	-28	-16	-12	-9	-5	-2	2	6	10	15
-24	-34	-24	-13	-10	-8	-4	-1	2	5	9	12
-21	-29	-20	-11	-9	-6	-4	-1	2	4	7	10
-18	-24	-17	-9	-7	-5	-3	-1	1	4	6	9
-15	-20	-14	-8	-6	-4	-3	-1	1	3	5	7
-12	-15	-11	-6	-5	-3	-2	-1	1	2	4	5
-9	-11	-8	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-6	-7	-5	-3	-2	-2	-1	0	0	1	2	3
-3	-3	-2	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	3	2	1	1	1	0	0	-1	-1	-2
6	8	6	3	3	2	1	0	0	-1	-2	-3
9	12	9	5	4	3	2	0	-1	-2	-3	-4
12	16	12	6	5	4	2	1	-1	-3	-4	-6
15	20	15	8	6	5	3	1	-1	-3	-5	-7
18	25	18	10	8	6	3	1	-1	-4	-6	-9
21	30	21	12	9	7	4	1	-2	-5	-8	-11
24	35	25	14	11	8	5	1	-2	-6	-9	-13
27	41	29	16	13	9	5	2	-2	-7	-11	-15
30	47	34	19	15	11	6	2	-3	-8	-13	-18

## Paso de los planetas por el meridiano

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

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

## Fórmulas

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

$$\begin{aligned} \text{Anomalía media:} & \quad M = L - \varpi \\ \text{Anomalía verdadera:} & \quad v \simeq M + 2e \sin M + 1,25 e^2 \sin (2M) \\ \text{Longitud verdadera:} & \quad L_v = v + \varpi \end{aligned}$$

Distancia al Sol :

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

Velocidad de traslación:

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

que viene expresada en ua/año; 1 ua/año = 4,7405 km/s = 17066 km/h.

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

Planeta	Longitud media $L$	Longitud del perihelio $\varpi$
Mercurio	262°69 + 4°09234 $d$	77°490
Venus	3°94 + 1°60213 $d$	131°643
Tierra+Luna	99°35 + 0°98561 $d$	102°992
Marte	222°98 + 0°52403 $d$	336°155
Júpiter	281°28 + 0°08305 $d$	13°972
Saturno	294°36 + 0°03367 $d$	91°675 - 0°00421 $d$
Urano	38°72 + 0°01161 $d$	172°907 - 0°00375 $d$
Neptuno	348°30 + 0°00614 $d$	21°339 - 0°01855 $d$

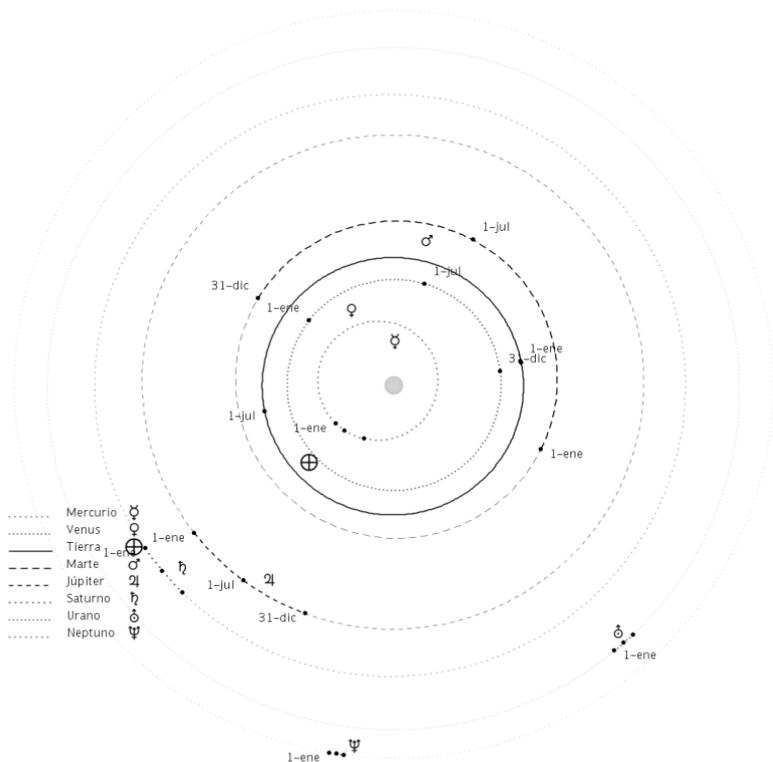
donde  $d$  es el día del año.

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  $0^\circ$ . Las distancias de los planetas al Sol se muestran en escala logarítmica.

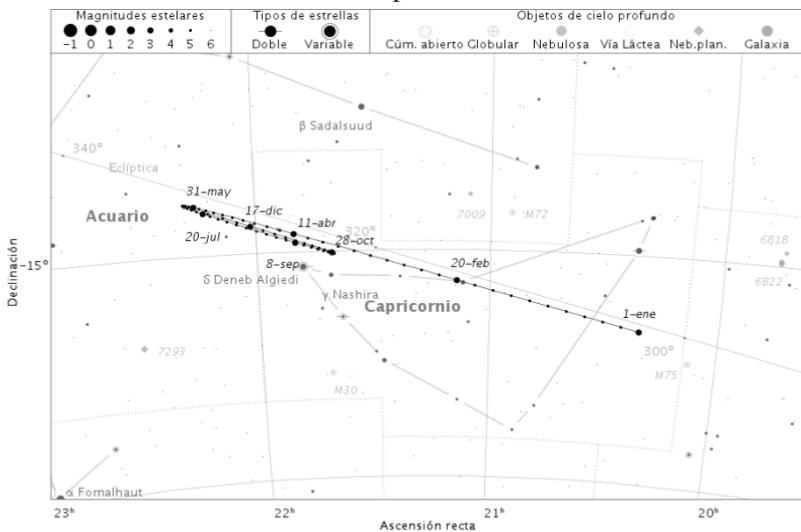




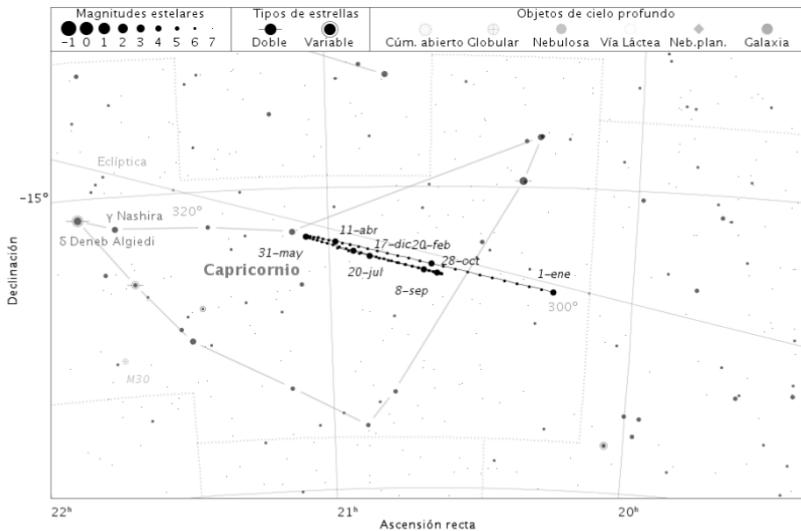
## Trayectorias de los planetas a lo largo del año

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

### Júpiter

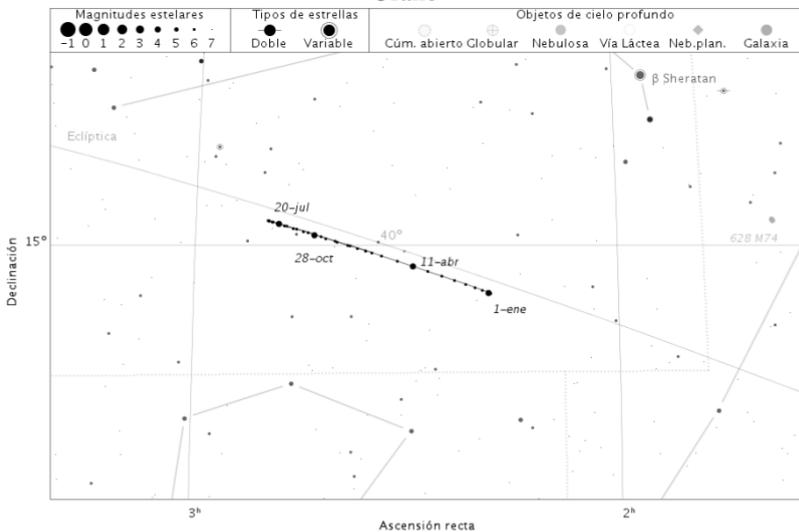


### Saturno

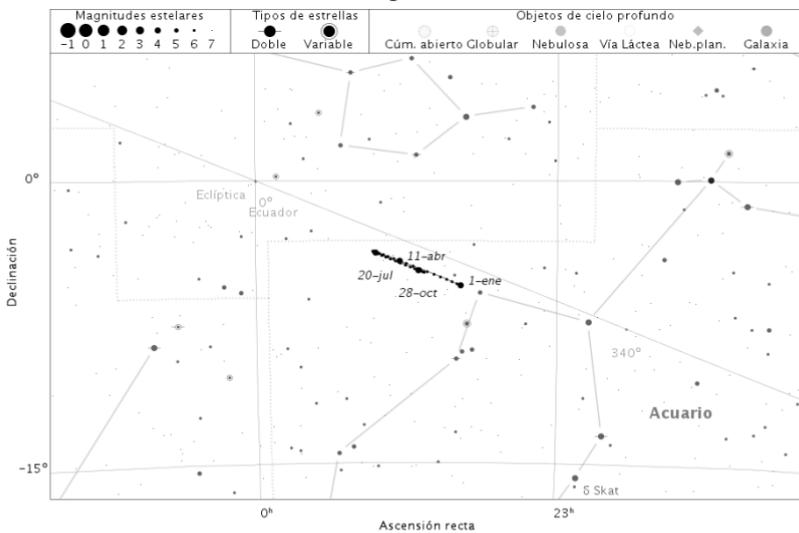


En el caso de Urano y Neptuno la separación en los puntos de la trayectoria es de 10 días con fechas cada 100 días.

### Urano



### Neptuno





# SATÉLITES

Nombres de los satélites

Elementos orbitales de los satélites

Periodos y descubrimiento de los satélites

Datos físicos de los satélites

Posiciones de los satélites galileanos de Júpiter

Tabla de conversión de distancias en el sistema solar

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

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

## Nombres de los satélites

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

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

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

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

El nombre del primer satélite conocido de Neptuno, Tritón, fue sugerido por Camille Flammarion, pero apenas fue usado hasta que en 1949 no se descubrió un segundo satélite. Éste y los posteriores han recibido el nombre de personajes mitológicos relacionados con el dios romano Neptuno, su equivalente griego Posidón o con los océanos, como son las Nereidas.

## Elementos orbitales y datos físicos de los satélites

Los datos referentes a los satélites se detallan en tres tablas.

En la primera tabla, dedicada a los elementos orbitales, el semieje mayor de cada órbita viene dado en unidades de  $10^3$  km y del radio ecuatorial del planeta,  $R_p$ . Por *inclinación* se entiende la inclinación de la órbita con respecto del plano del ecuador del planeta, salvo en los últimos satélites descubiertos en Júpiter y Saturno, aún no numerados, en cuyo caso se refiere a la eclíptica. Cuando esta inclinación es mayor que  $90^\circ$ , 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 ( $^\circ$ ,  $'$ ,  $''$ ).

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, sincrónicos con la revolución alrededor del planeta, y así se indica en los casos en que ha podido determinarse.

En la actualidad los descubrimientos de satélites suelen ser realizados por equipos de investigadores. A fin de no recargar la tabla, en ella se utilizan acrónimos formados por sus iniciales. La referencia SJFM se refiere al equipo formado por S. Sheppard, D. Jewitt, Y. Fernandez y G. Magnier. La referencia KG se refiere al equipo formado por J. Kavelaars y B. Gladman, la referencia GK se refiere a B. Gladman y J. Kavelaars, las referencias SJK y JKS se refieren a S. Sheppard, D. Jewitt y J. Kleyna, HG se refiere a los equipos de Holman y Gladman, SL se refiere a los equipos de Showalter y Lissauer. En otros casos, cuando hay más de dos colaboradores se ha utilizado la expresión *et al* siguiendo al nombre del primer investigador.

La tercera tabla está dedicada a los datos físicos y fotométricos. No se ha indicado la masa cuando ésta es inferior a  $10^{15}$  kg ( $10^{18}$  g). Cuando la forma del satélite es irregular, se da un tamaño medio precedido del símbolo  $\simeq$ . Cuando el tamaño del satélite es muy incierto, se da un tamaño estimado precedido del símbolo  $\sim$ .

La magnitud corresponde a la magnitud visual  $V$  en el instante de la oposición del planeta, salvo si viene seguida de la letra  $R$  que indica que se trata de la magnitud en rojo. No se indican magnitudes mayores que 26.

El albedo de Júpiter es, aproximadamente, de 0,6 en su lado brillante y 0,04 en el oscuro. En los satélites más pequeños, descubiertos en los últimos años, no se dispone de una medida del albedo, por lo que se suelen usar valores tentativos que no se han indicado en la tabla. El albedo que se suele considerar para los pequeños satélites es de 0,04 para los de Júpiter, 0,06 para los de Saturno, 0,07 para los de Urano y variables para los de Neptuno.

Elementos orbitales						
planeta	satélite	semieje mayor (10 <sup>3</sup> km)	(en R <sub>p</sub> )	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
Tierra:	Luna	384,400	60,27	0,0554	5,160	
Marte:	I Fobos	9,376	2,76	0,0151	1,075	25"
	II Deimos	23,458	6,91	0,0002	1,788	1' 03"
Júpiter:	I Io	421,8	5,90	0,0041	0,036	2' 19"
	II Europa	671,1	9,39	0,0094	0,466	3' 41"
	III Ganimedes	1070,4	14,97	0,0013	0,177	5' 52"
	IV Calisto	1882,7	26,33	0,0074	0,192	10' 19"
	V Amaltea	181,4	2,54	0,0032	0,380	1' 00"
	VI Himalia	11460	160,30	0,1586	28,612	1° 02' 39"
	VII Elara	11740	164,21	0,2108	27,945	1° 04' 10"
	VIII Pasífae	23629	330,51	0,4062	151,413	2° 09' 07"
	IX Sinope	23942	334,89	0,2552	158,189	2° 10' 50"
	X Lisitea	11717	163,89	0,1161	27,663	1° 04' 10"
	XI Carme	23401	327,32	0,2546	164,994	2° 07' 52"
	XII Ananké	21254	297,29	0,2332	148,693	1° 56' 09"
	XIII Leda	11164	156,16	0,1624	27,882	1° 01' 02"
	XIV Tebe	221,9	3,10	0,0176	1,080	1' 13"
	XV Adrastea	129	1,80	0,0018	0,054	42"
	XVI Metis	128	1,79	0,0012	0,019	42"
	XVII Calírroe	24099	337,09	0,2796	147,080	2° 11' 41"
	XVIII Temisto	7504	104,96	0,2435	42,977	41' 01"
	XIX Megaclite	23814	333,10	0,4156	152,781	2° 07' 52"
	XX Táigete	23363	326,79	0,2523	165,253	2° 10' 08"
	XXI Caldona	23181	324,25	0,2503	165,155	2° 06' 40"
	XXII Harpálice	21106	295,22	0,2296	148,759	1° 55' 21"
	XXIII Cálice	23565	329,62	0,2466	165,121	2° 08' 46"
	XXIV Yocasta	21272	297,54	0,2152	149,411	1° 56' 28"
	XXV Erinome	23286	325,71	0,2655	164,914	2° 07' 15"
	XXVI Isonoe	23231	324,95	0,2471	165,250	2° 07' 11"
	XXVII Praxídice	21148	295,81	0,2274	148,885	1° 55' 48"
	XXVIII Autónoe	24037	336,22	0,3152	152,364	2° 11' 21"
	XXIX Tione	21197	296,49	0,2307	148,595	1° 55' 50"
	XXX Hermipé	21297	296,03	0,2095	150,740	1° 56' 23"
	XXXI Aitné	23317	326,15	0,2627	165,048	2° 07' 25"
	XXXII Eurídomo	23146	323,76	0,2755	150,271	2° 06' 29"
	XXXIII Euante	21039	294,28	0,2320	148,915	1° 54' 59"
	XXXIV Euporia	19336	268,77	0,1438	145,740	1° 45' 41"
	XXXV Ortosia	21158	295,95	0,2807	146,004	1° 55' 38"
	XXXVI Sponde	23790	332,76	0,3112	150,997	2° 10' 15"
	XXXVII Cale	23306	325,99	0,2597	164,944	2° 07' 21"
	XXXVIII Pasítea	23091	322,99	0,2682	165,117	2° 06' 11"

## Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10 <sup>3</sup> km)	excentricidad (en R <sub>p</sub> )	inclinación (°)	máxima elongac.	
XXXIX	Hegémone	23575	329,76	0,3445	154,164	2° 08' 49"
XL	Mneme	21033	294,20	0,2258	148,585	1° 54' 57"
XLI	Aoede	23974	335,34	0,4325	158,272	2° 11' 00"
XLII	Telxínoe	21160	295,98	0,2201	151,390	1° 55' 38"
XLIII	Arque	23352	326,64	0,2495	165,015	2° 07' 36"
XLIV	Calicore	23276	325,57	0,2509	165,102	2° 07' 11"
XLV	Hélice	21065	294,65	0,1498	154,842	1° 55' 07"
XLVI	Carpo	17056	238,57	0,4317	51,624	1° 33' 13"
XLVII	Eucelade	23323	326,23	0,2619	165,265	2° 07' 27"
XLVIII	Cilene	23800	332,90	0,4155	150,336	2° 10' 03"
XLIX	Core	24482	342,44	0,3313	145,173	2° 13' 46"
L	Herse	23408	327,42	0,2541	164,964	2° 07' 55"
LI	S/2010 J1	23449	327,99	0,2491	165,100	2° 08' 08"
LII	S/2010 J2	21004	293,80	0,2267	148,673	1° 54' 47"
LIII	Día	12297	172,01	0,2320	28,631	1° 07' 13"
LIV	Valetudo	20595	288,08	0,1404	139,839	1° 52' 22"
LV	S/2003 J18	20508	286,86	0,0895	146,077	1° 52' 05"
LVI	S/2011 J2	23124	323,45	0,3493	153,597	2° 06' 22"
LVII	S/2003 J5	23495	328,64	0,2476	165,248	2° 08' 23"
LVIII	S/2003 J15	22627	316,50	0,1899	146,492	2° 03' 39"
LIX	S/2017 J1	23484	328,49	0,3969	149,196	2° 08' 20"
LX	S/2003 J3	20221	282,84	0,1969	147,547	1° 50' 31"
LXI	S/2003 J19	23533	329,17	0,2552	165,116	2° 08' 36"
LXII	S/2016 J2	18980	264,4	0,222	34,0	1° 43' 44"
LXIII	S/2017 J2	23303	326,0	0,236	166,4	2° 07' 21"
LXIV	S/2017 J3	20694	289,5	0,148	147,9	1° 53' 06"
LXV	S/2017 J4	11525	261,2	0,180	28,15	1° 03' 00"
LXVI	S/2017 J5	23232	325,0	0,284	164,3	2° 06' 57"
LXVII	S/2017 J6	22455	314,1	0,557	155,2	2° 02' 43"
LXVIII	S/2017 J7	20627	288,5	0,215	143,4	1° 52' 44"
LXIX	S/2017 J8	23233	325,0	0,312	164,7	2° 06' 57"
LXX	S/2017 J9	21487	300,6	0,229	152,7	1° 57' 26"
LXXI	S/2018 J1	11483	160,6	0,094	30,61	1° 02' 46"
LXXII	S/2011 J1	23446	327,95	0,2534	165,318	2° 08' 07"
	S/2003 J2	28347	396,51	0,4100	157,291	2° 34' 52"
	S/2003 J4	23929	334,71	0,3624	149,589	2° 10' 45"
	S/2003 J9	23385	327,10	0,2632	165,047	2° 08' 02"
	S/2003 J10	23042	322,30	0,4299	165,073	2° 06' 09"
	S/2003 J12	17830	249,40	0,4904	151,003	1° 37' 27"
	S/2003 J16	21097	295,10	0,2281	148,683	1° 55' 18"
	S/2003 J23	23567	329,65	0,2746	146,424	2° 08' 47"
Saturno:						
I	Mimas	185,539	3,08	0,0196	1,574	30"
II	Encélado	238,042	3,95	0,0000	0,003	38"
III	Tetis	294,672	4,89	0,0001	1,091	48"

Elementos orbitales						
planeta	satélite	semieje mayor ( $10^3$ km)	(en $R_p$ )	excentricidad	inclinación ( $^\circ$ )	máxima elongac.
IV	Dione	377,415	6,26	0,0022	0,028	1' 01"
V	Rea	527,068	8,75	0,0002	0,333	1' 25"
VI	Titán	1221,865	20,27	0,0288	0,306	3' 17"
VII	Hiperión	1500,933	24,90	0,0232	0,615	4' 02"
VIII	Jápeto	3560,854	59,08	0,0293	8,298	9' 35"
IX	Febe	12947,918	214,84	0,1634	175,243	34' 51"
X	Jano	151,45	2,51	0,0098	0,165	24"
XI	Epimeteo	151,450	2,51	0,0161	0,353	24"
XII	Helena	377,444	6,26	$\sim 0$	0,213	1' 01"
XIII	Telesto	294,71	4,89	0,0002	1,180	48"
XIV	Calipso	294,721	4,89	0,0005	1,500	48"
XV	Atlas	137,774	2,29	0,0011	0,003	22"
XVI	Prometeo	139,429	2,31	0,0022	0,007	23"
XVII	Pandora	141,810	2,35	0,0042	0,050	23"
XVIII	Pan	133,585	2,22	$\sim 0$	$\sim 0$	22"
XIX	Ymir	23128	383,75	0,3338	173,496	1° 02' 15"
XX	Paaliaq	15204	252,27	0,3325	46,230	40' 55"
XXI	Tarvos	18243	302,70	0,5382	33,725	49' 06"
XXII	Ijiraq	11408	189,29	0,2721	47,483	30' 42"
XXIII	Suttungr	19468	323,02	0,1139	175,815	52' 24"
XXIV	Kiviuq	11384	188,89	0,3325	46,766	30' 39"
XXV	Mundilfari	18654	309,52	0,2098	167,446	50' 12"
XXVI	Albiorix	16393	272,00	0,4797	34,059	44' 07"
XXVII	Skadi	15635	259,42	0,2718	152,633	42' 05"
XXVIII	Erriapo	17602	292,06	0,4723	34,481	47' 23"
XXIX	Siarnaq	18182	301,69	0,2801	45,809	48' 56"
XXX	Thrymr	20419	338,80	0,4661	177,665	54' 57"
XXXI	Narvi	19349	321,05	0,4295	145,735	52' 05"
XXXII	Metone	194,402	3,23	$\sim 0$	0,013	31"
XXXIII	Palene	212,282	3,52	0,0040	0,001	34"
XXXIV	Pólux	377,222	6,26	0,0191	0,175	1' 01"
XXXV	Dafnis	136,504	2,26	$\sim 0$	$\sim 0,003$	22"
XXXVI	Ægir	20751	344,31	0,2524	166,668	55' 51"
XXXVII	Bébhionn	17116	284,00	0,4682	35,101	46' 04"
XXXVIII	Bergelmir	19336	320,83	0,1420	158,557	52' 03"
XXXIX	Bestla	20145	334,26	0,5196	145,156	54' 13"
XL	Fárbauti	20390	338,32	0,2414	156,520	54' 53"
XLI	Fenrir	22454	372,57	0,1347	164,963	1° 00' 26"
XLII	Fornjót	25146	417,24	0,2077	170,372	1° 07' 41"
XLIII	Hati	19868	329,66	0,3710	165,808	53' 29"
XLIV	Hyrokkin	18440	305,97	0,3359	151,536	49' 38"
XLV	Kári	22093	366,58	0,4756	156,067	59' 28"
XLVI	Loge	23059	382,61	0,1862	167,689	1° 02' 04"
XLVII	Skoll	17667	293,14	0,4635	161,008	47' 33"
XLVIII	Surtur	22941	380,65	0,4459	169,688	1° 01' 45"

## Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor (10 <sup>3</sup> km)	excentricidad (en R <sub>p</sub> )	inclinación (°)	máxima elongac.	
XLIX	Antea	196,8	3,27	0,0011	0,015	32"
L	Járn saxa	19354	321,13	0,2178	163,649	52' 06"
LI	Greip	18457	306,25	0,3146	174,800	49' 41"
LII	Tarqeq	17962	298,04	0,1676	46,292	48' 21"
LIII	Ægeon	167,425	2,78	0,0002	0,001	27"
	S/2004 S7	21000	348,44	0,5290	165,693	56' 31"
	S/2004 S12	19886	329,96	0,3268	165,261	53' 31"
	S/2004 S13	18406	305,40	0,2591	168,798	49' 32"
	S/2004 S17	19448	322,69	0,1795	168,239	52' 21"
	S/2004 S20	19211	318,76	0,204	163,1	51' 42"
	S/2004 S21	23810	395,07	0,312	154,6	1° 04' 05"
	S/2004 S22	20380	338,16	0,257	177,4	54' 51"
	S/2004 S23	21427	355,53	0,399	177,7	57' 40"
	S/2004 S24	23231	385,46	0,049	36,78	1° 02' 32"
	S/2004 S25	20545	340,89	0,457	173,3	55' 18"
	S/2004 S26	26738	443,65	0,148	171,3	1° 11' 58"
	S/2004 S27	19777	328,15	0,120	167,1	53' 14"
	S/2004 S28	21791	361,57	0,133	171,0	58' 39"
	S/2004 S29	17471	289,89	0,472	44,43	47' 01"
	S/2004 S30	20424	338,89	0,113	156,3	54' 58"
	S/2004 S31	17403	288,76	0,242	48,11	46' 51"
	S/2004 S32	21564	357,80	0,262	158,5	58' 02"
	S/2004 S33	23765	394,32	0,417	161,5	1° 03' 58"
	S/2004 S34	24359	404,18	0,267	165,7	1° 05' 34"
	S/2004 S35	21953	364,26	0,182	176,4	59' 05"
	S/2004 S36	23699	393,23	0,667	147,6	1° 03' 47"
	S/2004 S37	16003	265,53	0,506	164,0	43' 04"
	S/2004 S38	23006	381,73	0,381	155,0	1° 01' 55"
	S/2004 S39	22790	378,14	0,081	167,6	1° 01' 20"
	S/2006 S1	18780	311,61	0,1412	156,180	50' 33"
	S/2006 S3	22428	372,14	0,3792	158,631	1° 00' 22"
	S/2007 S2	16718	277,39	0,1791	174,057	45' 00"
	S/2007 S3	18938	314,23	0,1853	177,595	50' 58"
	S/2009 S1	117	1,94			19"
Urano:						
I	Ariel	190,9	7,47	0,0012	0,041	14"
II	Umbriel	266	10,41	0,0039	0,128	20"
III	Titania	436,3	17,07	0,0011	0,079	33"
IV	Oberón	583,5	22,83	0,0014	0,068	44"
V	Miranda	129,9	5,08	0,0013	4,338	10"
VI	Cordelia	49,8	1,95	0,0003	0,085	4"
VII	Ofelia	53,8	2,10	0,0099	0,104	4"
VIII	Bianca	59,2	2,32	0,0009	0,193	4"
IX	Cresida	61,8	2,42	0,0004	0,006	5"
X	Desdémona	62,7	2,45	0,0001	0,113	5"

<b>Elementos orbitales</b>						
planeta	satélite	semieje mayor (10 <sup>3</sup> km)	(en R <sub>p</sub> )	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
XI	Julieta	64,4	2,52	0,0007	0,065	5''
XII	Porcia	66,1	2,59	0,0001	0,059	5''
XIII	Rosalinda	69,9	2,73	0,0001	0,279	5''
XIV	Belinda	75,3	2,95	0,0001	0,031	6''
XV	Puck	86	3,36	0,0001	0,319	6''
XVI	Calibán	7231,1	282,92	0,1812	141,529	9' 06''
XVII	Sicorax	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	5' 24''
XXIII	Margarita	14146,7	553,49	0,6772	57,367	17' 49''
XXIV	Fernando	20430	799,33	0,3993	169,793	25' 44''
XXV	Perdita	76,417	2,99	0,0116	0,470	6''
XXVI	Mab	97,736	3,82	0,0025	0,134	7''
XXVII	Cupido	74,392	2,91	0,0013	0,099	6''
Neptuno:						
I	Tritón	354,759	14,33	~0	156,865	17''
II	Nereida	5513,818	222,65	0,7507	7,090	4' 20''
III	Náyade	48,227	1,95	0,0003	4,691	2''
IV	Talasa	50,074	2,02	0,0002	0,135	2''
V	Despina	52,526	2,12	0,0002	0,068	2''
VI	Galatea	61,953	2,50	0,0001	0,034	3''
VII	Larisa	73,548	2,97	0,0014	0,205	3''
VIII	Proteo	117,646	4,75	0,0005	0,075	6''
IX	Halimede	16681	673,70	0,2909	112,898	13' 11''
X	Psámate	46705	1886,00	0,4617	137,679	36' 55''
XI	Sao	22619	913,38	0,2827	49,907	17' 53''
XII	Laomedeia	23613	953,52	0,4339	34,049	18' 40''
XIII	Neso	50258	2029,48	0,4243	131,265	39' 44''
XIV	Hipocampo	105,284	4,25	~0	~0	5''

---

**Periodos y descubrimiento**


---

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
Tierra:	Luna	27,321661	sincr.	
Marte:				
I	Fobos	0,318910	sincr.	1877 A.Hall
II	Deimos	1,262441	sincr.	1877 A.Hall
Júpiter:				
I	Io	1,769138	sincr.	1610 Galileo
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	Calífrroe	R 759		1999 Spacewatch, MPC
XVIII	Temisto	130		1975/2000 SJFM
XIX	Megaclite	R 753		2000 SJFM
XX	Táigete	R 732		2000 SJFM
XXI	Caldona	R 724		2000 SJFM
XXII	Harpálice	R 623		2000 SJFM
XXIII	Cálice	R 742		2000 SJFM
XXIV	Yocasta	R 632		2000 SJFM
XXV	Erínome	R 728		2000 SJFM
XXVI	Isonoe	R 726		2000 SJFM
XXVII	Praxídice	R 625		2000 SJFM
XXVIII	Autónoe	R 761		2001 SJK
XXIX	Tione	R 627		2001 SJK
XXX	Hermipé	R 634		2001 SJK
XXXI	Aitné	R 730		2001 SJK
XXXII	Eurídome	R 717		2001 SJK
XXXIII	Euante	R 620		2001 SJK
XXXIV	Euporia	R 551		2001 SJK
XXXV	Ortosia	R 623		2001 SJK
XXXVI	Sponde	R 748		2001 SJK
XXXVII	Cale	R 730		2001 SJK
XXXVIII	Pasítea	R 719		2001 SJK

---

**Periodos y descubrimiento**

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XXXIX	Hegémone	R 740		2003 S.S.Sheppard
XL	Mneme	R 620		2003 Sheppard,Glad,
XLI	Aoede	R 761		2003 S.S.Sheppard
XLII	Telxínoe	R 628		2003 Sheppard,Glad,
XLIII	Arque	R 732		2002 S.S.Sheppard
XLIV	Calicore	R 728		2003 S.S.Sheppard
XLV	Hélice	R 626		2003 S.S.Sheppard
XLVI	Carpo	456		2003 S.S.Sheppard
XLVII	Eucelade	R 730		2003 S.S.Sheppard
XLVIII	Cilene	R 752		2003 S.S.Sheppard
XLIX	Core	R 777		2003 S.S.Sheppard
L	Herse	R 735		2003 B.Gladman
LI	S/2010 J1	R 737		2010 Jacobson et al
LII	S/2010 J2	R 619		2010 C. Veillet
LIII	Día	278		2000 Sheppard et al
LIV	Valetudo	R 602,7		2016 S.S.Sheppard
LV	S/2003 J18	R 606,3		2003 B.Gladman
LVI	S/2011 J2	R 726,8		2011 S.S.Sheppard
LVII	S/2003 J5	R 759,7		2003 S.S.Sheppard
LVIII	S/2003 J15	R 668,4		2003 S.S.Sheppard
LIX	S/2017 J1	R 734,2		2017 S.S.Sheppard
LX	S/2003 J3	R 504,0		2003 S.S.Sheppard
LXI	S/2003 J19	R 701,3		2003 B.Gladman
LXII	S/2016 J2	533,3		2016 S.S.Sheppard
LXIII	S/2017 J2	R 723,1		2017 S.S.Sheppard
LXIV	S/2017 J3	R 606,3		2017 S.S.Sheppard
LXV	S/2017 J4	252,1		2017 S.S.Sheppard
LXVI	S/2017 J5	R 719,5		2017 S.S.Sheppard
LXVII	S/2017 J6	R 683,0		2017 S.S.Sheppard
LXVIII	S/2017 J7	R 602,6		2017 S.S.Sheppard
LXIX	S/2017 J8	R 719,6		2017 S.S.Sheppard
LXX	S/2017 J9	R 639,2		2017 S.S.Sheppard
LXXI	S/2018 J1	252,0		2018 S.S.Sheppard
LXXII	S/2011 J1	R 580,7		2011 S.S.Sheppard
	S/2003 J2	R 982,5		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J4	R 723,2		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J9	R 683,0		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J10	R 767,0		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J12	R 533,3		2003 S.S.Sheppard
	S/2003 J16	R 595,4		2003 B.Gladman
	S/2003 J23	R 759,7		2003 S.S.Sheppard
Saturno:				
I	Mimas	0,942422	sincr.	1789 W.Herschel
II	Encélado	1,370218	sincr.	1789 W.Herschel
III	Tetis	1,887802	sincr.	1684 G.Cassini

## Períodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
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 1315,13		2000 B.Gladman
XX	Paaliaq	686,95		2000 B.Gladman
XXI	Tarvos	926,35		2000 KG
XXII	Ijiraq	451,42		2000 KG
XXIII	Suttungr	R 1016,68		2000 GK
XXIV	Kiviuq	449,22		2000 B.Gladman
XXV	Mundilfari	R 952,80		2000 GK
XXVI	Albiorix	783,46		2000 Holman et al
XXVII	Skadi	R 728,10		2000 KG
XXVIII	Erriapo	871,14		2000 KG
XXIX	Siarnaq	895,51		2000 Gladman et al
XXX	Thrymr	R 1092,01		2000 GK
XXXI	Narvi	R 1003,94		2003 S.S.Sheppard
XXXII	Metone	1,010		2004 C.C.Porco et al
XXXIII	Palene	1,154		2004 C.C.Porco et al
XXXIV	Pólux	2,737		2004 C.C.Porco et al
XXXV	Dafnis	0,594		2005 C.C.Porco et al
XXXVI	Ægir	R 1117,83		2005 D.Jewitt et al
XXXVII	Bébhionn	834,86		2005 D.Jewitt et al
XXXVIII	Bergelmir	R 1005,76		2005 D.Jewitt et al
XXXIX	Bestla	R 1088,02		2005 D.Jewitt et al
XL	Fárbaudi	R 1086,65		2005 D.Jewitt et al
XLI	Fenrir	R 1260,35		2005 D.Jewitt et al
XLII	Fornjót	R 1494,09		2005 D.Jewitt et al
XLIII	Hati	R 1040,18		2005 D.Jewitt et al
XLIV	Hyrokkin	R 931,87		2006 S.S. Sheppard et al
XLV	Kári	R 1231,18		2006 S.S. Sheppard et al
XLVI	Loge	R 1311,37		2006 S.S. Sheppard et al
XLVII	Skoll	R 878,24		2006 S.S. Sheppard et al
XLVIII	Surtur	R 1297,12		2006 S.S. Sheppard et al

<b>Periodos y descubrimiento</b>				
planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XLIX	Antea	1,036		2007 Cassini Team
L	Járn saxa	R 1006,94		2006 S.S. Sheppard et al
LI	Greip	R 937,14		2006 S.S. Sheppard et al
LII	Tarqeq	885,15		2007 S.S. Sheppard et al
LIII	Ægeon	0,808		2008 Cassini Team
	S/2004 S07	R 1140,21		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S12	R 1046,11		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S13	R 933,60		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S17	R 1014,61		2005 D.Jewitt et al
	S/2004 S20	R 990		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S21	R 1365		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S22	R 1080		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S23	R 1164		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S24	1318		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S25	R 1095		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S26	R 1624		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S27	R 1413		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S28	R 1197		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S29	859		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S30	R 1084		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S31	854		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S32	R 1175		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S33	R 1362		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S34	R 1413		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S35	R 1208		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S36	R 1354		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S37	R 753		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S38	R 1296		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2004 S39	R 1278		2004 S.S. Sheppard et al
	S/2006 S1	R 962,23		2006 S.S. Sheppard et al
	S/2006 S3	R 1255,15		2006 S.S. Sheppard et al
	S/2007 S2	R 808,15		2007 S.S. Sheppard et al
	S/2007 S3	R 977,78		2007 S.S. Sheppard et al
	S/2009 S1			2009 Cassini Team
Urano:				
I	Ariel	2,520379	sincr.	1851 W.Lassell
II	Umbriel	4,144177	sincr.	1851 W.Lassell
III	Titania	8,705872	sincr.	1787 W.Herschel
IV	Oberón	13,463239	sincr.	1787 W.Herschel
V	Miranda	1,413479	sincr.	1948 G.Kuiper
VI	Cordelia	0,335033		1986 Voyager 2
VII	Ofelia	0,376409		1986 Voyager 2
VIII	Bianca	0,434577		1986 Voyager 2
IX	Cresida	0,463570		1986 Voyager 2
X	Desdémona	0,473651		1986 Voyager 2

## Períodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
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	Trínculo	R 749		2001 Holman et al
XXII	Francisco	R 267		2001 HG
XXIII	Margarita	1695		2003 Holman et al
XXIV	Fernando	R 2823		2001 HG
XXV	Perdita	0,638		1999 Voyager 2
XXVI	Mab	0,923		2003 SL
XXVII	Cupido	0,613		2003 SL
Neptuno:				
I	Tritón	R 5,876854	sincr.	1846 W.Lassell
II	Nereida	360,13619		1949 G.Kuiper
III	Náyade	0,294396		1989 Voyager 2
IV	Talasa	0,311485		1989 Voyager 2
V	Despina	0,334655		1989 Voyager 2
VI	Galatea	0,428745		1989 Voyager 2
VII	Larisa	0,554654		1989 Voyager 2
VIII	Proteo	1,122315		1989 Voyager 2
IX	Halimede	R 1879,33		2002 Holman et al
X	Psámate	R 9128,74		2003 JKS
XI	Sao	2919,16		2002 Holman et al
XII	Laomedeia	3175,62		2002 Holman et al
XIII	Neso	R 9880,63		2002 HG
XIV	Hipocampo	0,950		2013 Showalter et al

## Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
Tierra:	Luna	3475	735	3,344	-12,74	0,12
Marte:						
I	Fobos	27×22×18	$1,1 \cdot 10^{-4}$	1,872	11,4	0,07
II	Deimos	15×12×10	$1,5 \cdot 10^{-5}$	1,471	12,45	0,07
Júpiter:						
I	Io	3643	893	3,528	5,02	0,63
II	Europa	3122	480	3,013	5,29	0,67
III	Ganimedes	5262	1481	1,942	4,61	0,43
IV	Calisto	4821	1076	1,834	5,65	0,17
V	Amaltea	167	0,021	0,849	14,1	0,09
VI	Himalia	~170	0,067	2,6	14,2 R	0,04
VII	Elara	~86	0,009	2,6	16,0 R	0,04
VIII	Pasífae	~60	0,003	2,6	16,8 R	0,10
IX	Sinope	~38	0,001	2,6	18,2 R	0,05
X	Lisitea	~36	0,001	2,6	18,1 R	0,04
XI	Carme	~46	0,001	2,6	18,1 R	0,06
XII	Ananké	~28	$3 \cdot 10^{-4}$	2,6	19,1 R	0,06
XIII	Leda	~20	$10^{-4}$	2,6	19,2 R	0,04
XIV	Tebe	99	0,015	3,0	16,0	0,05
XV	Adrastea	25×20×15	$7 \cdot 10^{-5}$	3,0	18,7	~0,1
XVI	Metis	43	0,001	3,0	17,5	0,06
XVII	Calíroo	9	$10^{-5}$	2,6	20,8 R	0,04
XVIII	Temisto	8	$10^{-5}$	2,6	21,0 R	0,04
XIX	Megaclite	5			21,7 R	0,04
XX	Táigete	5			21,9 R	0,04
XXI	Caldona	4			22,5 R	0,04
XXII	Harpálice	4			22,2 R	0,04
XXIII	Cálice	5			21,8 R	0,04
XXIV	Yocasta	5			21,8 R	0,04
XXV	Erínome	3			22,8 R	0,04
XXVI	Isonoe	4			22,5 R	0,04
XXVII	Praxídice	7			21,2 R	0,04
XXVIII	Autónoe	4			22,0 R	
XXIX	Tione	4			22,3 R	0,04
XXX	Hermipé	4			22,1 R	
XXXI	Aitné	3			22,7 R	
XXXII	Eurídome	3			22,7 R	
XXXIII	Euante	3			22,8 R	
XXXIV	Euporia	2			23,1 R	
XXXV	Ortosia	2			23,1 R	
XXXVI	Sponde	2			23,0 R	
XXXVII	Cale	2			23,0 R	

## Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $g\ cm^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
XXXVIII	Pasítea	2			23,2 R	
XXXIX	Hegémone	3			22,8 R	
XL	Mneme	2			23,3 R	
XLI	Aoede	4			22,5 R	
XLII	Telxínoe	2			23,5 R	
XLIII	Arque	3			22,8 R	
XLIV	Calicore	2			23,7 R	
XLV	Hélice	4			22,6 R	
XLVI	Carpo	3			23,0 R	
XLVII	Eucelade	4			22,6 R	
XLVIII	Cilene	2			23,2 R	
XLIX	Core	2			23,6 R	
L	Herse	2			23,4 R	
LI	S/2010 J1	2			23,2 R	
LII	S/2010 J2	1			24,0 R	
LIII	Día	4			22,4	0,04
LIV	Valetudo	1			24,0 R	
LV	S/2003 J18	2			23,4 R	
LVI	S/2011 J2	1			23,5 R	
LVII	S/2003 J5	2			22,4 R	
LVIII	S/2003 J15	2			23,5 R	
LIX	S/2017 J1	2			23,8 R	
LX	S/2003 J3	2			23,4 R	
LXI	S/2003 J19	2			23,7 R	
LXII	S/2016 J2	1			24,0	
LXIII	S/2017 J2	2			23,5 R	
LXIV	S/2017 J3	2			23,4 R	
LXV	S/2017 J4	3			23,0	
LXVI	S/2017 J5	2			23,5 R	
LXVII	S/2017 J6	2			23,5 R	
LXVIII	S/2017 J7	2			23,6 R	
LXIX	S/2017 J8	1			24,0 R	
LXX	S/2017 J9	3			22,8 R	
LXXI	S/2018 J1	3			22,9	
LXXII	S/2011 J1	2			23,7 R	
	S/2003 J2	2			23,2 R	
	S/2003 J4	2			23,0 R	
	S/2003 J9	1			23,7 R	
	S/2003 J10	2			23,6 R	
	S/2003 J12	1			23,9 R	
	S/2003 J16	2			23,3 R	
	S/2003 J23	2			23,6 R	
Saturno:						
I	Mimas	396	0,375	1,150	12,8	0,96
II	Encélado	504	1,079	1,608	11,8	1,38

## Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
III	Tetis	1066	6,174	0,973	10,2	1,23
IV	Dione	1123	10,955	1,476	10,4	1,00
V	Rea	1529	23,065	1,233	9,6	0,95
VI	Titán	5149	1345,185	1,882	8,4	0,2
VII	Hiperión	270	0,056	0,544	14,4	0,3
VIII	Jápeto	1471	18,055	1,083	11	0,6
IX	Febe	213	0,083	1,638	16,4	0,08
X	Jano	179	0,019	0,630	14,4	0,71
XI	Epimeteo	116	0,005	0,640	15,6	0,73
XII	Helena	35	$10^{-4}$	0,5	18,4	1,67
XIII	Telesto	25	$4 \cdot 10^{-5}$	0,5	18,5	1,0
XIV	Calipso	21	$2 \cdot 10^{-5}$	0,5	18,7	1,34
XV	Atlas	30	$7 \cdot 10^{-5}$	0,460	19,0	0,4
XVI	Prometeo	86	0,002	0,480	15,8	0,6
XVII	Pandora	81	0,001	0,490	16,4	0,5
XVIII	Pan	28	$5 \cdot 10^{-5}$	0,420	19,4	0,5
XIX	Ymir	$\sim 18$	$5 \cdot 10^{-5}$	2,3	21,9 R	0,06
XX	Paaliaq	$\sim 22$	$8 \cdot 10^{-5}$	2,3	21,1 R	0,06
XXI	Tarvos	$\sim 15$	$3 \cdot 10^{-5}$	2,3	22,7 R	0,06
XXII	Ijiraq	$\sim 12$	$10^{-5}$	2,3	22,6 R	0,06
XXIII	Suttungr	$\sim 7$		2,3	23,9 R	0,06
XXIV	Kiviuq	$\sim 16$	$3 \cdot 10^{-5}$	2,3	22,1 R	0,06
XXV	Mundilfari	$\sim 7$		2,3	23,8 R	0,06
XXVI	Albiorix	$\sim 32$	$2 \cdot 10^{-4}$	2,3	20,5 R	0,06
XXVII	Skadi	$\sim 8$		2,3	23,6 R	0,06
XXVIII	Erriapo	$\sim 10$	$10^{-5}$	2,3	23,4 R	0,06
XXIX	Siarnaq	$\sim 40$	$4 \cdot 10^{-4}$	2,3	19,9 R	0,06
XXX	Thrymr	$\sim 7$		2,3	23,9 R	0,06
XXXI	Narvi	$\sim 7$		2,3	23,8 R	0,06
XXXII	Metone	3		0,5		
XXXIII	Palene	5		0,5		
XXXIV	Pólux	3		0,5		
XXXV	Dafnis	8		0,340		
XXXVI	Ægir	$\sim 6$		2,3	24,4 R	0,04
XXXVII	Bébhionn	$\sim 6$		2,3	24,1 R	0,04
XXXVIII	Bergelmir	$\sim 6$		2,3	24,2 R	0,04
XXXIX	Bestla	$\sim 7$		2,3	23,8 R	0,04
XL	Fárbauti	$\sim 5$		2,3	24,7 R	0,04
XLI	Fenrir	$\sim 4$		2,3	25,0 R	0,04
XLII	Fornjót	$\sim 6$		2,3	24,6 R	0,04
XLIII	Hati	$\sim 6$		2,3	24,4 R	0,04
XLIV	Hyrokkin	$\sim 6$		2,3	23,5 R	0,04
XLV	Kári	$\sim 6$		2,3	23,9 R	0,04

## Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
XLVI	Loge	~6		2,3	24,6 R	0,04
XLVII	Skoll	~6		2,3	24,5 R	0,04
XLVIII	Surtur	~6		2,3	24,8 R	0,04
XLIX	Antea	~2		0,5		
L	Járnsaxa	~6		2,3	24,7 R	0,04
LI	Greip	~6		2,3	24,4 R	0,04
LII	Tarqeq	~6		2,3	23,9 R	0,04
LIII	Ægeon	~1		0,5		
	S/2004 S07	~6		2,3	24,5 R	0,04
	S/2004 S12	~5		2,3	24,8 R	0,04
	S/2004 S13	~6		2,3	24,5 R	0,04
	S/2004 S17	~4		2,3	25,2 R	0,04
	S/2004 S20	~8			25,0 R	
	S/2004 S21	~6			25,4 R	
	S/2004 S22	~6			25,3 R	
	S/2004 S23	~8			24,8 R	
	S/2004 S24	~6			25,2 R	
	S/2004 S25	~6			25,2 R	
	S/2004 S26	~8			25,0 R	
	S/2004 S27	~8			24,5 R	
	S/2004 S28	~8			24,9 R	
	S/2004 S29	~8			24,9 R	
	S/2004 S30	~6			25,4 R	
	S/2004 S31	~8			24,9 R	
	S/2004 S32	~8			25,0 R	
	S/2004 S33	~8			25,0 R	
	S/2004 S34	~6			25,3 R	
	S/2004 S35	~8			24,6 R	
	S/2004 S36	~6			25,3 R	
	S/2004 S37	~8			25,1 R	
	S/2004 S38	~8			25,1 R	
	S/2004 S39	~4			25,5 R	
	S/2006 S1	~6		2,3	24,6 R	0,04
	S/2006 S3	~5		2,3	24,6 R	0,04
	S/2007 S2	~6		2,3	24,4 R	0,04
	S/2007 S3	~4		2,3	24,9 R	0,04
	S/2009 S1	~0,3				
Urano:						
I	Ariel	1158	12,945	1,592	13,70	0,39
II	Umbriel	1169	12,211	1,459	14,47	0,21
III	Titania	1578	34,191	1,662	13,49	0,27
IV	Oberón	1523	28,827	1,559	13,70	0,23
V	Miranda	472	0,659	1,214	15,79	0,32
VI	Cordelia	40	$4 \cdot 10^{-4}$	1,3	23,62	0,07
VII	Ofelia	43	$5 \cdot 10^{-4}$	1,3	23,26	0,07

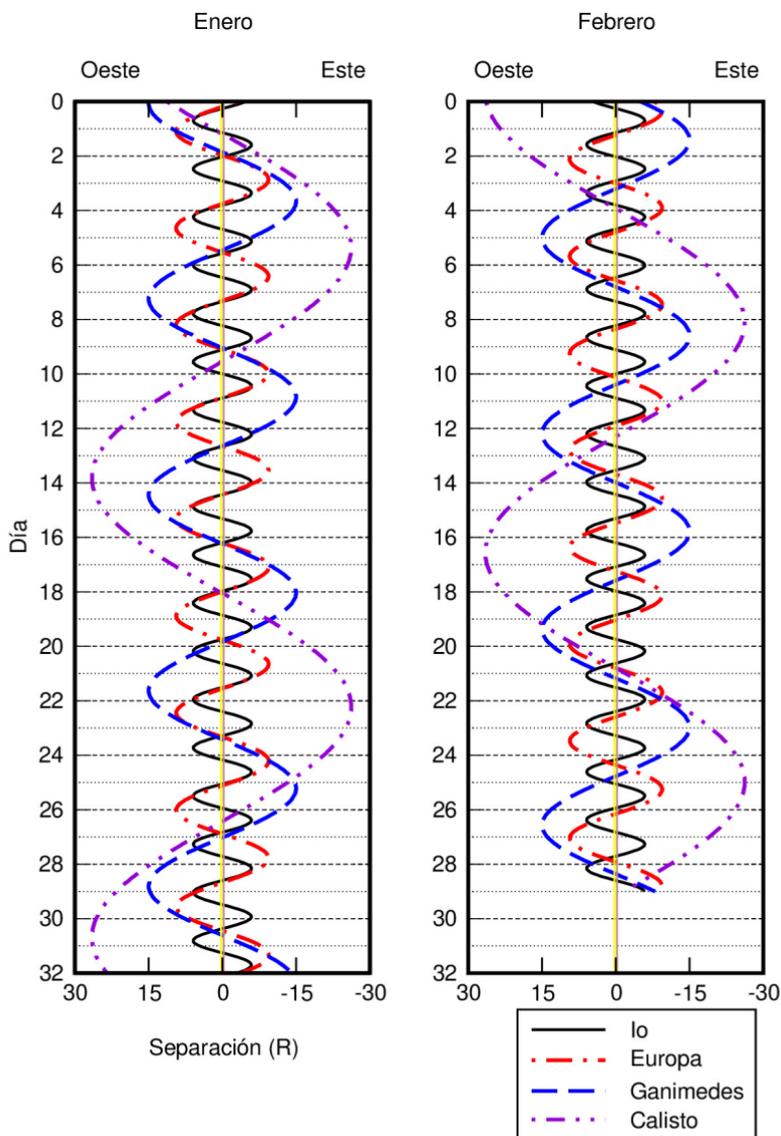
## Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
VIII	Bianca	54	$9 \cdot 10^{-4}$	1,3	22,52	0,07
IX	Cresida	82	0,003	1,3	21,58	0,07
X	Desdémona	70	0,002	1,3	21,99	0,08
XI	Julieta	106	0,006	1,3	21,12	0,08
XII	Porcia	140	0,017	1,3	20,42	0,07
XIII	Rosalinda	72	0,003	1,3	21,79	0,07
XIV	Belinda	90	0,004	1,3	21,47	0,07
XV	Puck	162	0,029	1,3	19,75	0,10
XVI	Calibán	~72	0,003	1,5	22,4 R	0,04
XVII	Sícorax	~150	0,027	1,5	20,8 R	0,04
XVIII	Próspero	~50	0,001	1,5	23,2 R	0,04
XIX	Setebos	~48	0,001	1,5	23,3 R	0,04
XX	Esteban	~32	$3 \cdot 10^{-4}$	1,5	24,1 R	0,04
XXI	Trínculo	~18	$5 \cdot 10^{-5}$	1,5	25,4 R	0,04
XXII	Francisco	~22	$8 \cdot 10^{-5}$	1,5	25,0 R	0,04
XXIII	Margarita	~20	$6 \cdot 10^{-5}$	1,5	25,2 R	0,04
XXIV	Fernando	~20	$6 \cdot 10^{-5}$	1,5	25,1 R	0,04
XXV	Perdita	26	$10^{-4}$	1,3	23,6	0,07
XXVI	Mab	24	$8 \cdot 10^{-5}$	1,3	24,6	0,10
XXVII	Cupido	18	$3 \cdot 10^{-5}$	1,3	25,8	0,07
Neptuno:						
I	Tritón	2707	213,896	2,059	13,54	0,72
II	Nereida	~340	0,309	1,5	19,2 R	0,16
III	Náyade	~66	0,002	1,3	23,91	0,07
IV	Talasa	~82	0,004	1,3	23,32	0,09
V	Despina	~150	0,021	1,3	22,00	0,09
VI	Galatea	~176	0,037	1,3	21,85	0,08
VII	Larisa	~194	0,049	1,3	21,49	0,09
VIII	Proteo	~420	0,503	1,3	19,75	0,10
IX	Halimede	62	0,001	1,5	24,5 R	0,04
X	Psámate	40	$10^{-4}$	1,5	25,5 R	0,04
XI	Sao	44	0,001	1,5	25,5 R	0,04
XII	Laomedea	42	0,001	1,5	25,5 R	0,04
XIII	Neso	60	0,002	1,5	24,6 R	0,04
XIV	Hipocampo	~18	$4 \cdot 10^{-5}$	1,3	26,5	0,10



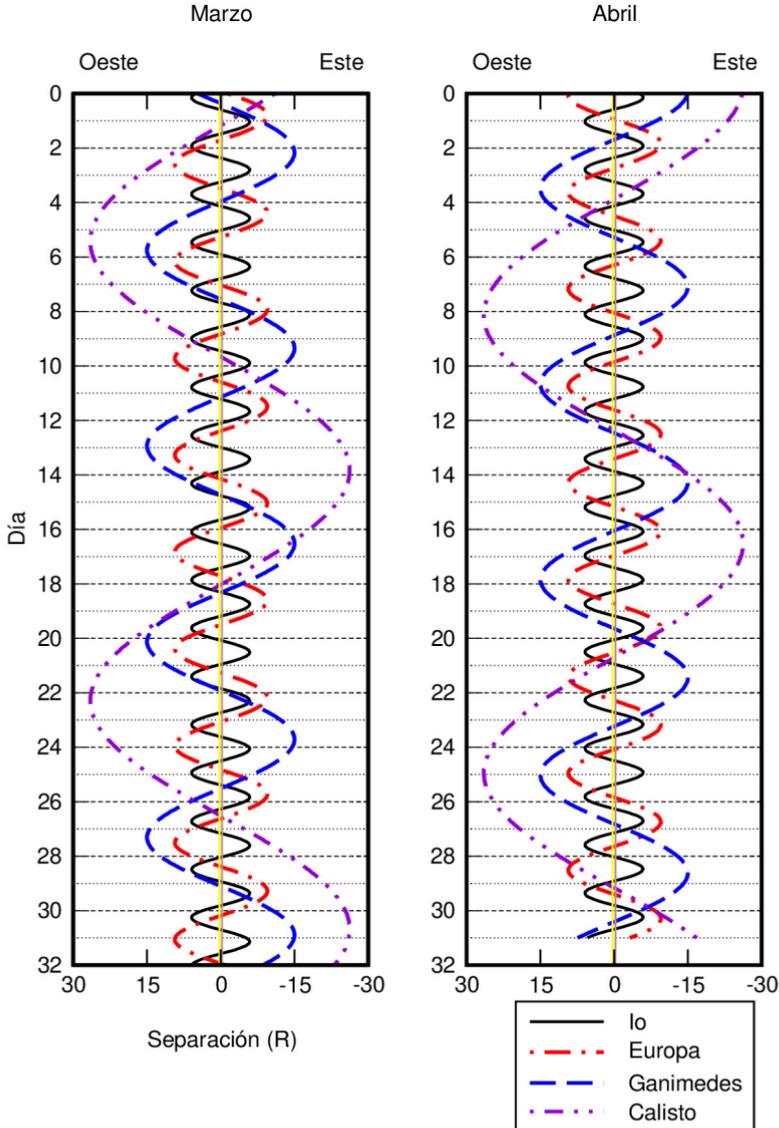
## Posiciones relativas de los satélites galileanos de Júpiter

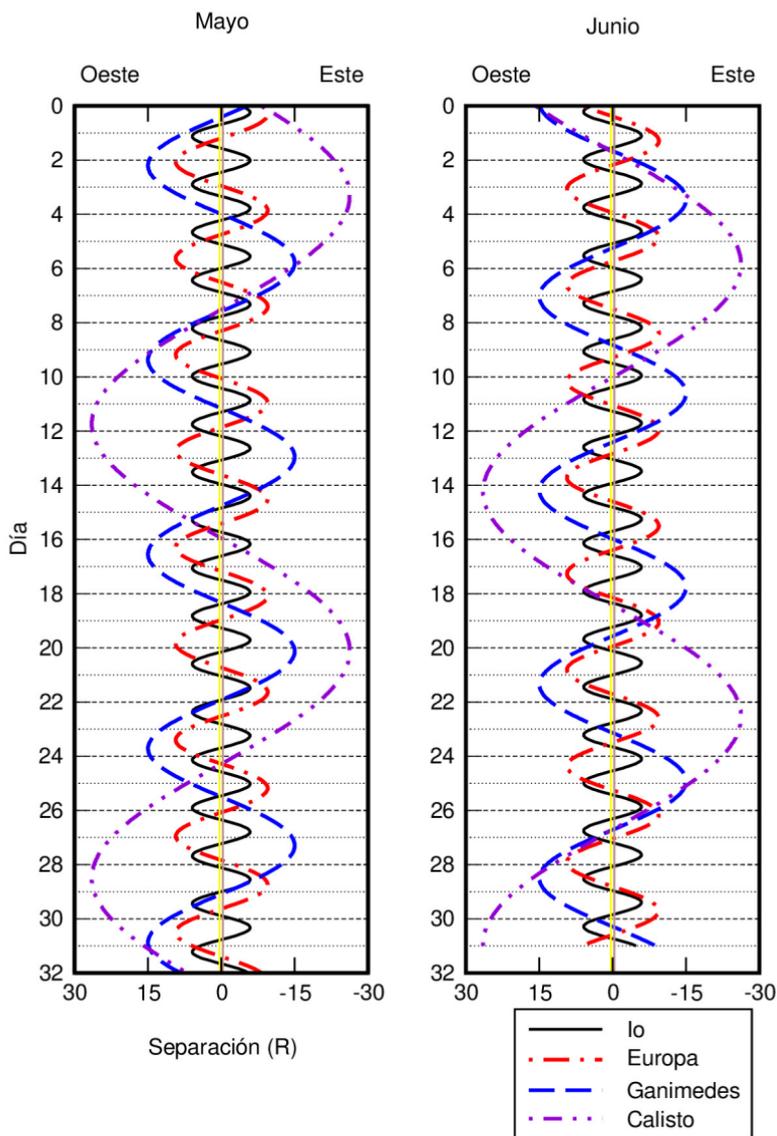
De mayor a menor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Calisto, Ganimedes, Europa e Io.

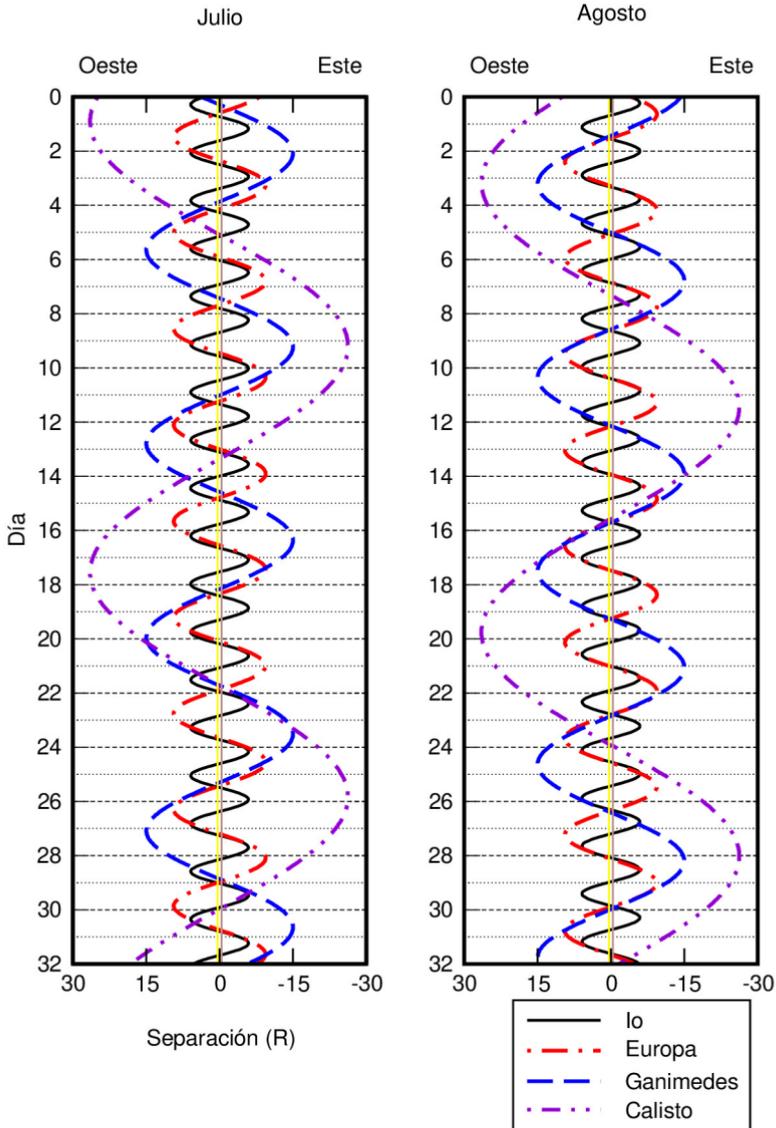


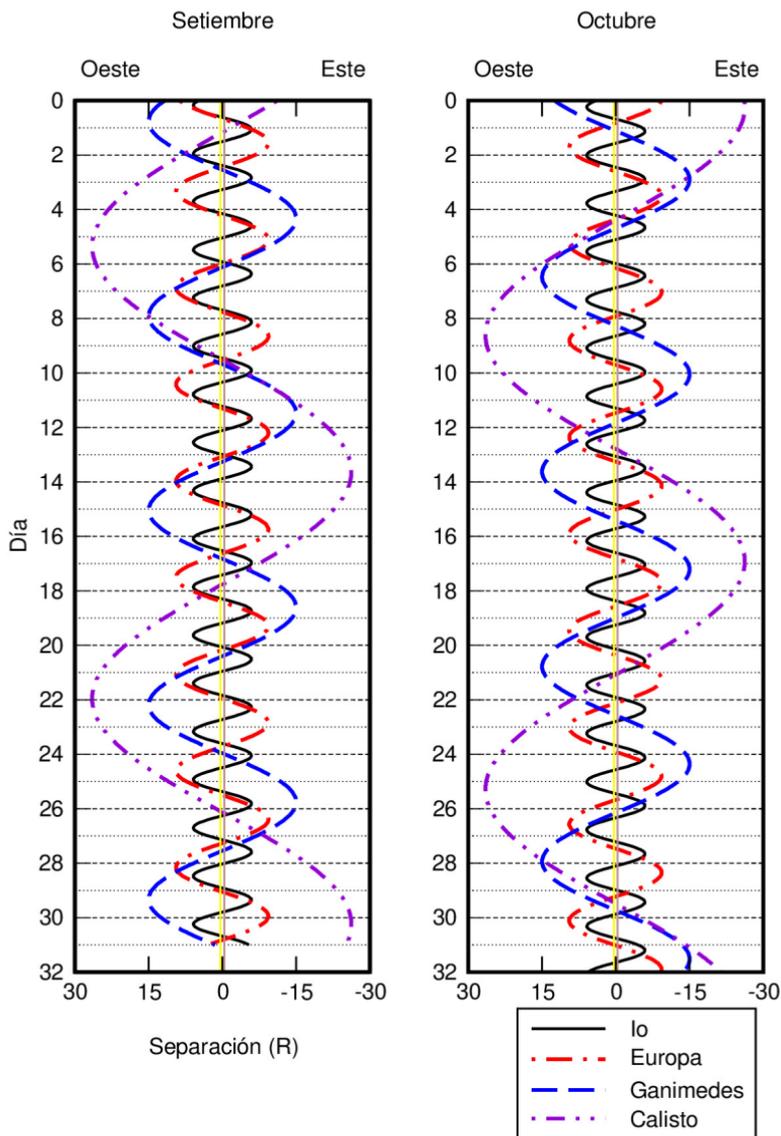
Obsérvese que Oeste y Este están colocados como se ven en un telescopio y al revés de como se ven con unos prismáticos.

Las dos líneas verticales indican el tamaño del planeta. La separación respecto del centro del planeta viene dada en radios planetarios.









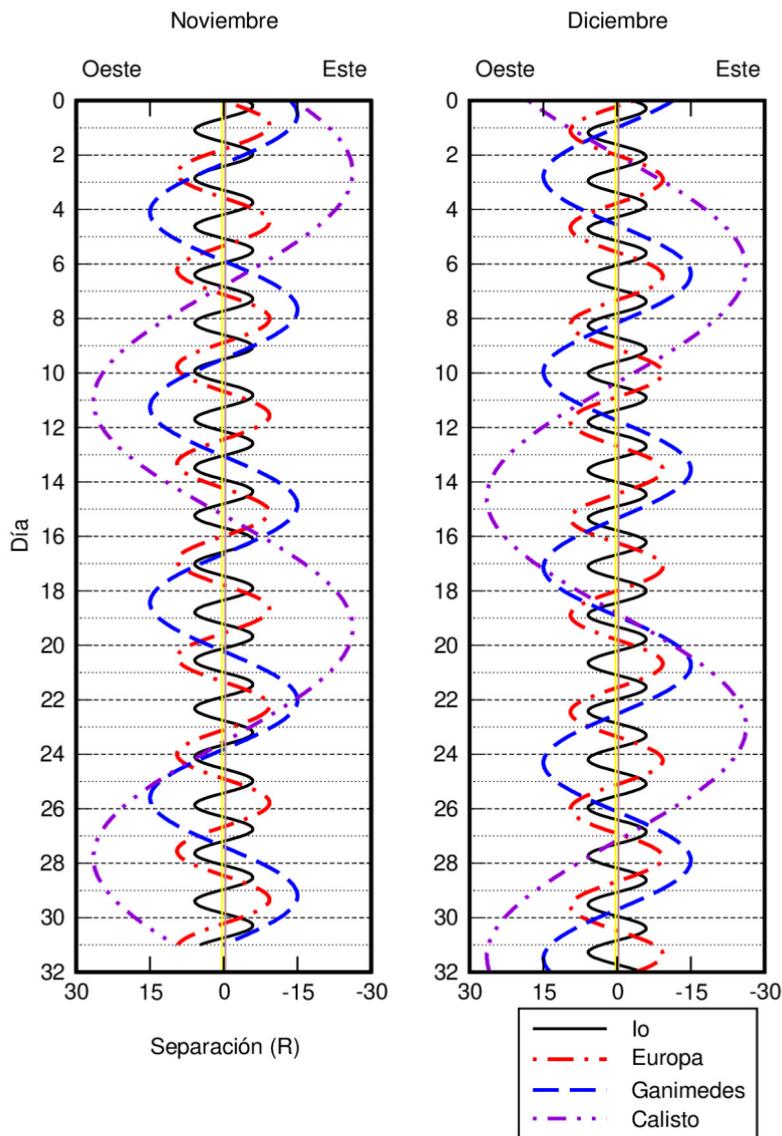


Tabla de equivalencias para distancias en el sistema solar

paralaje ecuatorial	tiempo luz ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	distancia		
		en ua	en $\mathcal{R}_{\oplus}$	en km
1°	1,2	0,0024	57,3	3,65 10 <sup>5</sup>
50'	1,5	0,0029	68,8	4,39 10 <sup>5</sup>
40'	1,8	0,0037	85,9	5,48 10 <sup>5</sup>
30'	2,4	0,0049	114,6	7,31 10 <sup>5</sup>
20'	3,7	0,0073	171,9	10,96 10 <sup>5</sup>
10'	7,3	0,0147	343,8	21,93 10 <sup>5</sup>
9'	8,1	0,0163	382,0	24,36 10 <sup>5</sup>
8'	9,1	0,0183	429,7	27,41 10 <sup>5</sup>
7'	10,4	0,0209	491,1	31,32 10 <sup>5</sup>
6'	12,2	0,0244	573,0	36,54 10 <sup>5</sup>
5'	14,6	0,0293	687,5	43,85 10 <sup>5</sup>
4'	18,3	0,0366	859,4	54,82 10 <sup>5</sup>
3'	24,4	0,0489	1145,9	73,09 10 <sup>5</sup>
2'	36,6	0,0733	1718,9	109,63 10 <sup>5</sup>
1'	73,1	0,1466	3438	219,26 10 <sup>5</sup>
50''	1 27,8	0,176	4125	263 10 <sup>5</sup>
40''	1 49,7	0,220	5157	329 10 <sup>5</sup>
30''	2 26,3	0,293	6875	439 10 <sup>5</sup>
20''	3 39,4	0,440	10313	658 10 <sup>5</sup>
10''	7 18,8	0,879	20600	1316 10 <sup>5</sup>
9''	8 07,6	0,977	22900	146 10 <sup>6</sup>
8''	9 08,5	1,099	25800	164 10 <sup>6</sup>
7''	10 26,9	1,256	29500	188 10 <sup>6</sup>
6''	12 11,4	1,466	34400	219 10 <sup>6</sup>
5''	14 37,7	1,759	41300	263 10 <sup>6</sup>
4''	18 17,1	2,199	51600	329 10 <sup>6</sup>
3''	24 22,8	2,931	68800	439 10 <sup>6</sup>
2''	36 34,2	4,397	103100	658 10 <sup>6</sup>
1''	73 08,3	8,794	206300	1316 10 <sup>6</sup>
0''9	1 21 16	9,8	229 10 <sup>3</sup>	146 10 <sup>7</sup>
0''8	1 31 25	11,0	258 10 <sup>3</sup>	164 10 <sup>7</sup>
0''7	1 44 29	12,6	295 10 <sup>3</sup>	188 10 <sup>7</sup>
0''6	2 01 54	14,7	344 10 <sup>3</sup>	219 10 <sup>7</sup>
0''5	2 26 17	17,6	413 10 <sup>3</sup>	263 10 <sup>7</sup>
0''4	3 02 51	22,0	516 10 <sup>3</sup>	329 10 <sup>7</sup>
0''3	4 03 48	29,3	688 10 <sup>3</sup>	439 10 <sup>7</sup>
0''2	6 05 42	44,0	1031 10 <sup>3</sup>	658 10 <sup>7</sup>
0''1	12 11 23	87,9	2063 10 <sup>3</sup>	1316 10 <sup>7</sup>

La unidad astronómica (ua) por definición es igual a 149.597.870,700 km.

# **OBJETOS MENORES DEL SISTEMA SOLAR**

Planetas enanos

Elementos orbitales y parámetros físicos

Efemérides

Asteroides

Elementos orbitales y parámetros físicos

Efemérides de los asteroides principales

Cometas

Lluvias de meteoros

## Estadísticas de objetos menores

Número de objetos conocidos de distinto tipo en junio de 2020:

Planetas enanos:	5
Satélites de los planetas enanos:	9
Asteroides descubiertos:	~959 000
Asteroides numerados:	~546 000
Asteroides nombrados:	~22 100
Ritmo anual de descubrimiento de asteroides:	~5 000
Asteroides potencialmente peligrosos:	2 093
Objetos Atenas ( $Q > 0,983$ ua, $a < 1$ ua):	1 786
Objetos Apolo ( $q < 1,017$ ua, $a > 1$ ua):	13 033
Objetos Amor ( $1,017 < q < 1,3$ ua):	8 706
Objetos Centauro (entre Júpiter y Neptuno):	29
Objetos transneptunianos:	2 536
Cometas con denominación IAU:	~ 4192
Cometas de corto periodo numerados:	395
Ritmo de descubrimiento de cometas:	~ 50 por año
Masa total de los asteroides:	$0,0005 \mathcal{M}_{\oplus}$
Masa del cinturón de Kuiper:	$0,03-0,1 \mathcal{M}_{\oplus}$
Masa de la nube exterior de Oort:	$\sim 5 \mathcal{M}_{\oplus}$

Donde son:

- $a$  semieje mayor de la órbita.
- $q$  distancia mínima al Sol.
- $Q$  distancia máxima al Sol.

Véase una descripción de distintos tipos de asteroides en la sección dedicada a los asteroides cercanos a la Tierra.

## Planetas enanos

En la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) celebrada en Praga en agosto de 2006 se resolvió añadir un nuevo término de objeto celeste, el de "planeta enano". Este es un cuerpo celeste que:

- (a) está en órbita alrededor del Sol,

- (b) tiene suficiente masa para que su propia gravedad haya superado la fuerza de cuerpo rígido, de manera que ha adquirido equilibrio hidrostático (forma casi esférica),
- (c) no ha limpiado de otros cuerpos similares la vecindad de su órbita y
- (d) no es un satélite.

Según tal definición, Plutón deja de ser un planeta en el sentido clásico y pasa a ser catalogado como planeta enano. Además, es el prototipo de una nueva categoría de objetos transneptunianos que la IAU, en la reunión de su Comité Ejecutivo celebrada en Oslo en junio de 2008, ha decidido denominar oficialmente *plutoide* y que corresponde a los planetas enanos más alejados del Sol que Neptuno.

También pasan a ser planetas enanos el asteroide Ceres, el plutoide Eris y, en junio y setiembre del año 2008, los plutoides Makemake y Haumea.

## Elementos orbitales y parámetros físicos

En las tablas siguientes figuran los elementos orbitales de los planetas enanos referidos al equinoccio y eclíptica medios J2000.0. Cuando alguna magnitud se expresa en *años* se refiere a años julianos, de 365,25 días.

La explicación de los distintos parámetros que aparecen en las tablas puede encontrarse en el capítulo dedicado a los planetas.

### Elementos orbitales (J2000.0)

Planeta	inclinación $i$	longitud del nodo, $\Omega$	argumento perihelio, $\omega$	longitud del perihelio, $\varpi$
Ceres	10°587	80°409	73°213	153°622
Plutón	17°142	110°303	113°764	224°067
Haumea	28°225	122°104	239°360	361°464
Makemake	28°998	79°597	298°410	378°007
Eris	44°179	35°874	151°506	187°380

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

### Distancias orbitales (J2000.0)

Planeta	semieje mayor, $a$		excentricidad, $e$	distancias (ua)	
	en ua	10 <sup>6</sup> km		q,mínima	Q,máxima
Ceres	2,7655	413,71	0,0800	2,544	2,987
Plutón	39,4817	5906,38	0,2488	28,641	50,322
Haumea	43,0808	6444,80	0,1963	34,624	51,538
Makemake	45,4823	6804,06	0,1597	38,218	52,746
Eris	67,6960	10127,18	0,4409	37,846	97,546

**Traslación (J2000.0)**

Planeta	periodo orbital $P$ (años)	movimiento medio diario $n$	velocidad orbital media $V$ (km/s)	periodo sinódico medio (días)
Ceres	4,60	0°214304	17,88	466,72
Plutón	247,94	0°003975	4,67	366,73
Haumea	282,77	0°003486	4,48	366,54
Makemake	306,74	0°003213	4,42	366,44
Eris	557,00	0°001770	3,44	365,90

La velocidad de escape es  $\sqrt{2}$  veces la velocidad orbital.

**Datos fotométricos**

Planeta	albedo geométrico	albedo de Bond	magnitud visual, $V$ , en oposic.	índice de color $B-V$	constante solar (Tierra=1)
Ceres	0,1		6,8	0,71	0,13
Plutón	$\sim 0,6$	$\sim 0,5$	15,1	0,85	0,0007
Haumea	0,7		16,5		0,0005
Makemake	0,8		16,0		0,0005
Eris	0,9		17,1		0,0002

La constante solar de la Tierra es:  $1\,370\text{ W m}^{-2} = 1,96\text{ cal min}^{-1}\text{ cm}^{-2}$ .

**Tamaño**

Planeta	radio ecuat. en $\mathcal{R}_{\oplus}$	tamaño elipsoide en km	achata- miento, $f$	tamaño del angular a 1 ua	volumen Tierra=1 ( $\approx 10^{12}\text{ km}^3$ )
Ceres	0,076	$965 \times 961 \times 891$	0,075	1"3	0,0004
Plutón	0,186	2377	$< 0,006$	3"3	0,0064
Haumea	$\sim 0,157$	$1920 \times 1540 \times 990$	$\sim 0,4$	$\sim 2"7$	$\sim 0,002$
Makemake	$\sim 0,118$	$1434 \times 1434 \times 1422$	0,008	$\sim 2"1$	$\sim 0,002$
Eris	0,185	2326	$\sim 0$	3"3	0,0064

El achatamiento se define como:  $f = 1 - D_{\text{polar}}/D_{\text{ecuat}}$

**Masa**

Planeta	masa, $M_{\text{P}}$ ( $\mathcal{M}_{\oplus}$ )	densidad media ( $\text{g cm}^{-3}$ )	gravedad superf. ecu. ( $\text{m s}^{-2}$ )	constante gravit., $GM_{\text{P}}$ ( $10^{10}\text{ m}^3\text{ s}^{-2}$ )
Ceres	0,00016	2,2	0,56	6
Plutón	0,00218	1,9	0,62	87
Haumea	$\sim 0,0007$	2,6	$\sim 0,3$	$\sim 27$
Makemake	$\sim 0,0007$	$\sim 2$	$\sim 0,5$	$\sim 27$
Eris	0,00277	2,4	0,79	110

### Descubrimiento de los planetas enanos

---

Ceres:	1 de enero de 1801, por Giuseppe Piazzi (1746–1826) en Palermo mediante observación visual. Anunció el descubrimiento el 24 de enero.
Plutón:	18 de febrero de 1930, por Clyde William Tombaugh (1906–1997). Descubrimiento hecho a partir de fotografías tomadas con un telescopio de 13 pulgadas de apertura en el observatorio Lowell (EEUU) los días 23 y 29 de enero, y hecho público el 13 de marzo.
Haumea:	7 de marzo de 2003, en el Observatorio de Sierra Nevada (España) y el 28 de diciembre de 2004 en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU). El descubrimiento se anunció en julio de 2005 por M.E. Brown et al y por J.L. Ortiz et al. Aún no hay descubridor oficial.
Eris:	21 de octubre de 2003, por Michael E. Brown, Chad A. Trujillo y David L. Rabinowitz en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU). El descubrimiento se anunció el 29 de julio de 2005.
Makemake:	31 de marzo de 2005, por Michael E. Brown, Chad A. Trujillo y David L. Rabinowitz en el Observatorio de Monte Palomar (EEUU). El descubrimiento se anunció el 29 de julio de 2005.

---

### Satélites de los planetas enanos

---

planeta satélite	dimensiones (km)	mag.	periodo orbital (d)	descubrimiento
Plutón:				
I Caronte	1208	16,8	6,387	1978 Christy
II Nix	50×35×33	23,4	24,855	2005 Weaver et al
III Hidra	65×45×25	22,9	38,202	2005 Weaver et al
IV Cerbero	19×10×9	26,3	32,168	2011 Showalter et al
V Estigia	16×9×8	26,9	20,162	2012 Showalter et al
Haumea:				
I Hi'iaka	~310	20,6	49,46	2005 Brown y AOT
II Namaka	~170	21,9	18,28	2005 Brown y AOT
Makemake:				
I S/2015 (126472) 1	~175	23,8	> 12	2016 Parker et al
Eris:				
I Disnomia	300–400	23,1	~14	2005 Brown y AOT

---

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

Los valores del tamaño y el periodo del satélite de Makemake son preliminares.

**Efemérides**

Coordenadas astrométricas, incluyendo perturbaciones planetarias.

**CERES 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	23 07 18,4	-15 49 53	3,297	2,959	17	9,3
Ene 11	23 18 41,6	-14 14 14	3,413	2,956	16	9,3
Ene 21	23 30 45,1	-12 35 39	3,518	2,952	14	9,3
Ene 31	23 43 21,0	-10 54 55	3,613	2,948	13	9,3
Feb 10	23 56 23,4	-09 12 40	3,695	2,944	11	9,3
Feb 20	00 09 47,7	-07 29 33	3,765	2,939	9	9,3
Mar 2	00 23 29,4	-05 46 19	3,821	2,935	8	9,2
Mar 12	00 37 25,6	-04 03 33	3,864	2,930	6	9,1
Mar 22	00 51 33,6	-02 21 56	3,892	2,925	4	9,1
Abr 1	01 05 50,6	+00 42 08	3,905	2,919	3	9,0
Abr 11	01 20 14,9	+00 55 17	3,905	2,914	3	9,0
Abr 21	01 34 44,6	+02 29 43	3,890	2,908	4	9,0
May 1	01 49 17,2	+04 00 32	3,862	2,902	5	9,1
May 11	02 03 51,2	+05 27 17	3,820	2,896	7	9,2
May 21	02 18 23,7	+06 49 26	3,765	2,890	9	9,2
May 31	02 32 51,6	+08 06 30	3,697	2,883	11	9,2
Jun 10	02 47 12,3	+09 18 09	3,617	2,877	12	9,3
Jun 20	03 01 21,1	+10 23 58	3,527	2,870	14	9,3
Jun 30	03 15 13,0	+11 23 44	3,425	2,863	16	9,2
Jul 10	03 28 42,7	+12 17 16	3,315	2,856	17	9,2
Jul 20	03 41 42,3	+13 04 26	3,195	2,849	18	9,2
Jul 30	03 54 03,7	+13 45 17	3,068	2,841	19	9,1
Ago 9	04 05 37,0	+14 20 00	2,936	2,834	20	9,0
Ago 19	04 16 09,6	+14 48 48	2,798	2,826	21	9,0
Ago 29	04 25 28,3	+15 12 12	2,658	2,819	21	8,8
Set 8	04 33 17,1	+15 30 44	2,517	2,811	21	8,7
Set 18	04 39 17,6	+15 45 08	2,378	2,803	20	8,6
Set 28	04 43 12,4	+15 56 18	2,244	2,795	19	8,4
Oct 8	04 44 42,8	+16 05 07	2,119	2,787	18	8,2
Oct 18	04 43 34,4	+16 12 29	2,006	2,779	15	8,0
Oct 28	04 39 42,8	+16 19 16	1,909	2,771	12	7,8
Nov 7	04 33 15,7	+16 26 07	1,834	2,763	9	7,5
Nov 17	04 24 43,0	+16 33 45	1,784	2,755	5	7,3
Nov 27	04 14 55,4	+16 42 54	1,762	2,747	2	7,0
Dic 7	04 04 57,0	+16 54 35	1,769	2,739	5	7,2
Dic 17	03 55 57,6	+17 10 12	1,805	2,730	9	7,5
Dic 27	03 48 53,6	+17 30 59	1,867	2,722	12	7,7

**PLUTON 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	19 44 02,1	-22 29 58	35,147	34,192	0	14,4
Ene 11	19 45 26,9	-22 27 19	35,179	34,198	0	14,4
Ene 21	19 46 52,5	-22 24 39	35,182	34,205	0	14,4
Ene 31	19 48 16,7	-22 22 03	35,156	34,212	0	14,4
Feb 10	19 49 37,6	-22 19 37	35,102	34,218	1	14,4
Feb 20	19 50 53,3	-22 17 26	35,022	34,225	1	14,4
Mar 2	19 52 02,0	-22 15 34	34,918	34,231	1	14,4
Mar 12	19 53 02,1	-22 14 07	34,793	34,238	1	14,4
Mar 22	19 53 52,4	-22 13 08	34,652	34,245	2	14,4
Abr 1	19 54 31,7	-22 12 40	34,499	34,251	2	14,4
Abr 11	19 54 59,3	-22 12 44	34,338	34,258	2	14,4
Abr 21	19 55 14,6	-22 13 23	34,174	34,264	2	14,4
May 1	19 55 17,6	-22 14 36	34,013	34,271	2	14,4
May 11	19 55 08,5	-22 16 21	33,858	34,278	2	14,4
May 21	19 54 47,8	-22 18 37	33,715	34,284	1	14,4
May 31	19 54 16,4	-22 21 19	33,589	34,291	1	14,4
Jun 10	19 53 35,7	-22 24 23	33,482	34,298	1	14,3
Jun 20	19 52 47,0	-22 27 44	33,398	34,304	1	14,3
Jun 30	19 51 52,4	-22 31 15	33,340	34,311	1	14,3
Jul 10	19 50 53,6	-22 34 52	33,310	34,318	0	14,3
Jul 20	19 49 53,0	-22 38 27	33,309	34,324	0	14,3
Jul 30	19 48 52,8	-22 41 55	33,337	34,331	0	14,3
Ago 9	19 47 55,2	-22 45 09	33,393	34,337	1	14,3
Ago 19	19 47 02,4	-22 48 05	33,477	34,344	1	14,3
Ago 29	19 46 16,4	-22 50 39	33,585	34,351	1	14,4
Set 8	19 45 38,9	-22 52 46	33,715	34,357	1	14,4
Set 18	19 45 11,4	-22 54 24	33,864	34,364	1	14,4
Set 28	19 44 55,3	-22 55 32	34,028	34,371	2	14,4
Oct 8	19 44 51,1	-22 56 07	34,200	34,377	2	14,4
Oct 18	19 44 59,6	-22 56 11	34,378	34,384	2	14,4
Oct 28	19 45 20,5	-22 55 43	34,555	34,391	2	14,4
Nov 7	19 45 53,7	-22 54 46	34,727	34,397	2	14,4
Nov 17	19 46 38,5	-22 53 20	34,889	34,404	1	14,5
Nov 27	19 47 33,8	-22 51 30	35,036	34,410	1	14,5
Dic 7	19 48 38,4	-22 49 18	35,164	34,417	1	14,5
Dic 17	19 49 50,7	-22 46 47	35,270	34,424	1	14,5
Dic 27	19 51 09,0	-22 44 04	35,350	34,430	1	14,4

La magnitud de Plutón incluye la de su satélite principal Caronte.

**HAUMEA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )				
Ene 1	14 25 46,7	+15 13 47	50,538	50,278	1	17,4
Ene 11	14 26 11,1	+15 17 23	50,385	50,276	1	17,4
Ene 21	14 26 27,9	+15 21 53	50,230	50,273	1	17,4
Ene 31	14 26 36,6	+15 27 08	50,075	50,271	1	17,4
Feb 10	14 26 37,2	+15 32 57	49,926	50,269	1	17,4
Feb 20	14 26 29,6	+15 39 09	49,788	50,266	1	17,3
Mar 2	14 26 14,5	+15 45 31	49,664	50,264	1	17,3
Mar 12	14 25 52,3	+15 51 51	49,559	50,262	1	17,3
Mar 22	14 25 24,0	+15 57 54	49,475	50,259	1	17,3
Abr 1	14 24 50,6	+16 03 29	49,414	50,257	1	17,3
Abr 11	14 24 13,4	+16 08 25	49,379	50,254	1	17,3
Abr 21	14 23 33,6	+16 12 31	49,370	50,252	1	17,3
May 1	14 22 52,9	+16 15 40	49,387	50,250	1	17,3
May 11	14 22 12,5	+16 17 45	49,429	50,247	1	17,3
May 21	14 21 33,9	+16 18 43	49,494	50,245	1	17,3
May 31	14 20 58,3	+16 18 31	49,582	50,243	1	17,3
Jun 10	14 20 27,0	+16 17 10	49,688	50,240	1	17,3
Jun 20	14 20 01,1	+16 14 43	49,810	50,238	1	17,4
Jun 30	14 19 41,4	+16 11 12	49,943	50,235	1	17,4
Jul 10	14 19 28,5	+16 06 46	50,085	50,233	1	17,4
Jul 20	14 19 22,9	+16 01 29	50,231	50,231	1	17,4
Jul 30	14 19 25,0	+15 55 32	50,377	50,228	1	17,4
Ago 9	14 19 34,6	+15 49 04	50,518	50,226	1	17,4
Ago 19	14 19 51,8	+15 42 14	50,651	50,224	1	17,4
Ago 29	14 20 16,1	+15 35 13	50,772	50,221	1	17,4
Set 8	14 20 47,1	+15 28 11	50,877	50,219	1	17,4
Set 18	14 21 24,0	+15 21 20	50,964	50,216	1	17,4
Set 28	14 22 06,0	+15 14 50	51,029	50,214	1	17,4
Oct 8	14 22 52,1	+15 08 51	51,071	50,212	1	17,4
Oct 18	14 23 41,2	+15 03 32	51,088	50,209	1	17,3
Oct 28	14 24 32,1	+14 59 01	51,080	50,207	1	17,3
Nov 7	14 25 23,6	+14 55 26	51,046	50,204	1	17,4
Nov 17	14 26 14,3	+14 52 53	50,987	50,202	1	17,4
Nov 27	14 27 03,0	+14 51 25	50,904	50,199	1	17,4
Dic 7	14 27 48,4	+14 51 06	50,801	50,197	1	17,4
Dic 17	14 28 29,4	+14 51 56	50,679	50,195	1	17,4
Dic 27	14 29 04,7	+14 53 52	50,542	50,192	1	17,4

**MAKEMAKE 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )				
Ene 1	13 14 00,8	+22 36 03	52,545	52,599	1	17,3
Ene 11	13 14 09,6	+22 40 45	52,393	52,599	1	17,3
Ene 21	13 14 10,3	+22 46 07	52,248	52,600	1	17,3
Ene 31	13 14 03,1	+22 51 58	52,113	52,601	1	17,2
Feb 10	13 13 48,3	+22 58 05	51,994	52,602	1	17,2
Feb 20	13 13 26,4	+23 04 15	51,893	52,602	1	17,2
Mar 2	13 12 58,5	+23 10 14	51,814	52,603	1	17,2
Mar 12	13 12 25,4	+23 15 50	51,759	52,604	1	17,2
Mar 22	13 11 48,4	+23 20 50	51,730	52,605	1	17,2
Abr 1	13 11 08,8	+23 25 04	51,728	52,605	1	17,2
Abr 11	13 10 28,2	+23 28 23	51,751	52,606	1	17,2
Abr 21	13 09 47,8	+23 30 39	51,800	52,607	1	17,2
May 1	13 09 09,1	+23 31 48	51,873	52,608	1	17,2
May 11	13 08 33,4	+23 31 48	51,967	52,608	1	17,2
May 21	13 08 01,9	+23 30 37	52,080	52,609	1	17,2
May 31	13 07 35,6	+23 28 18	52,208	52,610	1	17,3
Jun 10	13 07 15,4	+23 24 54	52,347	52,610	1	17,3
Jun 20	13 07 02,0	+23 20 31	52,493	52,611	1	17,3
Jun 30	13 06 55,7	+23 15 16	52,643	52,612	1	17,3
Jul 10	13 06 56,8	+23 09 17	52,791	52,613	1	17,3
Jul 20	13 07 05,4	+23 02 43	52,935	52,613	1	17,3
Jul 30	13 07 21,2	+22 55 43	53,069	52,614	1	17,3
Ago 9	13 07 44,0	+22 48 29	53,191	52,615	1	17,3
Ago 19	13 08 13,2	+22 41 09	53,296	52,615	1	17,3
Ago 29	13 08 48,2	+22 33 56	53,383	52,616	1	17,3
Set 8	13 09 28,1	+22 26 59	53,448	52,617	1	17,3
Set 18	13 10 11,9	+22 20 28	53,489	52,618	1	17,3
Set 28	13 10 58,8	+22 14 32	53,506	52,618	1	17,2
Oct 8	13 11 47,4	+22 09 21	53,497	52,619	1	17,2
Oct 18	13 12 36,6	+22 05 03	53,463	52,620	1	17,3
Oct 28	13 13 25,3	+22 01 42	53,404	52,620	1	17,3
Nov 7	13 14 12,0	+21 59 26	53,323	52,621	1	17,3
Nov 17	13 14 55,8	+21 58 17	53,220	52,622	1	17,3
Nov 27	13 15 35,3	+21 58 17	53,099	52,623	1	17,3
Dic 7	13 16 09,5	+21 59 25	52,964	52,623	1	17,3
Dic 17	13 16 37,5	+22 01 40	52,818	52,624	1	17,3
Dic 27	13 16 58,5	+22 04 56	52,667	52,625	1	17,3

**ERIS 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	01 42 48,0	-01 45 37	95,719	95,935	1	18,8
Ene 11	01 42 43,9	-01 44 20	95,886	95,933	1	18,8
Ene 21	01 42 43,9	-01 42 39	96,055	95,931	1	18,8
Ene 31	01 42 48,0	-01 40 36	96,220	95,929	1	18,8
Feb 10	01 42 55,9	-01 38 14	96,376	95,927	1	18,8
Feb 20	01 43 07,6	-01 35 38	96,518	95,925	0	18,8
Mar 2	01 43 22,6	-01 32 51	96,642	95,923	0	18,8
Mar 12	01 43 40,4	-01 29 57	96,744	95,921	0	18,8
Mar 22	01 44 00,5	-01 27 01	96,821	95,919	0	18,8
Abr 1	01 44 22,4	-01 24 08	96,872	95,916	0	18,8
Abr 11	01 44 45,4	-01 21 21	96,896	95,914	0	18,8
Abr 21	01 45 08,9	-01 18 44	96,890	95,912	0	18,8
May 1	01 45 32,3	-01 16 21	96,856	95,910	0	18,8
May 11	01 45 54,8	-01 14 15	96,796	95,908	0	18,8
May 21	01 46 15,9	-01 12 30	96,710	95,906	0	18,8
May 31	01 46 35,1	-01 11 06	96,602	95,904	0	18,8
Jun 10	01 46 51,9	-01 10 06	96,473	95,902	1	18,8
Jun 20	01 47 05,8	-01 09 30	96,329	95,900	1	18,8
Jun 30	01 47 16,4	-01 09 19	96,173	95,898	1	18,8
Jul 10	01 47 23,4	-01 09 33	96,008	95,896	1	18,8
Jul 20	01 47 26,7	-01 10 10	95,841	95,894	1	18,8
Jul 30	01 47 26,2	-01 11 09	95,675	95,892	1	18,8
Ago 9	01 47 21,9	-01 12 27	95,515	95,890	1	18,8
Ago 19	01 47 13,8	-01 14 02	95,365	95,888	1	18,8
Ago 29	01 47 02,3	-01 15 51	95,230	95,885	0	18,8
Set 8	01 46 47,6	-01 17 50	95,114	95,883	0	18,8
Set 18	01 46 30,2	-01 19 54	95,020	95,881	0	18,8
Set 28	01 46 10,5	-01 21 59	94,952	95,879	0	18,8
Oct 8	01 45 49,3	-01 24 01	94,911	95,877	0	18,7
Oct 18	01 45 27,0	-01 25 55	94,898	95,875	0	18,7
Oct 28	01 45 04,5	-01 27 37	94,916	95,873	0	18,7
Nov 7	01 44 42,4	-01 29 02	94,962	95,871	0	18,8
Nov 17	01 44 21,5	-01 30 08	95,036	95,869	0	18,8
Nov 27	01 44 02,5	-01 30 50	95,135	95,867	0	18,8
Dic 7	01 43 45,9	-01 31 08	95,258	95,864	0	18,8
Dic 17	01 43 32,4	-01 30 59	95,398	95,862	1	18,8
Dic 27	01 43 22,4	-01 30 24	95,554	95,860	1	18,8

## Asteroides

En junio de 2020 se llevan descubiertos unos 959 000 asteroides, de los cuales unos 546 000 han sido numerados y unos 22 100 han recibido un nombre. Por su órbita y su tamaño, unos 2 093 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	$\omega$ ( $^{\circ}$ )	$\Omega$ ( $^{\circ}$ )	$i$ ( $^{\circ}$ )
1 Ceres	2018,42	2,7687	0,0771	73,771	80,297	10,590
2 Palas	2018,59	2,7734	0,2301	310,156	173,048	34,831
3 Juno	2018,92	2,6685	0,2569	248,087	169,850	12,991
4 Vesta	2018,42	2,3620	0,0885	150,846	103,809	7,142
5 Astrea	2016,09	2,5743	0,1910	358,654	141,571	5,367
6 Hebe	2018,42	2,4246	0,2032	239,754	138,642	14,739
7 Iris	2017,92	2,3867	0,2305	145,240	259,565	5,523
8 Flora	2017,59	2,2018	0,1559	285,405	110,876	5,889
9 Metis	2016,51	2,3862	0,1233	6,356	68,910	5,577
10 Hygiea	2017,00	3,1424	0,1122	312,390	283,199	3,832
11 Partenope	2016,42	2,4528	0,1000	195,373	125,528	4,632
12 Victoria	2018,01	2,3340	0,2204	69,676	235,403	8,373
13 Egeria	2017,25	2,5759	0,0853	80,461	43,221	16,536
14 Irene	2017,42	2,5862	0,1663	97,816	86,124	9,122
15 Eunomia	2016,00	2,6435	0,1861	98,593	292,936	11,754
16 Psyche	2015,34	2,9226	0,1335	229,017	150,041	3,097
18 Melpomene	2016,76	2,2956	0,2175	228,073	150,366	10,132
19 Fortuna	2017,26	2,4435	0,1571	182,161	211,093	1,573
20 Masalia	2018,17	2,4101	0,1423	257,201	206,051	0,708
27 Euterpe	2019,59	2,3464	0,1732	356,401	94,788	1,584
29 Amphitrite	2016,17	2,5547	0,0729	63,295	356,339	6,082
39 Laetitia	2020,09	2,7687	0,1114	209,289	156,950	10,370
40 Harmonia	2018,34	2,2668	0,0472	269,583	94,188	4,257
44 Nysa	2018,50	2,4251	0,1478	343,734	131,504	3,709
51 Nemausa	2018,42	2,3649	0,0678	2,280	175,966	9,979
89 Julia	2017,83	2,5495	0,1850	45,347	311,552	16,131
192 Nausikaa	2019,42	2,4035	0,2452	30,686	343,101	6,798
230 Atamantis	2019,09	2,3824	0,0617	140,093	239,850	9,450
349 Dembowska	2017,34	2,9225	0,0916	345,635	32,341	8,246
354 Eleonora	2019,67	2,7979	0,1138	5,551	140,353	18,401

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,  
 $\omega$  = argumento del perihelio,  
 $\Omega$  = 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:

$$P = a^{3/2}$$

El movimiento medio es:  $n = 0,98561/P$  ( $^{\circ}$ /día).

#### Datos físicos y fotométricos

nombre	tamaño (km)	tipo esp.	$P_{rotac}$ (h)	$V(a,0)$ (magn.)	coef. mag.	
					H	G
1 Ceres	965×961×891	C	9,074	6,79	3,34	0,12
2 Palas	570×525×500	B	7,813	7,59	4,13	0,11
3 Juno	320×267×200	S	7,210	8,58	5,33	0,32
4 Vesta	573×557×446	V	5,342	5,74	3,20	0,32
5 Astrea	167×123×82	S	16,800	9,89	6,85	0,15
6 Hebe	205×185×170	S	7,275	8,41	5,71	0,24
7 Iris	240×200×200	S	7,139	8,11	5,51	0,15
8 Flora	161×161×161	S	12,865	8,60	6,49	0,28
9 Metis	222×182×130	S	5,079	8,88	6,28	0,17
10 Hygiea	530×407×370	C	27,623	9,56	5,43	0,15
11 Partenope	153×153×153	S	13,729	9,31	6,55	0,15
12 Victoria	113	S	8,660	9,71	7,24	0,22
13 Egeria	208×208×208	C	7,045	9,78	6,74	0,15
14 Irene	167×153×139	S	15,028	9,37	6,30	0,15
15 Eunomia	357×255×212	S	6,083	8,47	5,28	0,23
16 Psyche	240×185×145	M	4,196	9,65	5,90	0,20
18 Melpomene	170×155×129	S	11,570	8,88	6,51	0,25
19 Fortuna	225×205×195	C	7,443	9,87	7,13	0,10
20 Masalia	160×145×132	S	8,098	9,15	6,50	0,25
27 Euterpe	124×75	S	10,410	9,5	7,0	0,15
29 Amphitrite	233×212×193	S	5,392	8,84	5,85	0,20
39 Laetitia	210×150×107	S	5,138	9,5	6,1	0,15
40 Harmonia	108	S	8,910	9,3	7,0	0,15
44 Nysa	71	E	6,422	9,72	7,03	0,46
51 Nemausa	148	C	7,783	9,91	7,35	0,06

Los diez mayores asteroides de tamaño conocido, ordenados de mayor a menor de acuerdo con el diámetro de una esfera de volumen equivalente, son: 1 Ceres, 2 Palas (Pallas), 4 Vesta, 10 Hygiea, 704 Interamnia, 52 Europa, 511 Davida, 87 Silvia (Sylvia), 65 Cibeles (Cybele) y 15 Eunomia, todos ellos mayores de 260 km.

Se ha podido determinar la masa de muy pocos asteroides. Los cinco de mayor masa conocida, ordenados de mayor a menor, son: 1 Ceres, 4 Vesta, 2 Palas (Pallas), 10 Hygiea y 31 Eufrosine (Euphrosyne), todos ellos con una masa superior a  $5 \cdot 10^{19}$  kg.

El tipo espectral se refiere a la composición del asteroide o a algún parámetro relacionado con su reflectividad. En la tabla figuran los siguientes casos:

- C** = tipo carbonáceo, con albedo bajo ( $\sim 0,07$ ),
- B** = tipo carbonáceo, con espectro azulado y albedo bajo ( $\sim 0,07$ ),
- M** = tipo metálico, con albedo medio ( $\sim 0,15$ ),
- S** = tipo pétreo, con albedo medio ( $\sim 0,15$ ),
- V** = tipo Vesta, con albedo alto ( $\sim 0,25$ ) y
- E** = con albedo muy alto ( $\sim 0,33$ ).

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,  $\Delta$ , así como el ángulo de fase  $\beta$  (ver tablas en las páginas siguientes). La magnitud aparente predicha (para  $0^\circ < \beta < 120^\circ$ ) será:

$$V = H + 5 \log(r\Delta) - 2,5 \log[(1 - G)\Phi_1 + G\Phi_2]$$

donde  $r$  y  $\Delta$  se expresan en ua y siendo:

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

Cuando no está tabulado, el ángulo de fase  $\beta$  se puede calcular conocidas las distancias entre Sol, Tierra y asteroide, mediante la fórmula:

$$\cos \beta = \frac{\Delta^2 + r^2 - R^2}{2r\Delta}$$

donde  $R$  es la distancia Tierra-Sol (ver sección SOL o, en primera aproximación,  $R = 1$ ).

### Fechas de la oposición en 2021 de los primeros asteroides

	nombre	oposición en longitud	magnitud V	oposición en asc. recta
1	Ceres	Nov 27, 2 <sup>h</sup>	7,0	Nov 27, 18 <sup>h</sup>
2	Palas	Set 11, 3 <sup>h</sup>	8,6	Set 09, 9 <sup>h</sup>
3	Juno	Jun 06, 21 <sup>h</sup>	10,1	Jun 08, 10 <sup>h</sup>
4	Vesta	Mar 04, 18 <sup>h</sup>	5,9	Mar 08, 10 <sup>h</sup>
5	Astrea	Jun 20, 5 <sup>h</sup>	10,7	Jun 20, 6 <sup>h</sup>
6	Hebe	Jul 17, 10 <sup>h</sup>	8,4	Jul 15, 20 <sup>h</sup>
9	Metis	Abr 04, 12 <sup>h</sup>	9,5	Abr 07, 0 <sup>h</sup>
10	Hygiea	Ene 28, 18 <sup>h</sup>	9,9	Ene 28, 6 <sup>h</sup>
12	Victoria	Jul 30, 11 <sup>h</sup>	8,8	Jul 26, 17 <sup>h</sup>
14	Irene	Ene 24, 17 <sup>h</sup>	9,3	Ene 26, 19 <sup>h</sup>
15	Eunomia	Ene 21, 18 <sup>h</sup>	8,4	Ene 21, 6 <sup>h</sup>
18	Melpomene	Feb 02, 6 <sup>h</sup>	9,4	Feb 01, 3 <sup>h</sup>
27	Euterpe	Jul 03, 10 <sup>h</sup>	10,4	Jul 03, 11 <sup>h</sup>
29	Amphitrite	Feb 22, 4 <sup>h</sup>	9,1	Feb 23, 9 <sup>h</sup>
40	Harmonia	Oct 01, 20 <sup>h</sup>	9,5	Oct 04, 13 <sup>h</sup>
433	Eros	Jun 18, 2 <sup>h</sup>	11,4	Jun 17, 18 <sup>h</sup>

La oposición en longitud corresponde al instante de fase mínima.

### Asteroides cercanos a la Tierra

Se conoce un número cada vez mayor de asteroides que se acercan a la órbita de la Tierra. A aquellos cuyo perihelio  $q$  llega a ser menor de 1,3 ua se los denomina NEA, acrónimo de la expresión inglesa Near Earth Asteroids. Incluyen varios grupos especiales, que reciben el nombre del primer asteroide descubierto con unas determinadas características:

**PHA** Son los NEA potencialmente peligrosos, dado que pueden llegar a estar a una distancia de la Tierra menor de 0,05 ua (7,5 millones de km) y cuya magnitud absoluta es  $H < 22$ , lo que se traduce en un tamaño mayor de unos 150 m.

**Atón** Son aquellos NEA que cruzan la órbita de la Tierra ( $Q > 1 - e_{\oplus}$  ua) y cuyo semieje orbital es menor que el de ésta ( $a < 1$  ua).

**Apolo** Son aquellos NEA que cruzan la órbita de la Tierra ( $q < 1 + e_{\oplus}$  ua) y cuyo semieje orbital es mayor que el de ésta ( $a > 1$  ua).

**Amor** Son aquellos NEA que no llegan a cruzar la órbita terrestre pero cuyo perihelio es  $1 + e_{\oplus} < q < 1,3$  ua ( $e_{\oplus} = 0,017$ ).

## Efemérides

A continuación figuran las efemérides de los primeros asteroides para cada diez días en el intervalo en que su elongación solar es mayor de 90°. No se han considerado las perturbaciones planetarias. Las coordenadas ecuatoriales se refieren al equinoccio y ecuador medios de la época J2000. Se trata de coordenadas *astrométricas*, es decir, coordenadas geocéntricas corregidas únicamente de tiempo-luz pero no de aberración ánuu.

### 1 CERES 2021

(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Consultar efemérides en la página 240, apartado de planetas enanos

### 2 PALAS 2021

(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Jun 20	23 27 15,8	+08 42 38	3,063	3,270	18	10,1
Jun 30	23 31 21,2	+08 45 14	2,906	3,257	18	10,0
Jul 10	23 33 50,6	+08 33 15	2,754	3,244	17	9,9
Jul 20	23 34 33,4	+08 03 56	2,608	3,230	16	9,7
Jul 30	23 33 23,4	+07 14 56	2,474	3,215	14	9,5
Ago 9	23 30 18,6	+06 04 24	2,357	3,200	12	9,3
Ago 19	23 25 26,3	+04 31 55	2,260	3,185	9	9,1
Ago 29	23 19 06,5	+02 39 28	2,190	3,169	5	8,8
Set 8	23 11 49,8	+00 31 37	2,149	3,152	2	8,6
Set 18	23 04 18,4	-01 44 17	2,139	3,135	3	8,6
Set 28	22 57 18,0	-03 59 30	2,161	3,117	7	8,8
Oct 8	22 51 29,7	-06 05 49	2,211	3,099	10	9,0
Oct 18	22 47 26,8	-07 56 41	2,288	3,081	13	9,2
Oct 28	22 45 27,9	-09 28 21	2,385	3,062	15	9,4
Nov 7	22 45 40,1	-10 39 30	2,497	3,042	17	9,5
Nov 17	22 48 01,9	-11 30 25	2,620	3,022	18	9,6
Nov 27	22 52 23,6	-12 02 41	2,748	3,002	19	9,8

**3 JUNO 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Mar 12	17 25 27,0	-10 05 03	3,196	3,348	17	11,3
Mar 22	17 30 40,0	-09 26 06	3,049	3,344	17	11,1
Abr 1	17 34 05,9	-08 42 33	2,905	3,340	17	11,0
Abr 11	17 35 34,3	-07 55 40	2,769	3,336	16	10,9
Abr 21	17 34 56,6	-07 07 12	2,644	3,331	14	10,7
May 1	17 32 11,5	-06 19 20	2,534	3,325	12	10,6
May 11	17 27 24,1	-05 34 37	2,443	3,318	10	10,4
May 21	17 20 50,6	-04 55 59	2,375	3,311	8	10,2
May 31	17 13 00,3	-04 26 17	2,332	3,303	6	10,1
Jun 10	17 04 30,4	-04 07 55	2,317	3,294	6	10,1
Jun 20	16 56 05,3	-04 02 29	2,330	3,285	7	10,1
Jun 30	16 48 28,7	-04 10 19	2,369	3,275	9	10,3
Jul 10	16 42 15,3	-04 30 38	2,431	3,264	12	10,4
Jul 20	16 37 51,3	-05 01 49	2,514	3,253	14	10,6
Jul 30	16 35 30,1	-05 41 39	2,613	3,241	16	10,7
Ago 9	16 35 15,1	-06 27 53	2,724	3,228	17	10,8
Ago 19	16 37 04,4	-07 18 19	2,843	3,215	18	10,9
Ago 29	16 40 50,1	-08 10 53	2,967	3,201	18	11,0

**4 VESTA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	11 32 47,0	+09 49 12	1,879	2,406	23	7,4
Ene 11	11 37 37,6	+10 06 46	1,753	2,397	21	7,1
Ene 21	11 39 52,0	+10 44 04	1,639	2,387	19	6,9
Ene 31	11 39 15,3	+11 40 51	1,539	2,377	16	6,7
Feb 10	11 35 41,7	+12 54 29	1,458	2,367	12	6,4
Feb 20	11 29 24,1	+14 19 02	1,400	2,357	8	6,1
Mar 2	11 21 03,5	+15 45 05	1,367	2,348	5	5,9
Mar 12	11 11 43,3	+17 02 12	1,362	2,338	6	6,0
Mar 22	11 02 42,6	+18 00 51	1,382	2,328	10	6,2
Abr 1	10 55 17,2	+18 35 16	1,426	2,318	14	6,4

**4 VESTA (cont.) 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Abr 11	10 50 19,3	+18 44 06	1,490	2,308	18	6,6
Abr 21	10 48 17,1	+18 28 46	1,570	2,298	21	6,8
May 1	10 49 14,1	+17 52 27	1,661	2,289	23	7,0
May 11	10 52 57,4	+16 58 34	1,761	2,279	25	7,2
May 21	10 59 08,8	+15 49 59	1,865	2,270	26	7,3
May 31	11 07 26,0	+14 29 19	1,972	2,261	27	7,4

**5 ASTREA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Mar 22	18 09 15,4	-17 57 30	2,473	2,652	22	12,0
Abr 1	18 17 15,5	-17 40 57	2,358	2,671	22	12,0
Abr 11	18 23 04,8	-17 23 30	2,244	2,690	21	11,8
Abr 21	18 26 27,9	-17 06 46	2,136	2,709	20	11,7
May 1	18 27 14,0	-16 52 16	2,036	2,728	18	11,6
May 11	18 25 16,6	-16 41 15	1,948	2,746	15	11,4
May 21	18 20 38,9	-16 34 44	1,878	2,764	12	11,2
May 31	18 13 40,9	-16 33 10	1,828	2,781	9	11,0
Jun 10	18 04 57,5	-16 36 34	1,802	2,798	5	10,8
Jun 20	17 55 20,6	-16 44 40	1,803	2,815	2	10,7
Jun 30	17 45 51,6	-16 56 55	1,831	2,831	5	10,9
Jul 10	17 37 26,8	-17 12 54	1,887	2,846	8	11,1
Jul 20	17 30 53,2	-17 32 12	1,967	2,862	12	11,4
Jul 30	17 26 39,2	-17 54 17	2,067	2,876	14	11,6
Ago 9	17 24 55,9	-18 18 33	2,185	2,891	17	11,8
Ago 19	17 25 43,7	-18 44 13	2,317	2,904	18	12,0
Ago 29	17 28 52,7	-19 10 17	2,458	2,917	19	12,2
Set 8	17 34 09,7	-19 35 45	2,605	2,930	20	12,3
Set 18	17 41 20,7	-19 59 34	2,755	2,942	20	12,4

**6 HEBE 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ ( $^{\circ}$ )	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' ")				
Abr 21	19 42 55,9	-08 47 08	2,184	2,477	24	10,5
May 1	19 51 24,6	-08 09 12	2,039	2,455	24	10,3
May 11	19 58 00,0	-07 36 17	1,899	2,433	23	10,1
May 21	20 02 24,4	-07 11 46	1,765	2,410	22	9,9
May 31	20 04 22,2	-06 59 23	1,640	2,387	20	9,7
Jun 10	20 03 39,3	-07 03 02	1,527	2,365	17	9,4
Jun 20	20 00 09,3	-07 26 34	1,431	2,342	14	9,1
Jun 30	19 54 03,3	-08 12 23	1,353	2,319	10	8,8
Jul 10	19 45 50,2	-09 20 48	1,298	2,296	6	8,6
Jul 20	19 36 25,8	-10 48 59	1,267	2,273	5	8,4
Jul 30	19 27 04,5	-12 30 45	1,262	2,250	8	8,5
Ago 9	19 19 02,5	-14 18 25	1,281	2,228	12	8,7
Ago 19	19 13 27,2	-16 04 22	1,323	2,206	17	8,9
Ago 29	19 11 01,0	-17 42 42	1,382	2,184	20	9,1
Set 8	19 12 00,9	-19 09 42	1,456	2,162	23	9,3
Set 18	19 16 27,6	-20 23 07	1,540	2,141	26	9,5
Set 28	19 24 05,7	-21 21 53	1,631	2,121	27	9,6
Oct 8	19 34 35,1	-22 05 27	1,727	2,101	28	9,7
Oct 18	19 47 34,2	-22 33 24	1,825	2,082	29	9,9

**9 METIS 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 11	13 15 12,2	-01 24 52	2,133	2,392	24	11,0
Ene 21	13 23 16,3	-01 54 32	2,018	2,406	24	10,8
Ene 31	13 29 10,4	-02 09 50	1,905	2,419	23	10,7
Feb 10	13 32 35,2	-02 10 02	1,799	2,432	21	10,5
Feb 20	13 33 12,6	-01 54 52	1,703	2,446	18	10,3
Mar 2	13 30 54,8	-01 25 27	1,622	2,459	15	10,1
Mar 12	13 25 46,5	-00 44 11	1,559	2,472	11	9,9
Mar 22	13 18 12,6	+00 04 28	1,519	2,484	7	9,7
Abr 1	13 09 02,9	+00 54 09	1,504	2,496	4	9,5
Abr 11	12 59 21,5	+01 38 02	1,517	2,508	4	9,6
Abr 21	12 50 18,6	+02 09 54	1,557	2,520	8	9,8
May 1	12 42 54,3	+02 25 36	1,622	2,532	12	10,1
May 11	12 37 46,1	+02 23 45	1,708	2,543	16	10,3
May 21	12 35 12,2	+02 04 39	1,811	2,553	18	10,6
May 31	12 35 12,7	+01 30 05	1,928	2,564	20	10,8
Jun 10	12 37 36,0	+00 42 18	2,054	2,574	22	11,0
Jun 20	12 42 07,9	-00 16 35	2,187	2,583	23	11,1
Jun 30	12 48 30,9	-01 24 22	2,323	2,593	23	11,3

**10 HYGIEA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	09 02 35,1	+14 54 22	2,368	3,235	10	10,6
Ene 11	08 56 23,9	+15 07 54	2,290	3,225	6	10,3
Ene 21	08 48 45,2	+15 27 32	2,240	3,215	3	10,1
Ene 31	08 40 22,7	+15 50 23	2,220	3,204	1	9,9
Feb 10	08 32 06,3	+16 13 28	2,230	3,194	5	10,2
Feb 20	08 24 46,9	+16 34 04	2,270	3,183	8	10,4
Mar 2	08 19 06,9	+16 50 07	2,334	3,172	11	10,5
Mar 12	08 15 32,5	+17 00 30	2,421	3,162	14	10,7
Mar 22	08 14 17,0	+17 04 32	2,524	3,151	16	10,9
Abr 1	08 15 20,4	+17 01 59	2,640	3,140	17	11,0
Abr 11	08 18 33,7	+16 52 48	2,764	3,129	18	11,1
Abr 21	08 23 44,9	+16 36 54	2,892	3,118	19	11,2

**12 VICTORIA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Abr 11	19 29 45,1	-17 42 45	1,645	1,921	31	11,1
Abr 21	19 46 43,8	-16 05 45	1,529	1,904	32	11,0
May 1	20 02 01,4	-14 19 32	1,418	1,888	32	10,8
May 11	20 15 21,0	-12 26 14	1,312	1,873	31	10,6
May 21	20 26 21,4	-10 28 41	1,212	1,860	30	10,4
May 31	20 34 43,3	-08 30 13	1,119	1,849	28	10,1
Jun 10	20 40 04,5	-06 35 02	1,036	1,840	26	9,9
Jun 20	20 42 06,4	-04 48 41	0,963	1,832	23	9,6
Jun 30	20 40 44,9	-03 17 19	0,904	1,826	19	9,4
Jul 10	20 36 12,5	-02 07 48	0,860	1,822	15	9,1
Jul 20	20 29 14,4	-01 26 09	0,834	1,820	11	8,9
Jul 30	20 21 09,6	-01 15 01	0,826	1,820	10	8,8
Ago 9	20 13 30,8	-01 32 47	0,838	1,822	11	8,9
Ago 19	20 07 51,4	-02 13 06	0,869	1,826	15	9,1
Ago 29	20 05 16,2	-03 06 39	0,918	1,831	19	9,4
Set 8	20 06 13,8	-04 04 22	0,981	1,839	23	9,7
Set 18	20 10 47,6	-04 58 23	1,058	1,849	26	9,9
Set 28	20 18 37,9	-05 43 01	1,145	1,860	28	10,2
Oct 8	20 29 17,1	-06 14 52	1,242	1,873	29	10,4
Oct 18	20 42 17,5	-06 31 46	1,347	1,887	30	10,6
Oct 28	20 57 08,9	-06 32 57	1,457	1,903	31	10,8
Nov 7	21 13 26,8	-06 18 29	1,573	1,920	31	11,0
Nov 17	21 30 50,8	-05 48 52	1,692	1,939	31	11,2

**14 IRENE 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	08 57 45,8	+25 22 39	1,451	2,354	12	9,9
Ene 11	08 51 21,0	+26 46 59	1,386	2,337	8	9,6
Ene 21	08 42 29,1	+28 11 54	1,348	2,322	5	9,4
Ene 31	08 32 23,1	+29 27 23	1,336	2,306	6	9,4
Feb 10	08 22 33,8	+30 25 20	1,350	2,291	10	9,6
Feb 20	08 14 33,9	+31 01 24	1,389	2,277	14	9,8
Mar 2	08 09 33,0	+31 15 38	1,448	2,263	18	10,0
Mar 12	08 08 03,7	+31 10 43	1,524	2,250	21	10,2
Mar 22	08 10 12,0	+30 49 46	1,611	2,238	24	10,4
Abr 1	08 15 41,6	+30 15 37	1,707	2,226	25	10,6
Abr 11	08 24 05,5	+29 30 06	1,807	2,215	26	10,7
Abr 21	08 34 56,1	+28 34 13	1,911	2,205	27	10,8

**15 EUNOMIA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	08 34 33,1	+17 26 40	1,592	2,513	10	8,9
Ene 11	08 24 41,4	+17 09 49	1,567	2,533	5	8,6
Ene 21	08 13 43,9	+16 56 22	1,570	2,553	1	8,4
Ene 31	08 03 01,4	+16 44 18	1,602	2,573	5	8,7
Feb 10	07 53 47,2	+16 32 19	1,662	2,593	9	9,0
Feb 20	07 46 56,7	+16 19 38	1,747	2,613	13	9,3
Mar 2	07 42 59,0	+16 05 42	1,853	2,633	16	9,5
Mar 12	07 41 58,0	+15 50 04	1,976	2,652	18	9,7
Mar 22	07 43 44,5	+15 32 02	2,112	2,672	20	10,0
Abr 1	07 47 59,2	+15 10 52	2,256	2,691	21	10,1
Abr 11	07 54 20,0	+14 45 51	2,405	2,710	22	10,3
Abr 21	08 02 26,5	+14 16 15	2,556	2,729	22	10,5

**18 MELPOMENE 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	09 24 52,8	+08 01 27	1,496	2,329	16	10,1
Ene 11	09 18 31,2	+08 56 25	1,445	2,353	12	9,9
Ene 21	09 09 46,9	+10 10 17	1,418	2,377	7	9,7
Ene 31	08 59 43,7	+11 36 29	1,418	2,400	2	9,4
Feb 10	08 49 39,0	+13 06 34	1,447	2,423	4	9,6
Feb 20	08 40 51,6	+14 32 05	1,504	2,445	9	9,9
Mar 2	08 34 23,2	+15 46 36	1,586	2,467	13	10,2
Mar 12	08 30 46,0	+16 46 48	1,689	2,488	17	10,5
Mar 22	08 30 09,8	+17 31 31	1,810	2,509	19	10,8
Abr 1	08 32 25,5	+18 01 07	1,943	2,529	21	11,0
Abr 11	08 37 13,2	+18 16 38	2,084	2,549	22	11,2
Abr 21	08 44 11,4	+18 19 11	2,231	2,568	23	11,4
May 1	08 52 57,2	+18 09 59	2,380	2,586	23	11,5

**27 EUTERPE 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Abr 11	19 10 43,1	-22 08 33	2,480	2,749	21	12,2
Abr 21	19 17 13,8	-21 59 49	2,345	2,751	21	12,1
May 1	19 21 30,8	-21 54 52	2,216	2,752	20	11,9
May 11	19 23 18,8	-21 54 56	2,093	2,753	18	11,7
May 21	19 22 24,1	-22 00 50	1,982	2,753	16	11,6
May 31	19 18 42,5	-22 12 31	1,886	2,752	13	11,3
Jun 10	19 12 19,8	-22 29 00	1,810	2,750	10	11,1
Jun 20	19 03 40,2	-22 48 19	1,757	2,748	6	10,9
Jun 30	18 53 30,4	-23 07 51	1,730	2,745	2	10,6
Jul 10	18 42 50,7	-23 25 14	1,731	2,741	3	10,7
Jul 20	18 32 50,8	-23 38 55	1,759	2,737	7	10,9
Jul 30	18 24 32,4	-23 48 40	1,812	2,732	11	11,2
Ago 9	18 18 38,3	-23 55 06	1,888	2,726	14	11,4
Ago 19	18 15 33,3	-23 59 07	1,982	2,720	17	11,6
Ago 29	18 15 21,9	-24 01 24	2,089	2,713	19	11,7
Set 8	18 17 56,5	-24 02 08	2,207	2,706	21	11,9
Set 18	18 23 04,4	-24 01 03	2,331	2,697	22	12,0
Set 28	18 30 27,2	-23 57 31	2,457	2,688	22	12,2

**29 AMPHITRITE 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Ene 1	10 55 46,0	+11 59 29	1,875	2,512	20	10,3
Ene 11	10 55 45,4	+11 58 09	1,774	2,520	17	10,1
Ene 21	10 52 50,0	+12 10 58	1,688	2,528	14	9,9
Ene 31	10 47 07,5	+12 35 41	1,622	2,536	10	9,6
Feb 10	10 39 04,5	+13 08 15	1,580	2,544	6	9,4
Feb 20	10 29 31,0	+13 42 53	1,565	2,552	2	9,1
Mar 2	10 19 37,3	+14 13 10	1,578	2,559	4	9,3
Mar 12	10 10 34,5	+14 34 02	1,619	2,567	8	9,6
Mar 22	10 03 23,9	+14 42 17	1,686	2,575	12	9,8
Abr 1	09 58 44,6	+14 36 51	1,773	2,583	16	10,1
Abr 11	09 56 50,2	+14 18 19	1,878	2,590	18	10,3
Abr 21	09 57 38,7	+13 47 44	1,996	2,598	20	10,5
May 1	10 00 55,7	+13 06 27	2,124	2,605	22	10,7
May 11	10 06 21,3	+12 15 44	2,256	2,613	22	10,8
May 21	10 13 36,7	+11 16 31	2,392	2,620	23	11,0

**40 HARMONIA 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Jun 30	00 31 47,5	-01 22 17	1,891	2,169	28	11,4
Jul 10	00 43 03,9	-00 35 39	1,777	2,167	28	11,3
Jul 20	00 52 37,3	-00 02 39	1,666	2,165	27	11,1
Jul 30	01 00 08,5	+00 15 05	1,558	2,163	26	10,9
Ago 9	01 05 14,6	+00 15 56	1,457	2,162	24	10,7
Ago 19	01 07 32,8	-00 01 07	1,366	2,161	21	10,5
Ago 29	01 06 47,9	-00 35 40	1,288	2,160	18	10,2
Set 8	01 02 55,2	-01 25 39	1,225	2,160	13	10,0
Set 18	00 56 13,7	-02 25 59	1,184	2,160	9	9,7
Set 28	00 47 32,4	-03 28 45	1,165	2,160	4	9,5
Oct 8	00 38 02,8	-04 24 44	1,171	2,161	5	9,5
Oct 18	00 29 11,3	-05 05 02	1,202	2,161	10	9,8
Oct 28	00 22 12,9	-05 23 59	1,256	2,162	14	10,1
Nov 7	00 17 56,3	-05 19 39	1,330	2,164	18	10,3
Nov 17	00 16 45,0	-04 52 47	1,420	2,165	21	10,6
Nov 27	00 18 36,3	-04 06 08	1,523	2,167	24	10,8
Dic 7	00 23 15,4	-03 02 51	1,635	2,170	25	11,0
Dic 17	00 30 22,8	-01 45 59	1,753	2,172	26	11,2
Dic 27	00 39 35,7	-00 18 30	1,875	2,175	27	11,4

**433 EROS 2021**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")				
Mar 22	17 57 28,9	-38 34 21	1,027	1,452	43	12,9
Abr 1	18 17 04,6	-39 19 56	0,975	1,484	42	12,8
Abr 11	18 32 46,7	-39 59 29	0,921	1,514	40	12,7
Abr 21	18 43 41,5	-40 36 26	0,865	1,544	37	12,5
May 1	18 48 54,8	-41 12 00	0,812	1,572	34	12,3
May 11	18 47 27,4	-41 43 53	0,762	1,599	30	12,1
May 21	18 38 37,2	-42 03 35	0,722	1,624	24	11,9
May 31	18 22 48,7	-41 56 41	0,693	1,648	18	11,6
Jun 10	18 02 01,0	-41 08 00	0,682	1,670	13	11,4
Jun 20	17 39 59,2	-39 31 07	0,691	1,690	10	11,4
Jun 30	17 20 48,4	-37 16 49	0,721	1,708	13	11,6
Jul 10	17 07 03,1	-34 46 55	0,771	1,725	18	11,9
Jul 20	16 59 35,4	-32 22 24	0,840	1,739	23	12,3
Jul 30	16 57 58,1	-30 15 46	0,922	1,751	27	12,6
Ago 9	17 01 14,4	-28 30 43	1,015	1,762	30	13,0
Ago 19	17 08 30,0	-27 05 39	1,116	1,770	32	13,2
Ago 29	17 18 54,1	-25 56 32	1,221	1,776	33	13,5
Set 8	17 31 47,7	-24 58 35	1,330	1,781	34	13,7
Set 18	17 46 42,4	-24 07 23	1,439	1,783	34	13,9

## Cometas

En esta sección se dan los datos relativos a algunos cometas de largo periodo relevantes y los elementos orbitales de los 75 primeros cometas de corto periodo cuyo regreso ha sido observado al menos una vez.

Debido al elevado ritmo actual de descubrimiento de nuevos cometas, hemos considerado oportuno reducir la lista publicada en el ANUARIO a partir de la edición de 2017. La edición de 2016 contenía la lista de los 327 primeros cometas de corto periodo. Si se necesita disponer de elementos orbitales de los cometas periódicos numerados en la actualidad, se puede recurrir a la página del JPL/NASA: <http://ssd.jpl.nasa.gov>.

En junio de 2019 el número de cometas de corto periodo numerados ascendió a 380. Se numeran los cometas que han aparecido al menos en dos ocasiones y aquellos descubiertos recientemente cuya órbita está bien determinada. El último de estos cometas ha sido nombrado como 380P/PANSTARRS y su primera aparición tuvo lugar en el año 2018.

### Cometas periódicos que pasan por su perihelio

En primer lugar figura una lista, extraída de los 75 primeros cometas periódicos numerados, en la que figuran aquellos cuyo paso por el perihelio está previsto para este año, de acuerdo con los parámetros de que se dispone para su órbita. Hay que indicar, sin embargo, que algunos han aparecido sólo ocasionalmente.

**Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2021**

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación (°)
			Sol (ua)	Tierra (ua)	
17P/Holmes	Feb	13	2,06	2,98	18
75D/Kohoutek	Mar	3	1,78	1,85	70
28P/Neujmin 1	Mar	15	1,56	2,52	13
10P/Tempel 2	Mar	30	1,42	2,14	34
7P/Pons-Winnecke	Jun	22	1,26	0,27	151
15P/Finlay	Jun	30	0,97	1,31	48
8P/Tuttle	Set	5	1,03	1,77	30
6P/d' Arrest	Set	21	1,36	0,91	91
52P/Harrington-Abell	Oct	4	1,78	2,25	50
57P/duToit-Neujmin-Delporte	Oct	20	1,73	1,89	65
70P/Kojima	Nov	10	2,01	1,97	78
4P/Faye	Dic	5	1,65	0,93	119

ua = unidad astronómica = 149 597 870 700 m

## Cometas de largo periodo

Son aquellos cometas cuyo periodo de revolución alrededor del Sol es mayor que 400 años. La siguiente tabla contiene una lista de cometas de largo periodo que han resultado relevantes por su brillo u otras circunstancias. Por ejemplo, el de 1680 fue observado por Newton. Los últimos cometas incluidos en la lista tienen órbitas hiperbólicas, al ser la excentricidad de su órbita mayor que la unidad. En la tabla figuran los siguientes elementos: el periodo en años (**P**), las distancias mínima y máxima al Sol (**q** y **Q**, respectivamente) y la excentricidad e inclinación de la órbita (**e** y **i**, respectivamente). Obsérvese que la mayoría de estas órbitas están muy inclinadas respecto del plano del sistema solar y que su excentricidad es muy próxima a la unidad (**e** = 1 indica que la órbita es parabólica). El código indica el año de su aparición y su orden de aparición en tal año.

Cometas de largo periodo relevantes

Nombre	Código	P (años)	q (ua)	Q (ua)	e	i (°)
Gran cometa de 1861 (Tebbutt)	C/1861 J1	409	0,822	109	0,9851	85
Gran cometa de marzo de 1843	C/1843 D1	515	0,006	129	0,9999	144
Gran cometa de setiembre 1882	C/1882 R1	672	0,008	153	0,9999	142
Ikeya-Seki	C/1965 S1	877	0,008	183	0,9999	142
Bennett	C/1969 Y1	1680	0,538	282	0,9962	90
Gran cometa de 1807	C/1807 R1	1710	0,646	286	0,9955	63
Donati	C/1858 L1	1950	0,578	312	0,9963	117
Gran cometa de 1881	C/1881 K1	2390	0,735	357	0,9959	63
Hale-Bopp	C/1995 O1	2530	0,914	371	0,9951	89
Humason	C/1961 R1	2920	2,133	407	0,9896	153
Gran cometa de 1811 (Flaugergues)	C/1811 F1	3100	1,035	424	0,9951	107
Cometa meridional de 1947	C/1947 X1	3800	0,110	487	0,9995	139
Gran cometa de 1680 (Kirch)	C/1680 V1	9370	0,006	889	1,0000	61
Coggia	C/1874 H1	13700	0,676	1140	0,9988	66
Skjellerup-Maristany	C/1927 X1	> 10 <sup>4</sup>	0,176	2200	0,9998	85
Cometa del eclipse	C/1948 V1	~ 10 <sup>5</sup>	0,135	4200	0,9999	23
Hyakutake	C/1996 B2	~ 10 <sup>5</sup>	0,230	4600	0,9999	125
West	C/1975 V1	~ 10 <sup>6</sup>	0,197	14000	1,0000	43
Gran cometa de enero de 1910	C/1910 A1	> 10 <sup>6</sup>	0,129	52000	1,0000	139
Gran cometa meridional de 1887	C/1887 B1		0,005		1,0	144
Gran cometa meridional de 1865	C/1865 B1		0,026		1,0	92
Gran cometa de 1577 (Tycho)	C/1577 V1		0,177		1,0	105
Cometa de 1744 (De Chéseaux)	C/1743 X1		0,222		1,0	47
Gran cometa de 1901	C/1901 G1		0,245		1,0	131
Gran cometa de 1402	C/1402 D1		0,380		1,0	55
Gran cometa de 1472	C/1471 Y1		0,486		1,0	171
Sarabat	C/1729 P1		4,051		1,0	77
Seki-Lines	C/1962 C1		0,031		> 1	65
Kohoutek	C/1973 E1		0,142		> 1	14
McNaught	C/2006 P1		0,171		> 1	78
Arend-Roland	C/1956 R1		0,316		> 1	120
Morehouse	C/1908 R1		0,945		> 1	140

## Cometas de corto periodo

En la tabla que ocupa las páginas siguientes figuran los elementos orbitales de los 75 primeros cometas de corto periodo ( $P < 200$  años) que han aparecido al menos en dos ocasiones. Están ordenados según el sistema de designación de cometas adoptado por la Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU) en 1994. El periodo,  $P$ , viene dado en la segunda columna. El año de su primera aparición conocida viene dado en la última columna.

**75 primeros cometas de corto periodo**

Nombre	P (años)	T	q (ua)	e	$\omega$ (°)	$\Omega$ (°)	i (°)	Prim. apar.
1P/Halley	75,3	1986,10	0,586	0,967	111,3	58,4	162,3	-239
2P/Encke	3,30	2010,60	0,336	0,848	186,5	334,6	11,8	1786
3D/Biela	6,65	1832,91	0,879	0,751	221,7	250,7	13,2	1772
4P/Faye	7,54	2006,88	1,667	0,567	205,0	199,3	9,0	1843
5D/Brorsen	5,46	1879,25	0,590	0,810	14,9	103,0	29,4	1846
6P/d'Arrest	6,53	2008,62	1,354	0,613	178,1	138,9	19,5	1678
7P/Pons-Winnecke	6,36	2008,74	1,253	0,635	172,3	93,4	22,3	1819
8P/Tuttle	13,6	2008,07	1,027	0,820	207,5	270,3	55,0	1790
9P/Tempel 1	5,52	2011,03	1,509	0,517	178,9	68,9	10,5	1867
10P/Tempel 2	5,38	2005,13	1,427	0,535	195,6	117,8	12,0	1873
11P/Tempel-Swift-LINEAR	6,37	2002,00	1,584	0,539	163,6	240,7	13,5	1869
12P/Pons-Brooks	70,8	1954,39	0,774	0,955	199,0	255,9	74,2	1812
13P/Olbers	69,5	1956,47	1,178	0,930	64,6	86,1	44,6	1815
14P/Wolf	8,74	2009,16	2,725	0,358	159,0	202,1	27,9	1884
15P/Finlay	6,50	2008,48	0,970	0,721	347,5	13,8	6,8	1886
16P/Brooks 2	6,14	2008,28	1,467	0,563	219,5	159,4	4,3	1889
17P/Holmes	6,88	2007,34	2,053	0,432	24,3	326,9	19,1	1892
18D/Perrine-Mrkos	6,72	1968,84	1,272	0,643	166,1	240,9	17,8	1896
19P/Borrelly	6,85	2008,56	1,354	0,625	353,4	75,4	30,3	1904
20D/Westphal	61,9	1913,91	1,254	0,920	57,1	348,0	40,9	1852
21P/Giacobini-Zinner	6,62	2005,51	1,038	0,706	172,5	195,4	31,8	1900
22P/Kopff	6,43	2009,40	1,577	0,544	162,7	120,9	4,7	1906
23P/Brorsen-Metcalf	70,5	1989,70	0,479	0,972	129,6	311,6	19,3	1847
24P/Schaumasse	8,25	2001,34	1,205	0,705	57,9	79,8	11,8	1911
25D/Neujmin 2	5,43	1927,05	1,338	0,567	193,7	328,7	10,6	1916
26P/Grigg-Skjellerup	5,31	2008,23	1,117	0,633	1,7	211,7	22,4	1808
27P/Crommelin	27,9	2011,59	0,748	0,919	196,0	250,6	29,0	1818
28P/Neujmin 1	18,2	2002,99	1,552	0,775	346,9	347,0	14,2	1913
29P/Schwassmann-Wachmann 1	14,6	2004,50	5,722	0,044	48,2	312,7	9,4	1902
30P/Reinmuth 1	7,34	2010,30	1,883	0,501	13,2	119,7	8,1	1928
31P/Schwassmann-Wachmann 2	8,74	2010,75	3,424	0,193	17,9	114,2	4,5	1929
32P/Comas Sola	8,80	2005,25	1,834	0,570	45,9	60,8	12,9	1926
33P/Daniel	8,10	2008,55	2,170	0,462	19,0	66,6	22,4	1909

## 75 primeros cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (ua)	e	$\omega$ ( $^{\circ}$ )	$\Omega$ ( $^{\circ}$ )	i ( $^{\circ}$ )	Prim. apar.
34D/Gale	11,0	1938,47	1,183	0,761	209,2	67,9	11,7	1927
35P/Herschel-Rigollet	~ 155	1939,61	0,748	0,974	29,3	356,0	64,2	1788
36P/Whipple	8,51	2003,51	3,088	0,259	202,2	182,4	9,9	1925
37P/Forbes	6,36	2011,95	1,575	0,541	329,4	315,0	9,0	1929
38P/Stephan-Oterma	37,7	1980,93	1,574	0,860	358,2	79,2	18,0	1867
39P/Oterma	19,5	2002,97	5,471	0,246	56,3	331,6	1,9	1943
40P/Vaisala 1	10,8	2004,06	1,796	0,633	47,2	134,7	11,5	1939
41P/Tuttle-Giacobini-Kresak	5,42	2006,45	1,048	0,660	62,2	141,1	9,2	1858
42P/Neujmin 3	10,7	2004,54	2,015	0,585	147,2	150,4	4,0	1929
43P/Wolf-Harrington	6,13	2010,50	1,358	0,595	191,5	249,9	16,0	1924
44P/Reinmuth 2	7,08	2008,14	2,107	0,428	58,1	286,6	5,9	1947
45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	5,25	2011,74	0,530	0,825	326,2	89,0	4,3	1948
46P/Wirtanen	5,44	2008,09	1,057	0,658	356,3	82,2	11,7	1948
47P/Ashbrook-Jackson	8,34	2009,09	2,799	0,319	357,7	357,0	13,1	1948
48P/Johnson	6,94	2011,75	2,301	0,368	207,9	117,3	13,7	1949
49P/Arend-Rigaux	6,72	2011,80	1,421	0,601	332,9	118,9	19,1	1951
50P/Arend	8,27	2007,84	1,924	0,529	49,0	355,3	19,2	1951
51P/Harrington	7,13	2008,47	1,688	0,544	269,2	83,8	5,4	1953
52P/Harrington-Abell	7,54	2006,62	1,757	0,543	139,1	337,2	10,2	1955
53P/Van Biesbroeck	12,5	2003,77	2,415	0,552	134,1	149,0	6,6	1954
54P/de Vico-Swift-NEAT	7,38	2009,91	2,172	0,427	1,9	358,9	6,1	1844
55P/Tempel-Tuttle	33,2	1998,16	0,976	0,906	172,5	235,3	162,5	1366
56P/Slaughter-Burnham	11,5	2005,04	2,535	0,504	44,1	346,3	8,2	1959
57P/duToit-Neujmin-Delporte	6,40	2008,99	1,725	0,500	115,3	188,8	2,8	1941
58P/Jackson-Neujmin	8,24	1995,77	1,381	0,662	200,4	160,7	13,5	1936
59P/Kearns-Kwee	9,51	2009,18	2,355	0,475	127,5	313,0	9,3	1963
60P/Tsuchinshan 2	6,78	2005,98	1,766	0,507	203,4	288,1	6,7	1965
61P/Shajn-Schaldach	7,06	2008,69	2,108	0,427	221,7	163,1	6,0	1949
62P/Tsuchinshan 1	6,63	2004,94	1,489	0,578	22,9	96,7	10,5	1965
63P/Wild 1	13,3	1999,99	1,961	0,650	168,0	358,5	19,9	1960
64P/Swift-Gehrels	9,35	2009,45	1,377	0,690	96,3	300,7	8,9	1889
65P/Gunn	6,83	2010,17	2,444	0,321	197,2	68,2	10,4	1954
66P/du Toit	14,7	2003,66	1,274	0,788	257,2	22,2	18,7	1944
67P/Churyumov-Gerasimenko	6,45	2009,16	1,246	0,640	12,7	50,2	7,0	1969
68P/Klemola	10,8	2009,06	1,759	0,641	154,0	175,3	11,1	1965
69P/Taylor	6,96	2004,92	1,942	0,467	355,5	108,8	20,6	1915
70P/Kojima	7,06	2007,76	2,012	0,453	2,1	119,3	6,6	1970
71P/Clark	5,53	2011,96	1,567	0,499	208,8	59,6	9,5	1973
72P/Denning-Fujikawa	9,01	1978,75	0,780	0,820	334,3	41,5	8,6	1881
73P/Schwassmann-Wachmann 3	5,34	1995,73	0,933	0,695	198,8	69,9	11,4	1930
74P/Smirnova-Chernykh	8,51	2009,57	3,556	0,147	86,9	77,1	6,6	1967
75P/Kohoutek	6,67	1994,50	1,785	0,496	175,8	269,7	5,9	1975

Los elementos de la órbita, referidos a la época J2000, son:

- T** = instante del último paso por el perihelio,
- q** = mínima distancia al Sol (distancia perihélica),
- e** = excentricidad de la órbita ( $e > 1$  para órbitas hiperbólicas),
- $\omega$**  = argumento del perihelio,
- $\Omega$**  = 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:

$$Q = q \frac{1+e}{1-e} \quad (\text{en ua}).$$

El semieje mayor de la órbita y su periodo vienen dados por:

$$a = \frac{q}{1-e} \quad (\text{en ua}), \quad P = a^{3/2} \quad (\text{en años}).$$

Para facilitar la búsqueda de los parámetros de un determinado cometa conocido su nombre, a continuación se encuentra la lista ordenada alfabéticamente de los cometas de la tabla anterior, con indicación de su número de orden y su periodo.

**75 primeros cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente**  
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
8,27	50P/Arend	3,30	2P/Encke
6,73	49P/Arend-Rigaux	7,52	4P/Faye
8,38	47P/Ashbrook-Jackson	6,51	15P/Finlay
6,65	3D/Biela	6,42	37P/Forbes
6,86	19P/Borrelly	10,99	34D/Gale
6,15	16P/Brooks 2	6,55	21P/Giacobini-Zinner
5,46	5D/Brorsen	5,31	26P/Grigg-Skjellerup
70,52	23P/Brorsen-Metcalf	7,65	65P/Gunn
6,45	67P/Churyumov-Gerasimenko	75,31	1P/Halley
5,56	71P/Clark	7,16	51P/Harrington
9,58	32P/Comas Sola	7,57	52P/Harrington-Abell
28,07	27P/Crommelin	154,91	35P/Herschel-Rigollet
8,09	33P/Daniel	6,89	17P/Holmes
6,56	6P/d' Arrest	5,26	45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova
9,03	72P/Denning-Fujikawa	8,25	58P/Jackson-Neujmin
7,38	54P/de Vico-Swift-NEAT	6,95	48P/Johnson
14,78	66P/du Toit	9,52	59P/Kearns-Kwee
6,42	57P/duToit-Neujmin-Delporte	10,84	68P/Klemola

**75 primeros cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente**  
con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
6,67	75D/Kohoutek	37,93	38P/Stephan-Oterma
7,05	70P/Kojima	9,41	64P/Swift-Gehrels
6,43	22P/Kopff	7,67	69P/Taylor
18,21	28P/Neujmin 1	5,58	9P/Tempel 1
5,43	25D/Neujmin 2	5,37	10P/Tempel 2
10,77	42P/Neujmin 3	6,30	11P/Tempel-Swift-LINEAR
69,52	13P/Olbers	33,24	55P/Tempel-Tuttle
19,38	39P/Oterma	6,39	62P/Tsuchinshan 1
6,72	18D/Perrine-Mrkos	6,57	60P/Tsuchinshan 2
70,06	12P/Pons-Brooks	13,61	8P/Tuttle
6,37	7P/Pons-Winnecke	5,42	41P/Tuttle-Giacobini-Kresak
7,33	30P/Reinmuth 1	10,98	40P/Vaisala 1
7,10	44P/Reinmuth 2	12,56	53P/Van Biesbroeck
8,26	24P/Schaumasse	61,86	20D/Westphal
14,67	29P/Schwassmann-Wachmann 1	8,51	36P/Whipple
8,74	31P/Schwassmann-Wachmann 2	13,21	63P/Wild 1
5,44	73P/Schwassmann-Wachmann 3	5,44	46P/Wirtanen
7,06	61P/Shajn-Schaldach	8,75	14P/Wolf
11,47	56P/Slaughter-Burnham	6,13	43P/Wolf-Harrington
8,50	74P/Smirnova-Chernykh		

## Meteoros y lluvias de meteoros

Se llama **meteorito** al fenómeno resultante de la penetración de una partícula de materia (*meteoroides*) en la atmósfera a gran velocidad (mayor que  $11 \text{ km s}^{-1}$ ). 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 meteorito 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 ( $> 1 \text{ kg}$ ) 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 caída de meteoros (expresado en meteoros por hora) que se observaría a simple vista en un lugar en el que el radiante se encontrara en el cénit y las condiciones de visibilidad fuesen óptimas. En la tabla, cuando el ritmo máximo es variable de un año a otro, se indican tanto el valor habitual como los valores extremos.

Las lluvias de meteoros diurnas (como las Ariétidas y las  $\zeta$  Perseidas, de junio) sólo son observables con radar y no han sido incluidas en la tabla. La observación con radar se basa en que la onda radio emitida es reflejada por los gases que ioniza el meteoro en la atmósfera superior.

#### Principales lluvias de meteoros

nombre	máximo	visibilidad	radiante		velocidad (km s <sup>-1</sup> )	ritmo cenital (h <sup>-1</sup> )
			$\alpha$	$\delta$		
Cuadrántidas	3 Ene	28 Dic - 12 Ene	230°	49°	41	120 [60-200]
Líridas	22 Abr	16 Abr - 25 Abr	271°	34°	49	18 [14-90]
$\eta$ Acuáridas	6 May	19 Abr - 28 May	338°	-1°	66	50 [40-85]
$\delta$ Acuáridas	30 Jul	12 Jul - 23 Ago	340°	-16°	41	25 [16-40]
Perseidas	12 Ago	17 Jul - 24 Ago	48°	58°	59	100 [80-200]
Dracónidas	8 Oct	6 Oct - 10 Oct	262°	54°	20	>20 [20-500+]
Oriónidas	21 Oct	2 Oct - 7 Nov	95°	16°	66	20 [14-70]
Leónidas	17 Nov	6 Nov - 30 Nov	152°	22°	71	15 [10-20+]
Gemínidas	14 Dic	4 Dic - 17 Dic	112°	33°	35	120 [110-140]
Úrsidas	22 Dic	17 Dic - 26 Dic	217°	76°	33	10 [10-50]

# EFEMÉRIDES ESTELARES

## Estrella Polar

Se denomina Estrella Polar a la más brillante de la constelación de la Osa Menor ( $\alpha$  UMi). Se trata de una estrella de magnitud  $V=2,0$  que se encuentra a menos de  $1^\circ$  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. En esta sección se describe la determinación de la latitud y de la dirección de la meridiana por observaciones de la estrella Polar.

$\alpha$ UMi	
$\alpha_{2000}$	$2^{\text{h}}31^{\text{m}}48^{\text{s}}.704$
$\delta_{2000}$	$89^\circ 15' 50''.72$
$\mu_\alpha \cos \delta$	$0,03829''$ por año
$\mu_\delta$	$-0,0152''$ por año
$\pi$	$0,003''$
$V$	$2,02$
$B - V$	$0,60$
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<sup>h</sup> TU (*TIEMPOS*)  
 + 1,0027379 \* Tiempo Universal  
 + longitud  $\lambda$  del lugar (positiva al Este)

ángulo horario de la Polar:

$$H = \text{tiempo sidéreo local} - \text{asc. recta de la Polar } (\alpha, \text{ ver tabla})$$

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  $\alpha$  dada en la tabla de la Polar, mediante:

$$TU = 0,99727 (\alpha - TSG0 + 24^h)$$

donde TSG0 es el tiempo sidéreo en Greenwich a 0<sup>h</sup> de TU (v. tabla en *TIEMPOS*) y el tiempo  $TU$  resultante debe darse entre 0<sup>h</sup> y 24<sup>h</sup>.

## 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  $\phi$  vienen dados por:

$$\begin{aligned} \text{altura: } h &= \phi + p \cos H - 0,00873 (p \operatorname{sen} H)^2 \tan \phi \\ \text{acimut: } a &= -p \operatorname{sen} H / \cos h \end{aligned}$$

donde todos los ángulos ( $\phi, p, H, h, a$ ) 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  $\phi$  de un lugar, suponiendo que se conoce la longitud  $\lambda$  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:

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

donde todos los ángulos ( $\phi, p, H, h$ ) 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:

$$a = -p \operatorname{sen} H / \operatorname{cosh}$$

midiéndose el acimut  $a$  desde el Norte y positivo hacia el Este. Si se desea referir el acimut al Sur, súmese  $180^\circ$  al valor antes obtenido.

## Coordenadas Hipparcos y otros parámetros

Datos extraídos de la base de datos estelares SIMBAD y otras referencias.

$\alpha$ UMi	
$\alpha_{2000}$	$2^{\text{h}}31^{\text{m}}49^{\text{s}}.09456$ ICRS
$\delta_{2000}$	$89^\circ 15' 50''.7923$ ICRS
$\mu_\alpha \cos \delta$	$0,04448''$ por año
$\mu_\delta$	$-0,01185''$ por año
Velocidad radial	$-17,4 \text{ km s}^{-1}$
$\pi$	$0,00754''$
Distancia	$133 \text{ pc}$
$V$	$2,005$
$B - V$	$0,586$
$M_V$	$-3,6$
Tipo espectral (HIC)	F7 Ib-IIv C
Variabilidad	Cefeida clásica ( $\delta$ Cephei)
Periodo	$3,97$ días
Variación en magnitud	$< 0,05$
Masa	$\sim 4,5 M_\odot$
Nombres alternativos	$\alpha$ UMi, SAO 308 PPM 431, FK5 907 HIP 11767, Tyc 4628-237-1 HD 8890, IRAS 01490+8901
Sistema estelar	Polar Aa, Polar Ab, Polar B

**Posición aparente de la Polar en 2021  
en su culminación superior en Greenwich**

día	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	$\alpha$	$p$										
	2 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	38'	2 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	38'	2 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	38'						
1	67:30	39:3	72:72	34:5	79:59	35:6	36:70	42:0	24:39	50:7	43:44	59:1
2	65:66	39:0	70:65	34:5	77:79	35:8	36:11	42:3	24:58	51:0	44:28	59:3
3	63:93	38:8	68:72	34:5	76:18	36:0	35:48	42:5	24:66	51:2	45:16	59:6
4	62:16	38:5	66:94	34:5	74:71	36:1	34:76	42:8	24:65	51:5	46:13	59:8
5	60:43	38:3	65:26	34:5	73:34	36:3	33:94	43:0	24:61	51:8	47:21	60:1
6	58:79	38:2	63:64	34:5	71:98	36:4	33:01	43:2	24:58	52:0	48:42	60:4
7	57:27	38:0	62:00	34:5	70:56	36:6	32:01	43:5	24:63	52:4	49:75	60:7
8	55:88	37:8	60:26	34:4	69:04	36:7	31:00	43:7	24:77	52:7	51:19	60:9
9	54:58	37:7	58:40	34:4	67:39	36:8	30:01	44:0	25:05	53:0	52:70	61:1
10	53:28	37:5	56:39	34:3	65:65	36:9	29:11	44:3	25:45	53:4	54:26	61:3
11	51:92	37:2	54:26	34:3	63:83	37:1	28:32	44:7	25:99	53:7	55:83	61:5
12	50:43	37:0	52:06	34:3	62:01	37:3	27:66	45:0	26:63	54:0	57:35	61:7
13	48:76	36:8	49:84	34:3	60:22	37:5	27:13	45:3	27:35	54:3	58:82	61:9
14	46:93	36:5	47:66	34:4	58:51	37:7	26:73	45:7	28:10	54:6	60:20	62:0
15	44:97	36:4	45:56	34:4	56:91	37:9	26:43	46:0	28:86	54:9	61:50	62:2
16	42:95	36:2	43:56	34:5	55:44	38:2	26:20	46:3	29:58	55:1	62:74	62:3
17	40:92	36:0	41:66	34:6	54:09	38:4	26:00	46:6	30:24	55:4	63:96	62:5
18	38:92	35:9	39:87	34:7	52:85	38:7	25:78	46:9	30:83	55:6	65:23	62:7
19	36:98	35:8	38:16	34:8	51:70	38:9	25:52	47:1	31:34	55:9	66:60	62:9
20	35:13	35:7	36:51	34:9	50:59	39:1	25:20	47:4	31:82	56:1	68:12	63:1
21	33:37	35:6	34:87	35:0	49:49	39:3	24:80	47:7	32:30	56:4	69:84	63:3
22	31:68	35:6	33:20	35:0	48:35	39:5	24:33	47:9	32:86	56:7	71:72	63:5
23	30:04	35:5	31:47	35:1	47:16	39:7	23:85	48:2	33:56	57:0	73:71	63:6
24	28:42	35:4	29:65	35:1	45:88	39:9	23:40	48:5	34:47	57:3	75:71	63:8
25	26:78	35:3	27:71	35:2	44:51	40:1	23:07	48:8	35:58	57:6	77:62	63:9
26	25:07	35:1	25:68	35:3	43:09	40:3	22:94	49:2	36:85	57:9	79:39	63:9
27	23:26	35:0	23:60	35:3	41:66	40:6	23:02	49:5	38:18	58:1	81:00	64:0
28	21:32	34:9	21:54	35:5	40:31	40:9	23:30	49:9	39:47	58:3	82:50	64:1
29	19:26	34:8			39:12	41:2	23:68	50:2	40:65	58:5	83:95	64:2
30	17:09	34:7			38:14	41:5	24:07	50:5	41:68	58:7	85:41	64:3
31	14:89	34:6			37:35	41:8			42:60	58:9		

Distancia polar:  $p = 90^\circ - \delta$ , siendo  $\delta$  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  $\alpha$  para una fecha dada, sin interpolar a la hora de observación introduce un error esperado en la latitud  $\phi$  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 2021  
en su culminación superior en Greenwich**

día	Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	$\alpha$	$p$										
	2 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup> 39'		2 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup> 39'		2 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 38'		3 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 38'		3 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 38'		3 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 38'	
1	26:93 4'5		27:12 5'7		30:23 62''0		21:32 54'3		52:74 43''5		55:12 32''2	
2	28:56 4'6		29:35 5'7		32:29 61''7		22:64 53'9		53:06 43''2		54:90 31''9	
3	30:29 4'8		31:62 5'6		34:25 61''5		23:83 53'6		53:44 42''8		54:77 31''5	
4	32:15 4'9		33:89 5'5		36:10 61''2		24:93 53'2		53:95 42''5		54:65 31''1	
5	34:10 5'0		36:14 5'5		37:83 61''0		25:99 52'9		54:60 42''2		54:42 30''8	
6	36:13 5'2		38:31 5'4		39:45 60''8		27:09 52'6		56:18 41''4		53:99 30''4	
7	38:21 5'3		40:39 5'3		41:01 60''5		28:30 52'3		56:93 41''0		53:34 30''0	
8	40:29 5'3		42:36 5'2		42:59 60''3		29:64 52'1		57:53 40''6		52:49 29''6	
9	42:34 5'4		44:22 5'0		44:24 60''1		31:13 51'8		57:92 40''2		51:52 29''2	
10	44:32 5'4		46:01 4'9		46:01 59''9		32:69 51'5		58:12 39''8		50:48 28''9	
11	46:21 5'4		47:78 4'8		47:94 59''8		34:26 51'1		58:15 39''3		49:45 28''6	
12	48:00 5'5		49:60 4'8		49:98 59''5		35:72 50'8		58:09 39''0		48:46 28''3	
13	49:70 5'5		51:51 4'7		52:07 59''3		37:04 50'4		57:99 38''6		47:54 28''0	
14	51:37 5'5		53:57 4'6		54:15 59''0		38:17 50'0		57:91 38''2		46:70 27''7	
15	53:05 5'6		55:77 4'6		56:12 58''8		39:12 49'6		57:87 37''9		45:92 27''4	
16	54:79 5'7		58:09 4'5		57:95 58''5		39:95 49'2		57:91 37''6		45:19 27''2	
17	56:67 5'7		60:45 4'3		59:61 58''2		40:71 48'8		58:02 37'3		44:45 26''9	
18	58:71 5'8		62:78 4'2		61:11 57''8		41:44 48'5		58:19 36''9		43:68 26''5	
19	60:90 5'9		65:01 4'0		62:51 57''6		42:22 48'2		58:39 36''6		42:84 26''2	
20	63:21 5'9		67:08 3'8		63:87 57''3		43:06 47'9		58:57 36''2		41:90 25''9	
21	65:55 5'9		69:00 3'6		65:23 57''0		43:98 47'6		58:71 35''8		40:82 25''6	
22	67:85 5'9		70:78 3'5		66:66 56''8		44:98 47'3		58:76 35''4		39:62 25''3	
23	70:02 5'8		72:48 3'3		68:17 56''6		46:03 46'9		58:69 35''0		38:28 24''9	
24	72:03 5'8		74:18 3'1		69:77 56''3		47:10 46'6		58:49 34''6		36:86 24''6	
25	73:89 5'7		75:92 3'0		71:45 56''1		48:15 46'2		58:15 34''2		35:38 24''3	
26	75:66 5'7		77:75 2'9		73:19 55''8		49:15 45'9		57:69 33''8		33:89 24''1	
27	77:39 5'6		79:68 2'8		74:93 55''5		50:05 45'5		57:14 33''5		32:47 23''9	
28	79:15 5'6		81:70 2'6		76:65 55''3		50:84 45'1		56:54 33''1		31:16 23''6	
29	80:99 5'6		83:80 2'5		78:31 54''9		51:49 44'7		55:97 32''8		29:99 23''4	
30	82:93 5'7		85:94 2'3		79:88 54''6		52:01 44'3		55:47 32''5		28:93 23''2	
31	84:98 5'7		88:10 2'2				52:41 43'9				27:95 23''0	

El día 5 de noviembre la Polar culmina dos veces en Greenwich, siendo las coordenadas en su segundo paso:  $\alpha = 3^{\text{h}}00^{\text{m}}55^{\text{s}}:38$  y  $p = 38^{\circ}41'8''$ .

Distancia polar:

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

Declinación de la Polar:

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

**Mínimos de  $\beta$  Persei ( Algol ) en 2021**

fecha y hora							
Ene 1	00 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	Abr 2	18 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Jul 3	12 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Oct 3	06 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>
Ene 3	20 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	Abr 5	15 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Jul 6	09 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>	Oct 6	03 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>
Ene 6	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	Abr 8	12 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	Jul 9	06 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	Oct 9	00 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>
Ene 9	14 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	Abr 11	08 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	Jul 12	02 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	Oct 11	20 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>
Ene 12	11 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	Abr 14	05 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	Jul 14	23 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	Oct 14	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>
Ene 15	08 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	Abr 17	02 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	Jul 17	20 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	Oct 17	14 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>
Ene 18	04 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	Abr 19	23 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Jul 20	17 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Oct 20	11 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>
Ene 21	01 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup>	Abr 22	20 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	Jul 23	14 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Oct 23	08 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup>
Ene 23	22 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Abr 25	16 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	Jul 26	10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	Oct 26	04 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
Ene 26	19 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	Abr 28	13 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	Jul 29	07 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Oct 29	01 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>
Ene 29	16 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	May 1	10 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	Ago 1	04 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	Oct 31	22 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>
Feb 1	13 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	May 4	07 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	Ago 4	01 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	Nov 3	19 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>
Feb 4	09 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	May 7	04 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	Ago 6	22 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	Nov 6	16 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>
Feb 7	06 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	May 10	01 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	Ago 9	19 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	Nov 9	13 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>
Feb 10	03 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	May 12	21 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	Ago 12	15 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	Nov 12	09 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>
Feb 13	00 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	May 15	18 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	Ago 15	12 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	Nov 15	06 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>
Feb 15	21 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	May 18	15 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	Ago 18	09 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	Nov 18	03 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>
Feb 18	18 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	May 21	12 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Ago 21	06 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Nov 21	00 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>
Feb 21	14 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	May 24	09 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	Ago 24	03 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	Nov 23	21 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>
Feb 24	11 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	May 27	05 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	Ago 26	23 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	Nov 26	17 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>
Feb 27	08 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	May 30	02 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Ago 29	20 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	Nov 29	14 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>
Mar 2	05 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	Jun 1	23 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	Set 1	17 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	Dic 2	11 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>
Mar 5	02 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>	Jun 4	20 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Set 4	14 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	Dic 5	08 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>
Mar 7	22 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	Jun 7	17 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Set 7	11 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>	Dic 8	05 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>
Mar 10	19 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Jun 10	14 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	Set 10	07 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	Dic 11	02 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>
Mar 13	16 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	Jun 13	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Set 13	04 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	Dic 13	22 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>
Mar 16	13 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	Jun 16	07 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	Set 16	01 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	Dic 16	19 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>
Mar 19	10 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	Jun 19	04 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	Set 18	22 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	Dic 19	16 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>
Mar 22	07 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	Jun 22	01 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	Set 21	19 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	Dic 22	13 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>
Mar 25	03 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	Jun 24	22 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	Set 24	16 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	Dic 25	10 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>
Mar 28	00 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Jun 27	18 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	Set 27	12 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup>	Dic 28	06 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>
Mar 30	21 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	Jun 30	15 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	Set 30	09 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Dic 31	03 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>

**Mínimos de  $\beta$  Lyrae ( Sheliak ) en 2021**

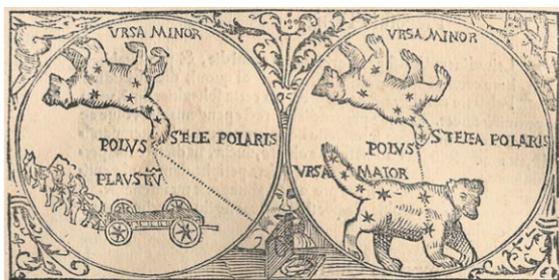
fecha y hora							
Ene 12	12 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup>	Abr 13	02 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	Jul 12	16 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	Oct 11	06 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
Ene 25	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	Abr 26	01 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	Jul 25	15 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Oct 24	05 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>
Feb 7	09 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	May 8	23 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Ago 7	13 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	Nov 6	04 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
Feb 20	07 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	May 21	22 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	Ago 20	12 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	Nov 19	02 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>
Mar 5	06 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	Jun 3	20 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	Set 2	11 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	Dic 2	01 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>
Mar 18	05 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Jun 16	19 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	Set 15	09 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Dic 15	00 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>
Mar 31	03 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Jun 29	18 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	Set 28	08 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	Dic 27	22 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>

## Estrellas variables de largo periodo tipo Mira

nombre	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$		magnitud		periodo (días)	fecha del máximo
	( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	máx.	mín.				
RT Cyg	19 44	+48 47	6,4	12,7	190	Ene 12		
T Hya	08 56	-09 08	6,7	13,2	289	Feb 03		
R Vul	21 04	+23 49	7,0	14,3	136	Feb 08		
V Cas	23 12	+59 42	6,9	13,4	228	Feb 08		
SS Vir	12 25	+00 48	6,0	9,6	354	Feb 14		
U Cet	02 34	-13 09	6,8	13,4	234	Feb 26		
R Vir	12 38	+06 59	6,0	12,1	145	Feb 27		
W Cet	00 02	-14 41	7,1	14,8	351	Feb 27		
$\chi$ Cyg	19 51	+32 55	3,3	14,2	406	Mar 00		
S Peg	23 21	+08 55	7,1	13,8	319	Mar 04		
V Mon	06 23	-02 12	6,0	13,7	333	Mar 05		
R Gem	07 07	+22 42	6,0	14,0	369	Mar 09		
R Boo	14 37	+26 44	6,2	12,1	223	Mar 16		
T Her	18 09	+31 01	6,8	13,9	165	Mar 23		
R Tri	02 37	+34 16	5,4	12,6	266	Abr 13		
R Crv	12 20	-19 15	6,7	14,4	317	Abr 14		
R Dra	16 33	+66 45	6,7	13,0	245	May 01		
S UMa	12 44	+61 06	7,0	12,4	226	May 10		
U Ori	05 56	+20 10	4,8	12,6	372	May 12		
R Ser	15 51	+15 08	5,2	14,4	356	May 17		
V Oph	16 27	-12 26	7,3	11,6	297	May 19		
R LMi	09 46	+34 31	6,3	13,2	371	May 21		
S Vir	13 33	-07 12	6,3	13,2	377	Jun 04		
W And	02 18	+44 18	6,7	14,6	395	Jun 09		
R Peg	23 07	+10 33	6,9	13,8	378	Jun 17		
R Cnc	08 17	+11 44	6,1	11,8	361	Jul 10		
S CrB	15 21	+31 22	5,8	14,1	360	Ago 01		
R UMa	10 45	+68 47	6,7	13,4	301	Ago 03		
R Aqr	23 44	-15 17	5,8	12,4	386	Ago 12		
T Cep	21 10	+68 29	5,2	11,3	388	Ago 14		
S Her	16 52	+14 56	6,4	13,8	307	Ago 17		
R Leo	09 48	+11 26	4,4	11,3	312	Ago 25		
T UMa	12 36	+59 29	6,6	13,4	256	Set 01		
$\sigma$ Cet	02 19	-02 59	2,0	10,0	331	Set 01		
U Cyg	20 20	+47 54	5,9	12,1	462	Set 06		
R Aql	19 06	+08 14	5,5	12,0	284	Set 08		
R Sgr	19 17	-19 18	6,7	12,8	268	Set 10		
V CrB	15 50	+39 34	6,9	12,6	357	Set 15		
X Oph	18 38	+08 50	5,9	9,2	334	Nov 05		
S CMi	07 33	+08 19	6,6	13,2	332	Nov 18		
R And	00 24	+38 35	5,8	14,9	409	Dic 03		
R Hya	13 30	-23 17	3,0	11,0	389	Dic 08		
U Her	16 26	+18 54	6,5	13,4	406	Dic 09		
R Aur	05 17	+53 35	6,7	13,9	457	Dic 20		
R Cas	23 58	+51 24	4,7	13,5	430	Dic 25		
R Cyg	19 37	+50 12	6,1	14,2	426	Dic 29		



# CATALOGOS





# 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 ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ ), su área expresada en grados cuadrados, el número aproximado de estrellas más brillantes que la magnitud 6<sup>a</sup> (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 Flamsteed), 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:  $\beta$  Centauri figura como *Hadar* y *Agna*.

## Estrellas más cercanas

La estrella más cercana al Sol es Próxima Centauri, que se encuentra a 1,30 parsecs (4,2 años luz) de distancia. En la tabla figuran las estrellas conocidas más cercanas de 5 pc (unos 16 años luz). Cuando se trata de una estrella doble o múltiple sólo se ha hecho constar la estrella más brillante.

Entre las estrellas más cercanas se encuentran algunas de las más brillantes, como Sirio ( $\alpha$  CMa), Rígil Kentaurus ( $\alpha$  Cen), Prócion ( $\alpha$  CMi) y Altair ( $\alpha$  Aql), que se encuentra a 5,1 pc. También pueden encontrarse en esta tabla algunas de las estrellas con mayor movimiento propio; entre ellas las conocidas como la estrella de Barnard y la estrella de Kapteyn.

## Estrellas con mayor movimiento propio

Algunas estrellas cercanas presentan un movimiento apreciable respecto del sistema de referencia que definen aquellas tan alejadas que podemos suponer “fijas” en largos intervalos de tiempo. En la tabla figuran todas las estrellas conocidas cuyo movimiento propio anual supera los  $3''$  y cuya magnitud es  $V < 10$ . Como excepción, se ha incluido Próxima 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  $V$ , indicándose con un asterisco aquellas estrellas que son variables. En el caso de tratarse de una estrella doble, la letra A tras su nombre indica que se refiere a la componente más brillante, mientras que A+B indica que se refiere a la luminosidad conjunta. En la siguiente columna de la tabla figura la *magnitud absoluta*, lo que da idea del brillo intrínseco de la estrella independientemente de su cercanía o lejanía al observador. La magnitud absoluta se define como la magnitud aparente de la estrella si se encontrara a una distancia de 10 pc (32,6 años luz). Comparando las dos columnas vemos que la estrella que nos parece la más brillante (Sirio) tiene un brillo intrínseco unas 12 000 veces menor que una estrella aparentemente menos brillante, como es Deneb.

Para pasar de diferencia de magnitudes a razón de brillos se puede utilizar la tabla que figura al final de esta sección.

En una segunda tabla figuran las 177 estrellas conocidas más brillantes que  $V = 3$ , en la que se indica su posición para la época J2000, su movimiento propio, paralaje, magnitud y tipo espectral.

## Efemérides

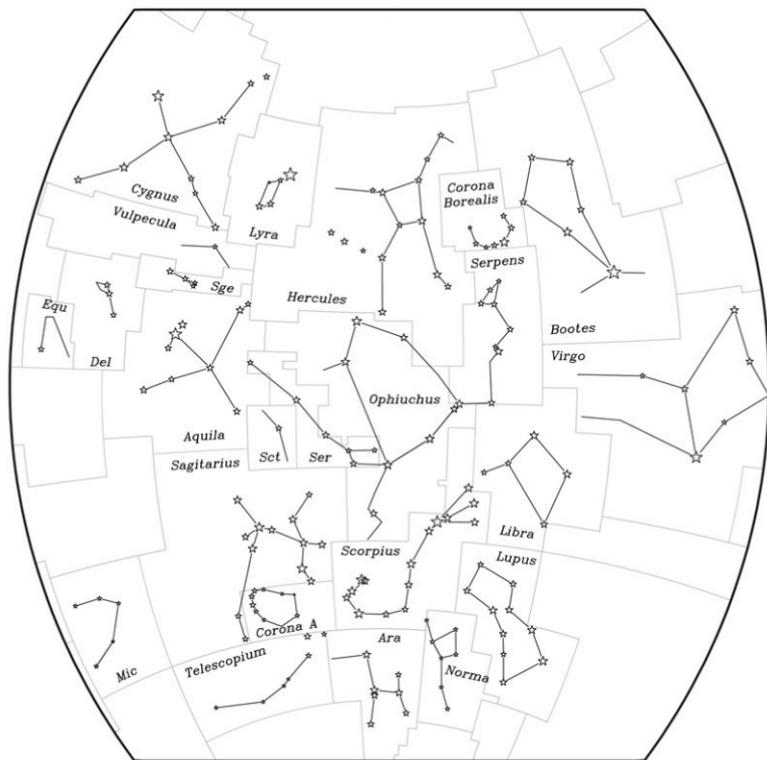
Algunas efemérides relativas a estrellas figuran en la primera parte del ANUARIO. En páginas anteriores se encuentran las efemérides de la Polar, los instantes de mínimo de  $\beta$  Persei (Algol) y  $\beta$  Lyrae y los instantes de máximo de las variables de largo periodo tipo Mira.

<b>Constelaciones</b>						
nombre latino	abr.	$\alpha$ (h)	$\delta$ ( $^{\circ}$ )	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 Paraíso
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	Eridano
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

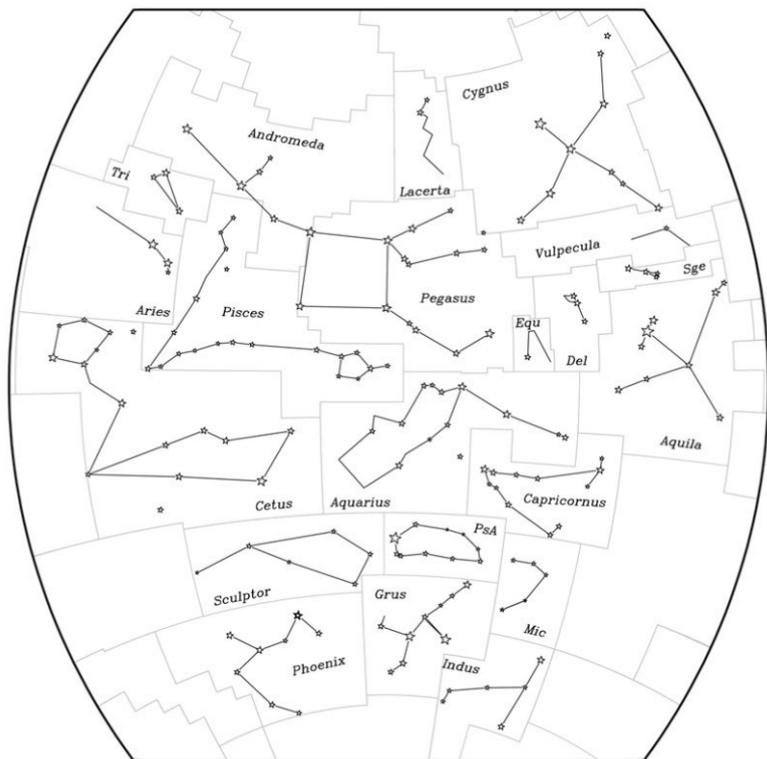
## Constelaciones (cont.)

nombre latino	abr.	$\alpha$ (h)	$\delta$ ( $^{\circ}$ )	área ( $^{\circ}2$ )	$N_*$	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	Caballote 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

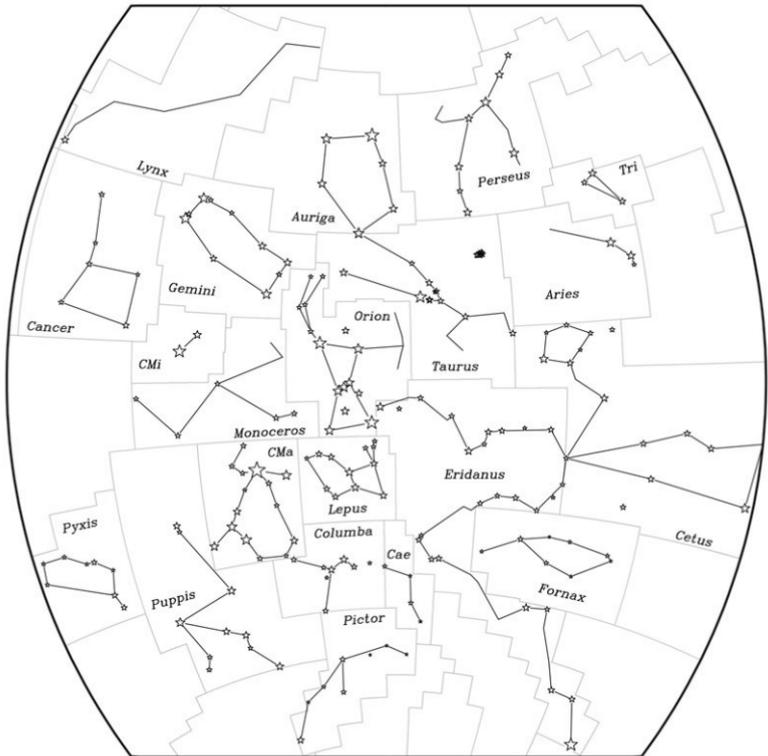
$N_*$  es el número aproximado de estrellas más brillantes que la magnitud 6.



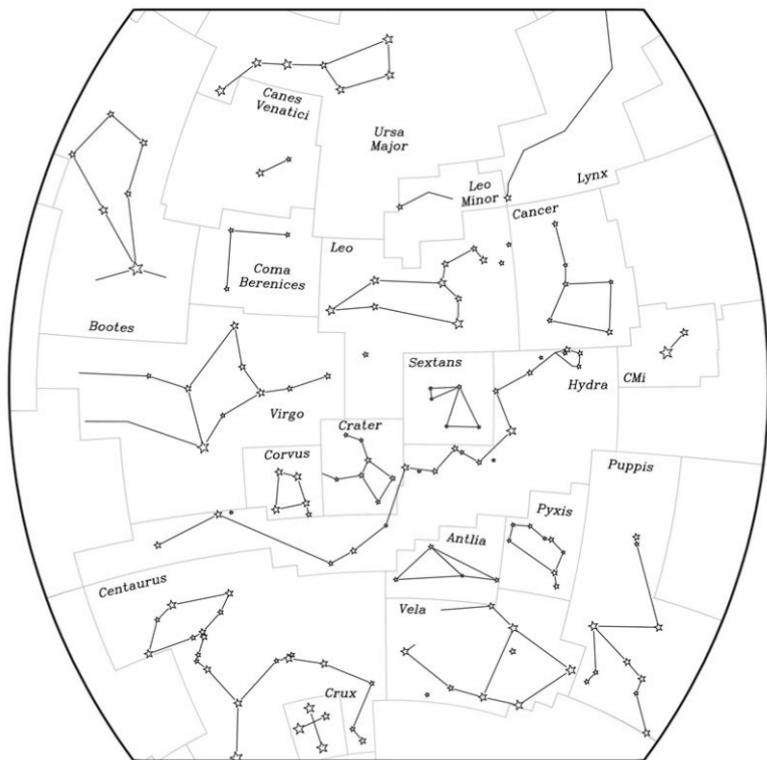
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^\circ$  y  $+65^\circ$ , y con ascensiones rectas desde 13 a 21 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



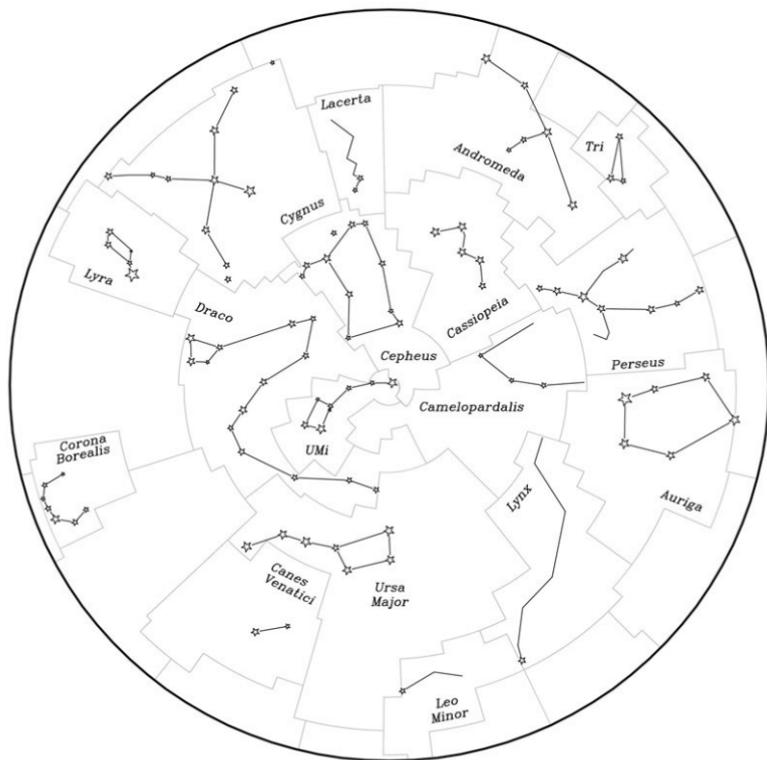
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^\circ$  y  $+65^\circ$ , y con ascensiones rectas desde 19 a 3 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



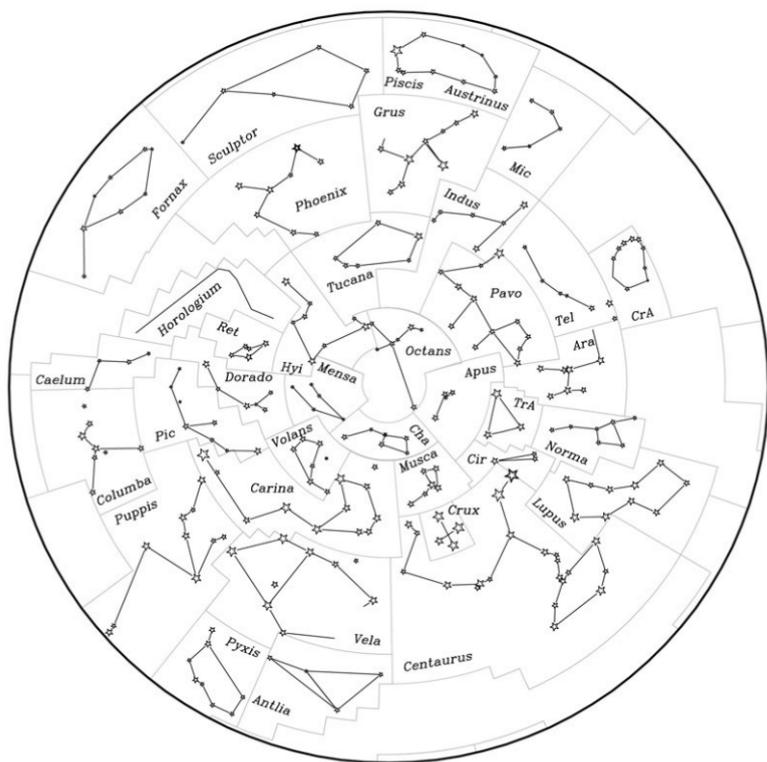
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^\circ$  y  $+65^\circ$ , y con ascensiones rectas desde 1 a 9 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^\circ$  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  $-25^\circ$ , 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)	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' )	magn. V
Acamar	$\theta^1$ Eridani	02 58 16	-40 18	3,24
Achernar	$\alpha$ Eridani	01 37 43	-57 14	0,45
Acrux	$\alpha^1$ Crucis	12 26 36	-63 06	1,33
Adara	$\epsilon$ Canis Majoris	06 58 38	-28 58	1,50
Al Na'ir	$\alpha$ Gruis	22 08 14	-46 58	1,73
Albireo	$\beta^1$ Cygni	19 30 43	+27 58	3,05
Alcaid	$\eta$ Ursae Majoris	13 47 32	+49 19	1,85
Alchiba	$\alpha$ Corvi	12 08 25	-24 44	4,02
Alcor	80 Ursae Majoris	13 25 14	+54 59	3,99
Alción	$\eta$ Tauri	03 47 29	+24 06	2,85
Aldebarán	$\alpha$ Tauri	04 35 55	+16 31	0,87
Alderamín	$\alpha$ Cephei	21 18 35	+62 35	2,45
Alfard	$\alpha$ Hydrae	09 27 35	-08 40	1,97
Alfeca	$\alpha$ Coronae Borealis	15 34 41	+26 43	2,22
Alferatz	$\alpha$ Andromedae	00 08 23	+29 05	2,07
Algedi	$\alpha^2$ Capricorni	20 18 03	-12 33	3,58
Algenib	$\gamma$ Pegasi	00 13 14	+15 11	2,83
Algieba	$\gamma^1$ Leonis	10 19 58	+19 50	2,28
Algol	$\beta$ Persei	03 08 10	+40 57	2,09
Alhena	$\gamma$ Geminorum	06 37 43	+16 24	1,93
Alioth	$\epsilon$ Ursae Majoris	12 54 02	+55 58	1,76
Almac	$\gamma^1$ Andromedae	02 03 54	+42 20	2,10
Alnilam	$\epsilon$ Orionis	05 36 13	-01 12	1,69
Altair	$\alpha$ Aquilae	19 50 47	+08 52	0,76
Ancaa	$\alpha$ Phoenicis	00 26 17	-42 18	2,40
Antares	$\alpha$ Scorpii	16 29 24	-26 26	1,06
Arneb	$\alpha$ Leporis	05 32 44	-17 49	2,58
Arturo	$\alpha$ Bootis	14 15 40	+19 11	-0,05
Atria	$\alpha$ Trianguli Australis	16 48 40	-69 02	1,91
Avior	$\epsilon$ Carinae	08 22 31	-59 31	1,86
Belátrix	$\gamma$ Orionis	05 25 08	+06 21	1,64
Betelgeuse	$\alpha$ Orionis	05 55 10	+07 24	0,45
Canopo	$\alpha$ Carinae	06 23 57	-52 42	-0,62
Capela	$\alpha$ Aurigae	05 16 41	+46 00	0,08
Caf	$\beta$ Cassiopeiae	00 09 11	+59 09	2,28
Cástor	$\alpha$ Geminorum	07 34 36	+31 53	1,58
Cor Caroli	$\alpha^2$ Canum Venaticorum	12 56 02	+38 19	2,89
Cursa	$\beta$ Eridani	05 07 51	-05 05	2,78
Deneb	$\alpha$ Cygni	20 41 26	+45 17	1,25
Denébola	$\beta$ Leonis	11 49 04	+14 34	2,14
Difda	$\beta$ Ceti	00 43 35	-17 59	2,04
Dubhe	$\alpha$ Ursae Majoris	11 03 44	+61 45	1,81
Elnath	$\beta$ Tauri	05 26 18	+28 36	1,65
Etamín	$\gamma$ Draconis	17 56 36	+51 29	2,24
Enif	$\epsilon$ Pegasi	21 44 11	+09 53	2,38

## Estrellas con nombre propio

nombre	en constelación (Bayer)	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' )	magn. V
Espiga	$\alpha$ Virginis	13 25 12	-11 10	0,98
Fact	$\alpha$ Columbae	05 39 39	-34 04	2,65
Fecda	$\gamma$ Ursae Majoris	11 53 50	+53 42	2,41
Fomalhaut	$\alpha$ Piscis Austrini	22 57 39	-29 37	1,17
Gacrux	$\gamma$ Crucis	12 31 10	-57 07	1,59
Gienah	$\gamma$ Corvi	12 15 48	-17 33	2,58
Graffias	$\beta^1$ Scorpii	16 05 26	-19 48	2,56
Hadar	$\beta$ Centauri	14 03 49	-60 22	0,61
Hamal	$\alpha$ Arietis	02 07 10	+23 28	2,01
Izar	$\epsilon$ Bootis	14 44 59	+27 04	2,35
Kaus Australis	$\epsilon$ Sagittarii	18 24 10	-34 23	1,79
Kocab	$\beta$ Ursae Minoris	14 50 42	+74 09	2,07
Markab	$\alpha$ Pegasi	23 04 46	+15 12	2,49
Megrez	$\delta$ Ursae Majoris	12 15 26	+57 02	3,32
Menkalinan	$\beta$ Aurigae	05 59 32	+44 57	1,90
Menkar	$\alpha$ Ceti	03 02 17	+04 05	2,54
Menkent	$\theta$ Centauri	14 06 41	-36 22	2,06
Merak	$\beta$ Ursae Majoris	11 01 51	+56 23	2,34
Miaplacidus	$\beta$ Carinae	09 13 12	-69 43	1,67
Mimosa	$\beta$ Crucis	12 47 43	-59 41	1,25
Mintaka	$\delta$ Orionis	05 32 00	-00 18	2,25
Mira	$\omicron$ Ceti	02 19 21	-02 59	6,47
Mirach	$\beta$ Andromedae	01 09 44	+35 37	2,07
Mirfak	$\alpha$ Persei	03 24 19	+49 52	1,79
Mirzam	$\beta$ Canis Majoris	06 22 42	-17 57	1,98
Mizar	$\zeta$ Ursae Majoris	13 23 56	+54 56	2,23
Nunki	$\sigma$ Sagittarii	18 55 16	-26 18	2,05
Pavo Real	$\alpha$ Pavonis	20 25 39	-56 44	1,94
Polar	$\alpha$ Ursae Minoris	02 31 49	+89 16	1,97
Pólux	$\beta$ Geminorum	07 45 19	+28 02	1,16
Proción	$\alpha$ Canis Minoris	07 39 18	+05 14	0,40
Ras Algethi	$\alpha^1$ Herculis	17 14 39	+14 23	3,48
Ras Alhague	$\alpha$ Ophiuchi	17 34 56	+12 34	2,08
Rastaban	$\beta$ Draconis	17 30 26	+52 18	2,79
Régulo	$\alpha$ Leonis	10 08 22	+11 58	1,36
Rígel	$\beta$ Orionis	05 14 32	-08 12	0,18
Rígil Kentaurus	$\alpha^1$ Centauri	14 39 37	-60 50	-0,01
Rucbat	$\alpha$ Sagittarii	19 23 53	-40 37	3,96
Sabik	$\eta$ Ophiuchi	17 10 23	-15 43	2,43
Sadalmelik	$\alpha$ Aquarii	22 05 47	-00 19	2,95
Sadalsuud	$\beta$ Aquarii	21 31 34	-05 34	2,90
Scheat	$\beta$ Pegasi	23 03 47	+28 05	2,44
Schedar	$\alpha$ Cassiopeiae	00 40 31	+56 32	2,24
Shaula	$\lambda$ Scorpii	17 33 37	-37 06	1,62
Sheratan	$\beta$ Arietis	01 54 38	+20 48	2,64

## Estrellas con nombre propio

nombre	en constelación (Bayer)	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn. V
Sirio	$\alpha$ Canis Majoris	06 45 09	-16 43	-1,44
Suhail	$\lambda$ Velorum	09 08 00	-43 26	2,23
Thuban	$\alpha$ Draconis	14 04 23	+64 23	3,67
Unukalhai	$\alpha$ Serpentis	15 44 16	+06 26	2,63
Vega	$\alpha$ Lyrae	18 36 56	+38 47	0,03
Vindemiatrix	$\epsilon$ Virginis	13 02 11	+10 58	2,85
Wezen	$\delta$ Canis Majoris	07 08 23	-26 24	1,83
Zavijava	$\beta$ Virginis	11 50 42	+01 46	3,59
Zuben el Chamali	$\beta$ Librae	15 17 00	-09 23	2,61
Zuben el Genubi	$\alpha^2$ 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, Flamsteed o un número de catálogo.

## Las Pléyades

nombre	designación Flamsteed	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	magn. V
Alción	25 $\eta$ Tauri	3 47 29	24 06 18	2,87
Estéropo	21 Tauri	3 45 54	24 33 16	5,76
Atlas	27 Tauri	3 49 10	24 03 12	3,62
Celeno	16 Tauri	3 44 48	24 17 22	5,45
Electra	17 Tauri	3 44 53	24 06 48	3,70
Maya	20 Tauri	3 45 50	24 22 04	3,87
Méropo	23 Tauri	3 46 20	23 56 54	4,16
Pléyone	28 Tauri	3 49 11	24 08 12	5,05
Táigete	19 Tauri	3 45 13	24 28 02	4,29

Varias de estas estrellas son binarias. Méropo está rodeada por la nebulosa de reflexión NGC 1435.

**Estrellas con nombre propio ordenadas por constelación**

- Andromeda:  $\alpha$  Alferatz  $\beta$  Mirach  $\gamma^1$  Almac
- Aquarius:  $\alpha$  Sadalmelik  $\beta$  Sadalsuud  $\gamma$  Sadachbia  $\delta$  Skat
- Aquila:  $\alpha$  Altair  $\beta$  Alshain  $\gamma$  Tarazed
- Aries:  $\alpha$  Hamal  $\beta$  Sheratan  $\gamma^2$  Mesartim
- Auriga:  $\alpha$  Capela, Cabra  $\beta$  Menkalinan
- Bootes:  $\alpha$  Arturo  $\beta$  Nekkar  $\gamma$  Seginus  $\epsilon$  Izar  $\eta$  Mufrid  $\mu^1$  Alkalurops
- Canes Venatici:  $\alpha^2$  Cor Caroli  $\beta$  Chara
- Canis Major:  $\alpha$  Sirio  $\beta$  Mirzam  $\delta$  Wezen  $\epsilon$  Adara  $\eta$  Aludra
- Canis Minor:  $\alpha$  Proción  $\beta$  Gomeisa
- Capricornus:  $\alpha^2$  Algiedi, Algedi  $\beta$  Dabih  $\gamma$  Nashira
- Carina:  $\alpha$  Canopo  $\beta$  Miaplacidus  $\epsilon$  Avior  $\iota$  Aspidiske
- Cassiopeia:  $\alpha$  Schedar  $\beta$  Caf  $\delta$  Rucba
- Centaurus:  $\alpha^1$  Rigil Kentaurus  $\beta$  Hadar, Agena  $\theta$  Menkent
- Cepheus:  $\alpha$  Alderamín  $\beta$  Alfirc  $\gamma$  Errai
- Cetus:  $\alpha$  Menkar  $\beta$  Difda, Deneb Kaitos  $\omicron$  Mira
- Columba:  $\alpha$  Fact  $\beta$  Wazn
- Corona Borealis:  $\alpha$  Alfeca, Gemma  $\beta$  Nusakan
- Corvus:  $\alpha$  Alchiba  $\gamma$  Gienah  $\delta$  Algorab
- Crux:  $\alpha^1$  Acrux  $\beta$  Becrux, Mimosa  $\gamma$  Gacrux
- Cygnus:  $\alpha$  Deneb  $\beta^1$  Albireo  $\gamma$  Sadr
- Draco:  $\alpha$  Thuban  $\beta$  Rastaban  $\gamma$  Etamín  $\delta$  Altai
- Eridanus:  $\alpha$  Achernar  $\beta$  Cursa  $\gamma$  Zaurak  $\eta$  Azha  $\theta^1$  Acamar
- Gemini:  $\alpha$  Cástor  $\beta$  Pólux  $\gamma$  Alhena  $\delta$  Wasat  $\epsilon$  Mabsuta
- Grus:  $\alpha$  Al Na'ir
- Hercules:  $\alpha^1$  Ras Algethi  $\beta$  Kornephoros
- Hydra:  $\alpha$  Alfard, Cor Hydrae
- Leo:  $\alpha$  Régulo  $\beta$  Denébola  $\gamma^1$  Algieba  $\delta$  Zosma  $\zeta$  Adhafera
- Lepus:  $\alpha$  Arneb  $\beta$  Nihal
- Libra:  $\alpha^2$  Zuben el Genubi  $\beta$  Zuben el Chamali  $\gamma$  Zuben el Hakrabi
- Lyra:  $\alpha$  Vega  $\beta$  Sheliak  $\gamma$  Sulafat
- Ophiucus:  $\alpha$  Ras Alhague  $\beta$  Cebalrai  $\delta$  Yed Prior  $\eta$  Sabik
- Orion:  $\alpha$  Betelgeuse  $\beta$  Rigel  $\gamma$  Belátrix  $\delta$  Mintaka  $\epsilon$  Alnilam  
 $\zeta$  Alnitak  $\kappa$  Saif  $\lambda$  Meissa
- Pegasus:  $\alpha$  Markab  $\beta$  Scheat  $\gamma$  Algenib  $\epsilon$  Enif  $\zeta$  Homam
- Perseus:  $\alpha$  Mirfak  $\beta$  Algol  $\zeta$  Atik
- Phoenix:  $\alpha$  Ancaa
- Piscis Austrinus:  $\alpha$  Fomalhaut
- Sagittarius:  $\alpha$  Rucbat  $\beta$  Arkab  $\gamma^2$  Anasl  $\delta$  Kaus Media  $\epsilon$  Kaus Australis  
 $\zeta$  Ascella  $\lambda$  Kaus Borealis  $\sigma$  Nunki
- Scorpius:  $\alpha$  Antares  $\beta^1$  Graffias  $\lambda$  Shaula  $\nu$  Lesath
- Serpens:  $\alpha$  Unukalhai  $\theta^1$  Alya
- Taurus:  $\alpha$  Aldebarán  $\beta$  Elnath  $\eta$  Alcfone 17 Electra 19 Táigete  
20 Maya 21 Estérope 23 Mérope 27 Atlas 28 Pléyone
- Triangulum Australe:  $\alpha$  Atria
- Ursa Major:  $\alpha$  Dubhe  $\beta$  Merak  $\gamma$  Fecda, Phad  $\delta$  Megrez  $\epsilon$  Alioth  
 $\zeta$  Mizar  $\eta$  Alcaid  $\iota$  Talita 80 Alcor
- Ursa Minor:  $\alpha$  Polar  $\beta$  Kocab  $\gamma$  Fercad  $\delta$  Yildun
- Vela:  $\lambda$  Suhail
- Virgo:  $\alpha$  Espiga  $\beta$  Zavijava  $\gamma$  Porrima  $\epsilon$  Vindemiatrix

## Estrellas más cercanas

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	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
$\alpha$ 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
$\alpha$ 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
$\epsilon$ 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 <sup>+</sup> Ve	3,4
61 Cyg	21 06,9	+38 45	5,22	7,56	K3.5Ve	3,4
$\epsilon$ Ind	22 03,4	-56 47	4,68	6,95	K3Ve	3,5
$\alpha$ 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
$\tau$ 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.	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' ")	mag. V	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ (" / 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
$\epsilon$ 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
$\sigma^2$ 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
$\mu$ Cassiopeiae	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
$\alpha$ Centauri B	Cen	14 39 35,1	-60 50 14	1,35	-3,60 0,95
$\alpha$ 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	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ (° ' )	magn. V	magn. absol.	tipo espec.	dist. (pc)
Sirio ( $\alpha$ CMA)	06 45 09	-16 43	-1,44	1,5	A0	2,6
Canopo ( $\alpha$ Car)	06 23 57	-52 42	-0,62	-5,5	F0	96
Arturo ( $\alpha$ Boo)	14 15 40	+19 11	-0,05	-0,3	K0	11
Rígil Kent. ( $\alpha$ Cen A)	14 39 37	-60 50	-0,01	4,4	G0	1,3
Vega ( $\alpha$ Lyr)	18 36 56	+38 47	0,03	0,6	A0	7,8
Capela ( $\alpha$ Aur A+B)	05 16 41	+46 00	0,08	-0,5	G0	12,9
Rígel ( $\beta$ Ori)	05 14 32	-08 12	0,18	*	B8p	237
Proción ( $\alpha$ CMi)	07 39 18	+05 14	0,40	2,7	F5	3,5
Achernar ( $\alpha$ Eri)	01 37 43	-57 14	0,45	-2,8	B5	44
Betelgeuse ( $\alpha$ Ori)	05 55 10	+07 24	0,45	*	M0	131
Hadar ( $\beta$ Cen)	14 03 49	-60 22	0,61	*	B1	161
Altair ( $\alpha$ Aql)	19 50 47	+08 52	0,76	2,2	A5	5,1
$\alpha$ Cru A+B	12 26 36	-63 06	0,77	-4,2	B1,B3	98
Aldebarán ( $\alpha$ Tau)	04 35 55	+16 31	0,87	*	K5	20
Espiga ( $\alpha$ Vir)	13 25 12	-11 10	0,98	*	B2	80
Antares ( $\alpha$ Sco A+B)	16 29 24	-26 26	1,06	*	M1,B3	185
Pólux ( $\beta$ Gem)	07 45 19	+28 02	1,16	1,1	K0	10
Fomalhaut ( $\alpha$ PsA)	22 57 39	-29 37	1,17	1,7	A3	7,7
Deneb ( $\alpha$ Cyg)	20 41 26	+45 17	1,25	*	A2p	990
Mimosa ( $\beta$ Cru)	12 47 43	-59 41	1,25	*	B1	108

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' ")	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ ("/milenio)	$\pi$ (")	$V$	$B-V$	tipo esp.
$\alpha$ And	00 08 23,3	+29 05 26	136 -163	0,034	2,07	-0,04	A0p
$\beta$ Cas	00 09 10,7	+59 08 59	523 -180	0,060	2,28	0,38	F5
$\gamma$ Peg	00 13 14,2	+15 11 01	5 -8	0,010	2,83	-0,19	B2
$\beta$ Hya	00 25 45,1	-77 15 15	2220 324	0,134	2,82	0,62	G0
$\alpha$ Phe	00 26 17,0	-42 18 22	233 -354	0,042	2,40	1,08	K0
$\alpha$ Cas	00 40 30,5	+56 32 14	50 -32	0,014	2,24	1,17	K0
$\beta$ Cet	00 43 35,4	-17 59 12	233 33	0,034	2,04	1,02	K0
$\gamma$ Cas	00 56 42,5	+60 43 00	26 -4	0,005	2,15	-0,05	B0p
$\beta$ And	01 09 43,9	+35 37 14	176 -112	0,016	2,07	1,58	M0
$\delta$ Cas	01 25 49,0	+60 14 07	297 -49	0,033	2,66	0,16	A5
$\alpha$ Eri	01 37 42,9	-57 14 12	88 -40	0,023	0,45	-0,16	B5
$\beta$ Ari	01 54 38,4	+20 48 29	96 -109	0,055	2,64	0,17	A5
$\alpha$ Hya	01 58 46,2	-61 34 11	263 27	0,046	2,86	0,29	F0
$\gamma^1$ And	02 03 54,0	+42 19 47	43 -51	0,009	2,10	1,37	K0
$\alpha$ Ari	02 07 10,4	+23 27 45	191 -146	0,049	2,01	1,15	K2
$\beta$ Tri	02 09 32,6	+34 59 14	149 -39	0,026	3,00	0,14	A5
$\alpha$ UMi	02 31 49,1	+89 15 51	44 -12	0,008	1,97	0,64	F8
$\theta$ Eri	02 58 15,7	-40 18 17	-54 26	0,020	2,88	0,13	A2
$\alpha$ Cet	03 02 16,8	+04 05 23	-12 -79	0,015	2,54	1,63	M0
$\gamma$ Per	03 04 47,8	+53 30 23	1 -4	0,013	2,91	0,72	F5,A3
$\beta$ Per	03 08 10,1	+40 57 20	2 -1	0,035	2,09	0,00	B8
$\alpha$ Per	03 24 19,4	+49 51 40	24 -26	0,006	1,79	0,48	F5
$\eta$ Tau	03 47 29,1	+24 06 18	19 -43	0,009	2,85	-0,09	B5p
$\zeta$ Per	03 54 07,9	+31 53 01	4 -9	0,003	2,84	0,27	B1
$\epsilon$ Per	03 57 51,2	+40 00 37	13 -24	0,006	2,90	-0,20	B1
$\gamma$ Eri	03 58 01,8	-13 30 31	61 -111	0,015	2,97	1,59	K5
$\alpha$ Tau	04 35 55,2	+16 30 33	63 -189	0,050	0,87	1,54	K5
$\iota$ Aur	04 56 59,6	+33 09 58	4 -19	0,006	2,69	1,49	K2
$\beta$ Eri	05 07 51,0	-05 05 11	-83 -75	0,037	2,78	0,16	A3
$\beta$ Ori	05 14 32,3	-08 12 06	2 -1	0,004	0,18	-0,03	B8p
$\alpha$ Aur	05 16 41,4	+45 59 53	76 -427	0,077	0,08	0,80	G0
$\gamma$ Ori	05 25 07,9	+06 20 59	-9 -13	0,013	1,64	-0,22	B2
$\beta$ Tau	05 26 17,5	+28 36 27	23 -174	0,025	1,65	-0,13	B8
$\beta$ Lep	05 28 14,7	-20 45 34	-5 -86	0,020	2,81	0,81	G0
$\delta$ Ori	05 32 00,4	-00 17 57	2 1	0,004	2,25	-0,17	B0
$\alpha$ Lep	05 32 43,8	-17 49 20	3 2	0,003	2,58	0,21	F0
$\iota$ Ori	05 35 26,0	-05 54 36	2 -1	0,002	2,75	-0,21	Oe5
$\epsilon$ Ori	05 36 12,8	-01 12 07	1 -1	0,002	1,69	-0,18	B0
$\zeta$ Tau	05 37 38,7	+21 08 33	2 -18	0,008	2,97	-0,15	B3p
$\alpha$ Col	05 39 38,9	-34 04 27	0 -24	0,012	2,65	-0,12	B5p
$\zeta$ Ori	05 40 45,5	-01 56 33	4 3	0,004	1,74	-0,20	B0
$\kappa$ Ori	05 47 45,4	-09 40 11	2 -1	0,005	2,07	-0,17	B0

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' ")	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ ("/milenio)	$\pi$ (")	$V$	$B-V$	tipo esp.	
$\alpha$ Ori	05 55 10,3	+07 24 25	27	11	0,008	0,45	1,50	M0
$\beta$ Aur	05 59 31,7	+44 56 51	-56	-1	0,040	1,90	0,08	A0p
$\theta$ Aur	05 59 43,3	+37 12 45	42	-74	0,019	2,65	-0,08	A0
$\beta$ CMa	06 22 42,0	-17 57 21	-3	0	0,007	1,98	-0,24	B1
$\mu$ Gem	06 22 57,6	+22 30 49	57	-109	0,014	2,87	1,62	M0
$\alpha$ Car	06 23 57,1	-52 41 44	20	24	0,010	-0,62	0,16	F0
$\gamma$ Gem	06 37 42,7	+16 23 57	-2	-67	0,031	1,93	0,00	A0
$\alpha$ CMA	06 45 08,9	-16 42 58	-546	-1223	0,379	-1,44	0,01	A0
$\tau$ Pup	06 49 56,2	-50 36 52	34	-66	0,018	2,94	1,21	K0
$\varepsilon$ CMA	06 58 37,5	-28 58 20	3	2	0,008	1,50	-0,21	B1
$\delta$ CMA	07 08 23,5	-26 23 36	-3	3	0,002	1,83	0,67	F8p
$\pi$ Pup	07 17 08,6	-37 05 51	-11	7	0,003	2,71	1,62	K5
$\eta$ CMA	07 24 05,7	-29 18 11	-4	7	0,001	2,45	-0,08	B5p
$\beta$ CMi	07 27 09,0	+08 17 22	-50	-38	0,019	2,89	-0,10	B8
$\alpha$ Gem	07 34 35,9	+31 53 18	-206	-148	0,063	1,58	0,03	A0,A0
$\alpha$ CMi	07 39 18,1	+05 13 30	-717	-1035	0,286	0,40	0,43	F5
$\beta$ Gem	07 45 19,0	+28 01 34	-626	-46	0,097	1,16	0,99	K0
$\zeta$ Pup	08 03 35,1	-40 00 12	-31	17	0,002	2,21	-0,27	O3
$\rho$ Pup	08 07 32,6	-24 18 15	-83	46	0,052	2,83	0,46	F5
$\gamma$ Vel	08 09 32,0	-47 20 12	-6	10	0,004	1,75	-0,14	Oap
$\varepsilon$ Car	08 22 30,8	-59 30 34	-25	23	0,005	1,86	1,20	K0,B
$\delta$ Vel	08 44 42,2	-54 42 32	29	-104	0,041	1,93	0,04	A0
$\lambda$ Vel	09 07 59,8	-43 25 57	-23	14	0,006	2,23	1,66	K5
$\beta$ Car	09 13 12,0	-69 43 02	-158	109	0,029	1,67	0,07	A0
$\iota$ Car	09 17 05,4	-59 16 31	-19	13	0,005	2,21	0,19	F0
$\kappa$ Vel	09 22 06,8	-55 00 39	-11	11	0,006	2,47	-0,14	B3
$\alpha$ Hya	09 27 35,2	-08 39 31	-14	33	0,018	1,99	1,44	K2
$\varepsilon$ Leo	09 45 51,1	+23 46 27	-46	-10	0,013	2,97	0,81	G0p
$\nu$ Car	09 47 06,1	-65 04 19	-12	5	0,002	2,92	0,27	F0
$\alpha$ Leo	10 08 22,3	+11 58 02	-249	5	0,042	1,36	-0,09	B8
$\gamma$ Leo	10 19 58,4	+19 50 29	311	-153	0,026	2,01	1,13	K0,K0
$\theta$ Car	10 42 57,4	-64 23 40	-19	12	0,007	2,74	-0,22	B0
$\mu$ Vel	10 46 46,2	-49 25 13	63	-54	0,028	2,69	0,90	G5
$\beta$ UMa	11 01 50,5	+56 22 57	82	34	0,041	2,34	0,03	A0
$\alpha$ UMa	11 03 43,7	+61 45 04	-136	-35	0,026	1,81	1,06	K0
$\psi$ UMa	11 09 39,8	+44 29 55	-62	-27	0,022	3,00	1,14	K0
$\delta$ Leo	11 14 06,5	+20 31 25	143	-130	0,057	2,56	0,13	A3
$\beta$ Leo	11 49 03,6	+14 34 19	-499	-114	0,090	2,14	0,09	A2
$\gamma$ UMa	11 53 49,8	+53 41 41	108	11	0,039	2,41	0,04	A0
$\delta$ Cen	12 08 21,5	-50 43 21	-48	-6	0,008	2,58	-0,13	B3p
$\delta$ Cru	12 15 08,7	-58 44 56	-37	-11	0,009	2,79	-0,19	B3
$\gamma$ Crv	12 15 48,4	-17 32 31	-160	22	0,020	2,58	-0,11	B8

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' ")	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ (" / milenio)	$\pi$ (")	$V$	$B-V$	tipo esp.
$\alpha$ Cru	12 26 35,9	-63 05 57	-35 -15	0,010	0,77	-0,24	B1,B3
$\delta$ Crv	12 29 51,9	-16 30 56	-210 -139	0,037	2,94	-0,01	A0
$\gamma$ Cru	12 31 09,9	-57 06 48	28 -264	0,037	1,59	1,60	M3
$\beta$ Crv	12 34 23,2	-23 23 48	1 -56	0,023	2,65	0,89	G5
$\alpha$ Mus	12 37 11,0	-69 08 08	-40 -12	0,011	2,69	-0,18	B3
$\gamma$ Cen	12 41 31,0	-48 57 36	-187 -1	0,025	2,20	-0,02	A0
$\gamma$ Vir	12 41 39,6	-01 26 58	-617 61	0,085	2,74	0,37	F0
$\beta$ Cru	12 47 43,2	-59 41 19	-48 -13	0,009	1,25	-0,24	B1
$\epsilon$ UMa	12 54 01,7	+55 57 35	112 -9	0,040	1,76	-0,02	A0p
$\alpha^2$ CVn	12 56 01,7	+38 19 06	-233 55	0,030	2,89	-0,12	A0p
$\epsilon$ Vir	13 02 10,6	+10 57 33	-275 20	0,032	2,85	0,93	K0
$\gamma$ Hya	13 18 55,3	-23 10 18	68 -41	0,025	2,99	0,92	G5
$\iota$ Cen	13 20 35,8	-36 42 44	-341 -88	0,056	2,75	0,07	A2
$\zeta$ UMa	13 23 55,5	+54 55 31	121 -22	0,042	2,23	0,06	A2p
$\alpha$ Vir	13 25 11,6	-11 09 41	-43 -32	0,012	0,98	-0,23	B2
$\epsilon$ Cen	13 39 53,2	-53 27 59	-15 -13	0,009	2,29	-0,17	B1
$\eta$ UMa	13 47 32,4	+49 18 48	-121 -16	0,032	1,85	-0,10	B3
$\eta$ Boo	13 54 41,1	+18 23 52	-61 -358	0,088	2,68	0,58	G0
$\zeta$ Cen	13 55 32,4	-47 17 18	-57 -45	0,008	2,55	-0,18	B2p
$\beta$ Cen	14 03 49,4	-60 22 23	-34 -25	0,006	0,61	-0,23	B1
$\theta$ Cen	14 06 41,0	-36 22 12	-519 -518	0,054	2,06	1,01	K0
$\alpha$ Boo	14 15 39,7	+19 10 57	-1093 -1999	0,089	-0,05	1,24	K0
$\eta$ Cen	14 35 30,4	-42 09 28	-35 -32	0,011	2,33	-0,16	B3p
$\alpha^2$ Cen	14 39 35,1	-60 50 14	-3600 952	0,742	1,35	0,90	K5
$\alpha^1$ Cen	14 39 36,5	-60 50 02	-3678 482	0,742	-0,01	0,71	G0
$\alpha$ Lup	14 41 55,8	-47 23 18	-21 -24	0,006	2,30	-0,15	B2
$\epsilon$ Boo	14 44 59,2	+27 04 27	-51 20	0,016	2,35	0,97	K0
$\beta$ UMi	14 50 42,3	+74 09 20	-32 12	0,026	2,07	1,47	K5
$\alpha^2$ Lib	14 50 52,7	-16 02 30	-106 -69	0,042	2,75	0,15	A3
$\beta$ Lup	14 58 31,9	-43 08 02	-34 -38	0,006	2,68	-0,18	B2p
$\beta$ Lib	15 17 00,4	-09 22 59	-96 -21	0,020	2,61	-0,07	B8
$\gamma$ TrA	15 18 54,6	-68 40 46	-66 -32	0,018	2,87	0,01	A0
$\gamma$ UMi	15 20 43,7	+71 50 02	-18 18	0,007	3,00	0,06	A2
$\alpha$ CrB	15 34 41,3	+26 42 53	120 -89	0,044	2,22	0,03	A0
$\gamma$ Lup	15 35 08,4	-41 10 00	-16 -26	0,006	2,80	-0,22	B3
$\alpha$ Ser	15 44 16,1	+06 25 32	135 44	0,045	2,63	1,17	K0
$\beta$ TrA	15 55 08,5	-63 25 50	-188 -402	0,081	2,83	0,31	F0
$\pi$ Sco	15 58 51,1	-26 06 51	-12 -26	0,007	2,89	-0,18	B2
$\delta$ Sco	16 00 20,0	-22 37 18	-9 -37	0,008	2,29	-0,12	B0
$\beta^1$ Sco	16 05 26,2	-19 48 20	-7 -25	0,006	2,56	-0,06	B1
$\delta$ Oph	16 14 20,7	-03 41 40	-46 -143	0,019	2,73	1,58	M0
$\sigma$ Sco	16 21 11,3	-25 35 34	-10 -18	0,004	2,90	0,30	B1

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' ")	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ (" / milenio)	$\pi$ (")	$V$	$B-V$	tipo esp.
$\eta$ Dra	16 23 59,5	+61 30 51	-17 57	0,037	2,73	0,91	G5
$\alpha$ Sco	16 29 24,4	-26 25 55	-10 -23	0,005	1,06	1,87	M1,B3
$\beta$ Her	16 30 13,2	+21 29 23	-98 -14	0,022	2,78	0,95	K0
$\tau$ Sco	16 35 53,0	-28 12 58	-9 -23	0,008	2,82	-0,21	B0
$\zeta$ Oph	16 37 09,5	-10 34 02	13 25	0,007	2,54	0,04	B0
$\zeta$ Her	16 41 17,2	+31 36 10	-463 345	0,093	2,81	0,65	G0
$\alpha$ TrA	16 48 39,9	-69 01 40	18 -33	0,008	1,91	1,45	K2
$\epsilon$ Sco	16 50 09,8	-34 17 36	-612 -256	0,050	2,29	1,14	K0
$\mu^1$ Sco	16 51 52,2	-38 02 51	-9 -22	0,004	3,00	-0,20	B3p
$\eta$ Oph	17 10 22,7	-15 43 30	41 98	0,039	2,43	0,06	A2
$\alpha$ Her	17 14 38,9	+14 23 25	-7 33	0,009	2,78	1,16	M2,M2
$\beta$ Ara	17 25 18,0	-55 31 48	-8 -25	0,005	2,84	1,48	K2
$\beta$ Dra	17 30 26,0	+52 18 05	-16 12	0,009	2,79	0,95	G0
$\nu$ Sco	17 30 45,8	-37 17 45	-4 -29	0,006	2,70	-0,18	B3
$\alpha$ Ara	17 31 50,5	-49 52 34	-31 -67	0,013	2,84	-0,14	B3p
$\lambda$ Sco	17 33 36,5	-37 06 14	-9 -30	0,005	1,62	-0,23	B2
$\alpha$ Oph	17 34 56,1	+12 33 36	110 -223	0,070	2,08	0,16	A5
$\theta$ Sco	17 37 19,2	-42 59 52	6 -1	0,012	1,86	0,41	F0
$\kappa$ Sco	17 42 29,3	-39 01 48	-6 -26	0,007	2,39	-0,17	B2
$\beta$ Oph	17 43 28,4	+04 34 02	-41 159	0,040	2,76	1,17	K0
$\iota^1$ Sco	17 47 35,1	-40 07 37	0 -6	0,002	2,99	0,51	F6
$\gamma$ Dra	17 56 36,4	+51 29 20	-9 -23	0,022	2,24	1,52	K5
$\gamma$ Sgr	18 05 48,5	-30 25 27	-56 -182	0,034	2,98	0,98	K0
$\delta$ Sgr	18 20 59,7	-29 49 41	30 -26	0,011	2,72	1,38	K0
$\epsilon$ Sgr	18 24 10,3	-34 23 05	-40 -124	0,023	1,79	-0,03	A0
$\lambda$ Sgr	18 27 58,2	-25 25 18	-45 -186	0,042	2,82	1,02	K0
$\alpha$ Lyr	18 36 56,3	+38 47 01	201 287	0,129	0,03	0,00	A0
$\sigma$ Sgr	18 55 15,9	-26 17 48	14 -53	0,015	2,05	-0,13	B3
$\zeta$ Sgr	19 02 36,7	-29 52 48	-14 4	0,037	2,60	0,06	A4
$\zeta$ Aql	19 05 24,6	+13 51 49	-7 -95	0,039	2,99	0,01	A0
$\pi$ Sgr	19 09 45,8	-21 01 25	-1 -37	0,007	2,88	0,38	F2
$\delta$ Cyg	19 44 58,5	+45 07 51	43 48	0,019	2,86	0,00	A0
$\gamma$ Aql	19 46 15,6	+10 36 48	16 -3	0,007	2,72	1,51	K2
$\alpha$ Aql	19 50 47,0	+08 52 06	537 386	0,195	0,76	0,22	A5
$\gamma$ Cyg	20 22 13,7	+40 15 24	2 -1	0,002	2,23	0,67	F8p
$\alpha$ Pav	20 25 38,9	-56 44 06	8 -86	0,018	1,94	-0,12	B3
$\alpha$ Cyg	20 41 25,9	+45 16 49	2 2	0,001	1,25	0,09	A2p
$\epsilon$ Cyg	20 46 12,7	+33 58 13	356 330	0,045	2,48	1,02	K0
$\alpha$ Cep	21 18 34,8	+62 35 08	150 48	0,067	2,45	0,26	A5
$\beta$ Aqr	21 31 33,5	-05 34 16	23 -7	0,005	2,90	0,83	G0
$\epsilon$ Peg	21 44 11,2	+09 52 30	30 1	0,005	2,38	1,52	K0
$\delta$ Cap	21 47 02,4	-16 07 38	263 -296	0,085	2,85	0,18	A5

Estrellas brillantes									
nombre	$\alpha_{2000}$ (h m s)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ' ")	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ (" / milenio)	$\pi$ (")	$V$	$B-V$	tipo esp.		
$\gamma$ Cru	21 53 55,7	-37 21 54	96 -12	0,016	3,00	-0,08	B8		
$\alpha$ Aqr	22 05 47,0	-00 19 11	18 -10	0,004	2,95	0,97	G0		
$\alpha$ Gru	22 08 14,0	-46 57 40	128 -148	0,032	1,73	-0,07	B5		
$\alpha$ Tuc	22 18 30,1	-60 15 35	-71 -38	0,016	2,87	1,39	K2		
$\beta$ Gru	22 42 40,1	-46 53 05	136 -5	0,019	2,07	1,61	M3		
$\eta$ Peg	22 43 00,1	+30 13 17	13 -26	0,015	2,93	0,85	G0		
$\alpha$ PsA	22 57 39,0	-29 37 20	329 -164	0,130	1,17	0,14	A3		
$\beta$ Peg	23 03 46,5	+28 04 58	188 138	0,016	2,44	1,65	M0		
$\alpha$ 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  $V = 3$  extraídas 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

$$\alpha = \alpha_{2000} + t \mu_{\alpha} = \alpha_{2000} + \frac{t}{\cos \delta} (\mu_{\alpha} \cos \delta)$$

$$\delta = \delta_{2000} + t \mu_{\delta}$$

siendo  $t = (\text{día juliano} - 2451545)/365250$ .

La columna etiquetada  $\pi$  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, extraído del catálogo FK5, se halla en la última columna.

## Estrellas dobles

Las estrellas dobles de la siguiente tabla han sido seleccionadas a partir de los catálogos Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars (<http://www.astro.gsu.edu/wds/orb6/>) y The Washington Double Star Catalog (<http://www.astro.gsu.edu/wds/Webtextfiles/>). Solo se consideran declinaciones mayores de  $-48^{\circ}$ . Cumplen, entre otras, las siguientes condiciones: la primaria es más brillante que magnitud 5, la secundaria es más brillante que magnitud 8

y su separación es mayor que 2". Con tales criterios se pretende facilitar la identificación de las estrellas y su observación. Un asterisco indica que la separación y el ángulo de posición (A.P.) han sido calculados para el año actual al disponer de buenos elementos orbitales.

## Estrellas dobles o múltiples

nombre	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$		componentes	magnitudes		separ. (")	A.P. ( $^{\circ}$ )
	(h	m)	( $^{\circ}$	')		prim.	sec.		
$\eta$ Cas	00	49,1	57	49	AB	3,52	7,36	3,4	327*
$\gamma$ Ari	01	53,5	19	18	AB	4,52	4,58	7,4	1
$\theta$ Eri	02	58,3	-40	18		3,20	4,12	8,2	90
$\eta$ Tau	03	47,5	24	06	AB	2,83	6,27	117,6	291
HR 1190	03	48,6	-37	37		4,72	5,25	8,2	216
32 Eri	03	54,3	-02	57	AB	4,80	5,89	6,9	349
$\kappa$ Tau	04	25,4	22	18	AB	4,22	5,29	339,4	174
83 Tau	04	30,6	13	43	AC	4,75	6,09	4,9	311
92 tau	04	39,3	15	55		4,69	5,09	444,0	194
$\beta$ Ori	05	14,5	-08	12	A,BC	0,30	6,80	9,7	202
$\beta$ Lep	05	28,2	-20	46	AB	2,90	7,50	2,7	10
$\delta$ Ori	05	32,0	00	18	AC	2,41	6,83	56,2	4
Struve 747	05	35,0	-06	00	AB	4,70	5,51	36,3	224
$\lambda$ Ori	05	35,1	09	56	AB	3,51	5,45	4,3	44
$\iota$ Ori	05	35,4	-05	55	AB	2,77	7,73	12,5	146
$\zeta$ Ori	05	40,7	-01	57	AB	1,88	3,70	2,2	168*
$\gamma$ Lep	05	44,5	-22	27	AB	3,64	6,28	95,5	349
$\theta$ Aur	05	59,7	37	13	AB	2,60	7,20	4,2	304
$\zeta$ CMa	06	20,3	-30	04	AB	2,96	7,81	169,6	340
$\beta$ Mon	06	28,8	-07	02	AB	4,62	5,00	7,1	133
$\beta$ Mon	06	28,8	-07	02	AC	4,62	5,39	9,9	126
$\epsilon$ CMa	06	58,6	-28	58		1,50	7,50	7,9	162
$\pi$ Pup	07	17,1	-37	06	AB	2,89	7,94	66,5	213
NV Pup	07	18,3	-36	44	AB	4,66	5,07	241,6	102
$\eta$ CMa	07	24,1	-29	18		2,45	6,77	177,0	287
$\alpha$ Gem	07	34,6	31	53	AB	1,93	2,97	5,4	52*
k Pup	07	38,8	-26	48	AB	4,40	4,62	9,9	318
$\gamma$ Vel	08	09,5	-47	20	AB	1,79	4,14	41,2	221
$\gamma$ Vel	08	09,5	-47	20	AC	1,79	7,26	61,5	152
$\iota$ Cnc	08	46,7	28	46		4,13	5,99	30,7	308
$\eta$ Hya	08	46,8	06	25	AB,C	3,49	6,66	2,7	312*
38 Lyn	09	18,8	36	48	AB	3,92	6,09	2,6	224
$\zeta$ Leo	10	16,7	23	25		3,46	6,03	331,3	337
$\gamma$ Leo	10	20,0	19	50	AB	2,37	3,64	4,8	127*
54 Leo	10	55,6	24	45		4,48	6,30	6,8	112
$\alpha$ UMa	11	03,7	61	45	AC	2,02	7,19	370,0	205
HR 4314	11	05,3	-27	18	AD	4,96	5,70	507,3	88
$\iota$ Leo	11	23,9	10	32	AB	4,06	6,71	2,2	93*

## Estrellas dobles o múltiples

nombre	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$		componentes	magnitudes		separ. ( $''$ )	A.P. ( $^{\circ}$ )
	( $^{\text{h}}$ $^{\text{m}}$ )	( $^{\circ}$ $'$ )	( $^{\circ}$ $'$ )	( $^{\circ}$ $'$ )		prim.	sec.		
$\gamma$ Vir	12 41,7	-01 27	AB	3,48	3,53	2,8	359*		
$\alpha$ CVn	12 56,0	38 19	AB	2,85	5,52	19,5	230		
$\zeta$ UMa	13 23,9	54 56	AB	2,23	3,88	14,6	154		
$\zeta$ UMa	13 23,9	54 56	AC	2,23	4,01	707,7	72		
$\zeta$ UMa	13 23,9	54 56	AD	2,23	7,62	492,8	102		
3 Cen	13 51,8	-33 00		4,50	5,97	7,8	105		
$\pi$ Boo	14 40,7	16 25	AB	4,88	5,79	5,4	113		
$\epsilon$ Boo	14 45,0	27 04	AB	2,58	4,81	2,8	347		
$\alpha$ Lib	14 50,9	-16 03	AB	2,74	5,19	231,1	314		
$\delta$ Ser	15 34,8	10 32	AB	4,17	5,16	4,0	172*		
$\zeta^2$ CrB	15 39,4	36 38		4,96	5,91	6,3	306		
$\eta$ Lup	16 00,1	-38 24	AB	3,37	7,50	15,0	19		
$\beta$ Sco	16 05,4	-19 48	AC	2,59	4,52	13,4	20		
$\beta$ Sco	16 05,4	-19 48	AD	2,62	7,50	518,2	30		
$\nu$ Sco	16 12,0	-19 28	AC	4,35	6,60	41,3	336		
$\epsilon$ Nor	16 27,2	-47 33		4,51	6,12	22,9	334		
$\alpha$ Sco	16 29,4	-26 26		0,96	5,40	2,6	277*		
$\alpha$ Her	17 14,6	14 23	AB	3,48	5,40	4,6	103*		
$\rho$ Her	17 23,7	37 09	AB	4,50	5,40	4,1	321		
HR 6516	17 30,4	-01 04	AD	3,82	5,50	16,9	317		
$\nu$ Dra	17 32,2	55 11		4,87	4,90	62,1	311		
$\theta$ Sco	17 37,3	-43 00		1,97	5,36	6,5	315		
$\psi$ Dra	17 41,9	72 09	AB	4,60	5,59	29,6	17*		
95 Her	18 01,5	21 36		4,85	5,20	6,4	257		
70 Oph	18 05,5	02 30	AB	4,22	6,17	6,6	123*		
$\epsilon$ Lyr	18 44,3	39 40	AB,CD	4,67	4,56	209,5	172		
$\zeta$ Lyr	18 44,8	37 36	AD	4,34	5,62	43,7	150		
$\beta$ Lyr	18 50,1	33 22	AB	3,63	6,69	45,7	149		
$\theta$ Ser	18 56,2	04 12	AB	4,59	4,93	22,4	106		
$\alpha$ Vul	19 28,7	24 40		4,61	5,93	427,7	28		
$\beta$ Cyg	19 30,7	27 58	AB	3,19	4,68	35,2	54		
$\delta$ Cyg	19 45,0	45 08	AB	2,89	6,27	2,8	216*		
$\epsilon$ Dra	19 48,2	70 16		4,01	6,87	3,2	21		
o Cyg	20 13,6	46 44	AC	3,93	6,97	108,6	173		
o Cyg	20 13,6	46 44	AD	3,93	4,83	336,7	322		
$\alpha$ Cap	20 18,1	-12 33	AE	3,66	4,34	381,2	290		
$\beta$ Cap	20 21,0	-14 47	AB	3,15	6,08	205,4	267		
$\gamma$ Del	20 46,7	16 07	AB	4,36	5,03	8,9	265*		
$\gamma$ Equ	21 10,3	10 08	AD	4,70	6,06	335,2	152		
$\xi$ Cep	22 03,8	64 38	AB	4,45	6,40	8,4	273*		
$\zeta^2$ Aqr	22 28,8	00 01	AB	4,34	4,49	2,4	159		
$\delta$ Cep	22 29,2	58 25	AC	4,21	6,11	41,0	191		

## 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  $\gamma$  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 ( $\beta$  Cephei =  $\beta$  Canis Majoris,  $\delta$  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  $\alpha$  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 distinguen tres tipos de estrellas variables eclipsantes: Algol,  $\beta$  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 caída sobre la estrella compacta, este material emite rayos X. Los que son capturados por la otra estrella dan lugar a la emisión 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 estudiadas 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 ( $\beta$  Per),  $\beta$  Lyr y RR Lyr. Los instantes de mínimo de las variables eclipsantes prototipo  $\beta$  Per y  $\beta$  Lyr pueden encontrarse en la página 276. Entre las de largo periodo se puede empezar por algunas de las estrellas Mira más brillantes, como son Mira (*o* Cet), R Leo y  $\chi$  Cyg, cuyos instantes de máximo para este año vienen dados en la tabla de la página 277.

## Estrellas variables de otros tipos

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magnitud máx. mín.		periodo (días)	tipo
TV Psc	00 28	+17 24	4,7	5,4	70	Semirregular
$\gamma$ Cas	00 57	+60 43	1,6	3,0		$\gamma$ Cassiopeiae
RX And	01 05	+41 18	10,3	13,6	14,1	Z Camelopardalis
$\zeta$ 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"
$\rho$ Per	03 05	+38 50	3,3	4,4	50	Semirregular
$\beta$ 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		$\gamma$ Cassiopeiae
$\lambda$ 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
$\varepsilon$ Aur	05 02	+43 49	2,9	3,8	9890	Algol
$\zeta$ 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
$\beta$ Dor	05 34	-62 29	3,5	4,1	9,84	$\delta$ Cephei
T Ori	05 36	-05 29	9,5	12,6		T Orionis
$\alpha$ Ori	05 55	+07 24	0,4	1,3	2110	Semirregular
$\delta$ Pic	06 10	-54 58	4,7	4,9	1,673	$\beta$ Lyrae
$\eta$ Gem	06 15	+22 30	3,2	3,9	233	Semirregular
RT Aur	06 29	+30 30	5,0	5,8	3,728	$\delta$ Cephei
$\zeta$ Gem	07 04	+20 34	3,7	4,2	10,15	$\delta$ Cephei
EW CMa	07 14	-26 21	4,4	4,8		$\gamma$ 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	$\beta$ Lyrae
FW CMa	07 25	-16 12	5,0	5,5		$\gamma$ 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	$\beta$ Lyrae
MX Pup	08 14	-35 54	4,6	4,9		$\gamma$ 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	$\delta$ Cephei
AD Leo	10 20	+19 52	9,4	10,4		UV Ceti
$\eta$ 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
$\mu$ Cen	13 50	-42 28	2,9	3,5		$\gamma$ Cassiopeiae
$\delta$ 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	$\alpha_{2000}$ (h m)	$\delta_{2000}$ (° ')	magnitud máx. mín.		periodo (días)	tipo
$\chi$ Oph	16 27	-18 27	4,2	5,0		$\gamma$ Cassiopeiae
$\alpha$ 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
$\mu^1$ Sco	16 52	-38 03	2,8	3,1	1,44	$\beta$ Lyrae
$\alpha$ Her	17 15	+14 23	3,0	4,0		Semirregular
u Her	17 17	+33 06	4,6	5,3	2,051	$\beta$ Lyrae
X Sgr	17 48	-27 50	4,2	4,8	7,01	$\delta$ Cephei
W Sgr	18 05	-29 35	4,3	5,1	7,60	$\delta$ Cephei
$\delta$ Sct	18 42	-09 03	5,0	5,2	0,194	$\delta$ Scuti
R Sct	18 48	-05 42	4,5	8,2	140	RV Tauri
$\beta$ Lyr	18 50	+33 22	3,3	4,3	12,936	$\beta$ Lyrae
$\lambda$ Pav	18 52	-62 11	3,4	4,3		$\gamma$ Cassiopeiae
R Lyr	18 55	+43 57	3,9	5,0	46,0	Semirregular
$\kappa$ Pav	18 57	-67 14	3,9	4,8	9,09	W Virginis
$\epsilon$ 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
$\eta$ Aql	19 53	+01 00	3,5	4,4	7,177	$\delta$ 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
$\delta$ Del	20 43	+15 04	4,4	4,5	0,158	$\delta$ Scuti
T Cyg	20 47	+34 22	5,0	5,5		Irregular
V832 Cyg	21 00	+47 31	4,5	4,9		$\gamma$ 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
$\mu$ Cep	21 44	+58 47	3,4	5,1	730	Semirregular
$\epsilon$ Oct	22 20	-80 26	5,0	5,4	55	Semirregular
$\delta$ Cep	22 29	+58 25	3,5	4,4	5,366	$\delta$ Cephei
RZ Cep	22 39	+64 51	9,2	9,8	0,309	RR Lyrae
$\beta$ Gru	22 43	-46 53	2,0	2,3		Irregular
EW Lac	22 57	+48 41	5,0	5,3		$\gamma$ Cassiopeiae
$\beta$ Peg	23 04	+28 05	2,3	2,7		Irregular
$\lambda$ And	23 38	+46 28	3,7	4,0	54,2	Semirregular
$\rho$ 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  $\alpha$  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 $B_2/B_1$	razón de brillos $B_2/B_1$	diferencia de magnitudes $m_1 - m_2$
0,1	1,10	2	0,75
0,2	1,20	3	1,19
0,3	1,32	4	1,51
0,4	1,45	5	1,75
0,5	1,58	10	2,50
0,6	1,74	15	2,94
0,7	1,91	20	3,25
0,8	2,09	25	3,49
0,9	2,29	30	3,69
1,0	2,51	35	3,86
2,0	6,31	40	4,01
3,0	15,85	50	4,25
4,0	39,81	60	4,45
5,0	100,00	70	4,61
6,0	251,19	80	4,76
7,0	631	90	4,89
8,0	1585	100	5,00

**Tabla de equivalencias  
para distancias en la Vía Láctea**

paralaje anual	tiempo luz (años)	distancia		
		en parsecs	en ua	en km
1"0	3,26	1,00	21 10 <sup>4</sup>	309 10 <sup>11</sup>
0"9	3,62	1,11	23 10 <sup>4</sup>	343 10 <sup>11</sup>
0"8	4,08	1,25	26 10 <sup>4</sup>	386 10 <sup>11</sup>
0"7	4,66	1,43	29 10 <sup>4</sup>	441 10 <sup>11</sup>
0"6	5,44	1,67	34 10 <sup>4</sup>	514 10 <sup>11</sup>
0"5	6,52	2,00	41 10 <sup>4</sup>	617 10 <sup>11</sup>
0"4	8,15	2,50	52 10 <sup>4</sup>	771 10 <sup>11</sup>
0"3	10,87	3,33	69 10 <sup>4</sup>	1029 10 <sup>11</sup>
0"2	16,31	5,00	103 10 <sup>4</sup>	1543 10 <sup>11</sup>
0"1	32,62	10,00	206 10 <sup>4</sup>	3086 10 <sup>11</sup>
0"09	36,24	11,11	23 10 <sup>5</sup>	343 10 <sup>12</sup>
0"08	40,77	12,50	26 10 <sup>5</sup>	386 10 <sup>12</sup>
0"07	46,59	14,29	29 10 <sup>5</sup>	441 10 <sup>12</sup>
0"06	54,36	16,67	34 10 <sup>5</sup>	514 10 <sup>12</sup>
0"05	65,23	20,00	41 10 <sup>5</sup>	617 10 <sup>12</sup>
0"04	81,54	25,00	52 10 <sup>5</sup>	771 10 <sup>12</sup>
0"03	108,72	33,33	69 10 <sup>5</sup>	1029 10 <sup>12</sup>
0"02	163,08	50,00	103 10 <sup>5</sup>	1543 10 <sup>12</sup>
0"01	326,16	100,00	206 10 <sup>5</sup>	3086 10 <sup>12</sup>
0"009	362,4	111,1	23 10 <sup>6</sup>	343 10 <sup>13</sup>
0"008	407,7	125,0	26 10 <sup>6</sup>	386 10 <sup>13</sup>
0"007	465,9	142,9	29 10 <sup>6</sup>	441 10 <sup>13</sup>
0"006	543,6	166,7	34 10 <sup>6</sup>	514 10 <sup>13</sup>
0"005	652,3	200,0	41 10 <sup>6</sup>	617 10 <sup>13</sup>
0"004	815,4	250,0	52 10 <sup>6</sup>	771 10 <sup>13</sup>
0"003	1087,2	333,3	69 10 <sup>6</sup>	1029 10 <sup>13</sup>
0"002	1630,8	500,0	103 10 <sup>6</sup>	1543 10 <sup>13</sup>
0"001	3261,6	1000,0	206 10 <sup>6</sup>	3086 10 <sup>13</sup>

Equivalencias:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ parsec (pc)} &= 3,2615 \text{ 6378 años luz} = 206 \text{ 265 ua} \\
 &= 3,085 \text{ 678 } 10^{13} \text{ km} = 3,085 \text{ 678 } 10^{16} \text{ m} \\
 1 \text{ año luz} &= 0,3066 \text{ 0139 parsecs} = 63 \text{ 241 ua} \\
 &= 9,4607 \text{ 3047 } 10^{12} \text{ km} = 9,4607 \text{ 3047 } 10^{15} \text{ m} \\
 1 \text{ ua} &= 4,8481 \text{ 3681 } 10^{-6} \text{ pc} = 1,5812 \text{ 5074 } 10^{-5} \text{ años luz} \\
 &= 1,4959 \text{ 7871 } 10^8 \text{ km} = 1,4959 \text{ 7871 } 10^{11} \text{ m} \\
 1 \text{ km} &= 3,2407 \text{ 7929 } 10^{-14} \text{ pc} = 1,0570 \text{ 0083 } 10^{-13} \text{ años luz} \\
 &= 6,6845 \text{ 8712 } 10^{-9} \text{ ua}
 \end{aligned}$$

# OTROS OBJETOS DE LA VÍA LÁCTEA

La Vía Láctea  
Cúmulos estelares  
Nebulosas  
Objetos difusos de Messier

Unidades:

1 $\mathcal{M}_{\odot}$	1,989 $10^{30}$ kg
1 $\mathcal{L}_{\odot}$	3,826 $10^{26}$ W
1 pc	3,0857 $10^{16}$ m
1 kpc	3,0857 $10^{19}$ m

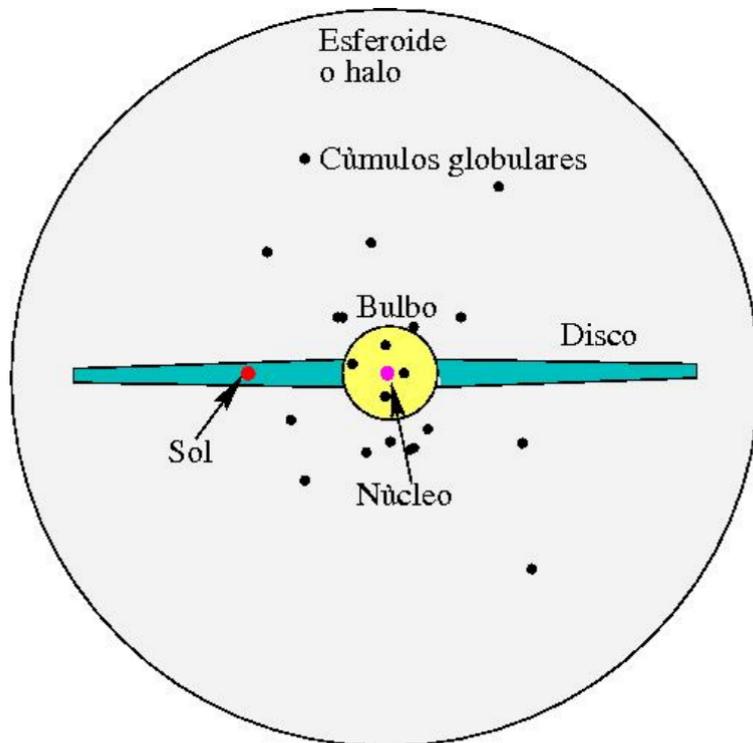
## La Vía Láctea

Características globales de la galaxia:

tipo morfológico	SBbc
masa incluyendo el halo invisible	$\sim 10^{12} \mathcal{M}_{\odot}$
masa excluyendo el halo invisible	$\sim 10^{11} \mathcal{M}_{\odot}$
diámetro del halo gaseoso	100 kpc
dirección del polo norte galáctico	$\alpha = 12^{\text{h}}51^{\text{m}}26^{\text{s}}$ , $\delta = +27^{\circ}07'42''$
velocidad respecto del fondo de microondas	$\sim 600 \text{ km s}^{-1}$
luminosidad en banda V	$1,4 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
luminosidad en banda B	$2,3 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
luminosidad infrarroja (4 – 100 $\mu\text{m}$ )	$1,2 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
luminosidad bolométrica	$3,6 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
magnitud absoluta	-20,9
módulo de distancia	14,51
número de estrellas	$> 2 \cdot 10^{11}$
<b>Núcleo:</b>	
masa interior a 1 pc (3,26 años luz)	$3 \cdot 10^6 \mathcal{M}_{\odot}$
<b>Bulbo:</b>	
masa	$10^{10} \mathcal{M}_{\odot}$
diámetro	2 kpc
luminosidad en banda B	$0,2 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
<b>Disco:</b>	
masa	$6 \cdot 10^{10} \mathcal{M}_{\odot}$
diámetro	23–30 kpc
longitud de escala	3,5 kpc
luminosidad en banda V	$1,2 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
ritmo de formación de estrellas	$\sim 3 \mathcal{M}_{\odot}$ por año
masa de gas molecular	$2,5 \cdot 10^9 \mathcal{M}_{\odot}$
masa de gas atómico	$3,0 \cdot 10^9 \mathcal{M}_{\odot}$
periodo de rotación de la espiral	$\sim 50 \cdot 10^6$ años
periodo de rotación de la barra	$\sim 17 \cdot 10^6$ años
<b>Esferoide o halo:</b>	
masa	$2\text{--}10 \cdot 10^9 \mathcal{M}_{\odot}$
diámetro	80 kpc
longitud de escala	2,9 kpc
luminosidad en banda V	$0,2 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
luminosidad en banda B	$0,2 \cdot 10^{10} \mathcal{L}_{\odot}$
edad de la estrella más vieja	$13,2 \cdot 10^9$ años

Características de la galaxia en las proximidades del Sol:

velocidad de traslación	$220 \text{ km s}^{-1}$
tiempo necesario para dar una vuelta	240 millones de años
dirección del centro galáctico (J2000)	$\alpha = 17^{\text{h}}45^{\text{m}}37^{\text{s}}$ , $\delta = -28^{\circ}56'10''$
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	$0,044 \mathcal{M}_{\odot} \text{ pc}^{-3}$
densidad total de materia	$0,15\text{--}0,18 \mathcal{M}_{\odot} \text{ pc}^{-3}$
brillo superficial	$15 \mathcal{L}_{\odot} \text{ pc}^{-1}$
metalicidad, $Z$	0,02
velocidad de escape	$\sim 550 \text{ km s}^{-1}$



Esquema de perfil de la galaxia, donde se identifican sus principales componentes. Los tamaños no están a escala.

## Cúmulos estelares

Nuestra galaxia contiene numerosos grupos de estrellas que se denominan *cúmulos estelares* y se suelen dividir en dos grupos:

- *cúmulos abiertos o galácticos*: se encuentran en el disco galáctico, contienen algunos centenares de estrellas en una distribución a menudo irregular, suelen ser jóvenes ( $< 10^8$  años) y se estima que hay decenas de miles de ellos en la Vía Láctea.
- *cúmulos globulares*: se encuentran en el halo galáctico, contienen entre  $10^5$  y  $10^7$  estrellas en una distribución esférica, suelen ser muy viejos ( $\sim 10^{10}$  años) y se estima que hay más de 160 en la Vía Láctea.

### Propiedades medias de los cúmulos estelares

	abiertos	globulares
diámetro (en parsecs)	4	20
masa (en $\mathcal{M}_{\odot}$ )	250	$6 \cdot 10^5$
densidad central (en $\mathcal{M}_{\odot} \text{pc}^{-3}$ )	$\sim 10^2$	$\sim 10^4$
velocidad de dispersión (en $\text{km s}^{-1}$ )	1	7
tiempo de vida/edad (en años)	$2 \cdot 10^8$	$10^{10}$

### Cúmulos globulares

M	NGC	const.	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn. $V_{total}$	tamaño ( <sup>'</sup> )	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	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn. <i>V</i> <sub>total</sub>	tama. ( <sup>'</sup> )	comentarios
	869	02 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 0	+57 10	5,3	30	h Per, junto a NGC884
34	1039	02 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 0	+42 47	5,2	35	en Perseus
	Perseo	03 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 0	+48 36	1,2	190	$\alpha$ Per, Melotte 20
45	Pléyades	03 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 1	+24 08	1,2	110	el mejor conocido
	Híades	04 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 0	+15 38	0,5	330	en Taurus
38	1912	05 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 6	+35 50	6,4	21	en Auriga
	1976/80	05 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 4	-05 23	2,5	50	<i>El Trapecio</i> , joven
36	1960	05 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 1	+34 08	6,0	12	en Auriga
	Berk 21	05 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 7	+21 47	1,1	6	en Taurus
37	2099	05 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 4	+32 32	5,6	23	en Auriga
35	2168	06 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 8	+24 21	5,1	28	en Gemini
	2232	06 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 5	-04 45	3,9	30	en Monoceros
	2244	06 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 4	+04 52	4,8	23	en neb. <i>Roseta</i> , joven
	2264	06 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 0	+09 53	3,9	20	S Mon
41	2287	06 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 1	-20 44	4,5	38	en Canis Major
50	2323	07 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 0	-08 21	5,9	16	en Monoceros
	2362	07 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 8	-24 56	4,1	8	$\tau$ CMa
47	2422	07 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 6	-14 30	4,4	30	en Puppis
46	2437	07 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 8	-14 49	6,1	27	en Puppis
	2451	07 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 4	-37 58	2,8	45	en Puppis
44	2632	08 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 1	+20 00	3,1	95	Praesepe, en Cancer
	IC2395	08 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 0	-48 11	4,6	7	en Vela
67	2682	08 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 5	+11 42	6,9	30	en Cancer
	Tr 16	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 2	-59 42	5,0	10	$\eta$ Car y nebulosa
	Coma	12 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> 1	+26 06	1,8	300	disperso, Melotte 111
	4755	12 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 6	-60 20	4,2	10	$\kappa$ Cru, <i>El Joyero</i>
	6231	16 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 0	-41 48	2,6	14	supergig. O, WR; en Sco
6	6405	17 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 1	-32 13	4,2	14	en Scorpius
	IC4665	17 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 7	+05 44	4,2	40	en Ophiuchus
7	6475	17 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 9	-34 48	3,3	80	en Scorpius
23	6494	17 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 9	-19 01	5,5	27	en Scorpius
16	6611	18 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 9	-13 47	6,0	6	en Serpens, +nebulosa
	6633	18 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 6	+06 34	4,6	27	en Ophiuchus
25	IC4725	18 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 7	-19 15	4,6	32	cefeida U Sgr
	IC4756	18 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 3	+05 27	4,6	50	en Serpens
11	6705	18 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 1	-06 17	5,8	13	muy rico, en Scutum
	Steph 1	18 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 5	+36 55	3,8	20	en Lyra
	Col 399	19 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> 4	+20 11	3,6	60	en Vulpecula
	6819	19 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 3	+40 11	7,3	5	en Cygnus
	IC1396	21 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup> 9	+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 vacío sino que está ocupado por *gas* en diversas fases (ionizado, neutro en forma atómica o molecular) y condiciones físicas (frío, caliente, muy caliente; difuso, denso) que constituye el denominado *medio interestelar*. La *materia interestelar* también contiene pequeños *granos de polvo*, de diversa composición (grafito, silicatos, carbonatos, ...), que constituye el 1% en masa y se hallan bien mezclados con el gas. El medio interestelar está también constituido por *rayos cósmicos* (partículas subatómicas de elevada energía) y *campos magnéticos*.

En el medio interestelar destacan una serie de objetos, que se distinguen por representar diversas fases del intercambio de materia y energía que tiene lugar entre las estrellas y el medio circundante. Las estrellas nacen en nubes moleculares, objetos densos y fríos. Las estrellas de mayor masa producen nebulosas difusas, brillantes en óptico y en el continuo radio. Dependiendo del tipo de estrella de que se trate y de la etapa de su vida (inicial, final) puede dar lugar a varios tipos de nebulosas: nebulosas de emisión (o regiones HII), nebulosas de reflexión, nebulosas planetarias y remanentes (o restos) de supernova.

### Nebulosas de emisión

Son nebulosas de hidrógeno que es ionizado (y se designa por  $H^+$  o HII) por el intenso flujo de radiación ultravioleta procedente de estrellas de tipo O (muy calientes). Estas estrellas, muy masivas, evolucionan muy rápidamente actuando sobre la nube molecular en la que nacen, en el inicio de sus “cortas” vidas. El gas en estas nebulosas tiene una temperatura de  $10^4$  K y una densidad típica de 1000 partículas por  $cm^3$ . Se caracterizan por su color rojo cuando se observan en el óptico, debido a la intensa radiación de la línea  $H\alpha$  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 Vulpécua (M27), neb. anular de Lira (M57), neb. plan. de Perseo (M76), neb. plan. de la Osa Mayor (M97).
- *Remanentes (restos) de supernova:* nebulosa del Cangrejo (M1).

Además de estos objetos, también presentan nebulosidades objetos tales como las nebulosas preplanetarias y las estrellas Wolf-Rayet (NGC 2359 es un bello ejemplo).

## Nubes moleculares

Tanto las nebulosas que emiten luz como las que la reflejan son manifestaciones visibles de otros objetos que no emiten luz a longitudes de onda ópticas: las nubes moleculares. Éstas son agregados más o menos amorfos (como lo son las nubes en la atmósfera terrestre) de gas compuesto predominantemente por moléculas, siendo la más abundante la de hidrógeno. Contienen además pequeñas partículas sólidas, llamadas *granos de polvo*, que absorben la luz visible. Aunque sus características irregulares no permiten una clasificación sencilla, pueden distinguirse los siguientes tipos:

- *Nubes moleculares gigantes*: alcanzan un tamaño de decenas de parsecs y una masa de hasta  $10^6 \mathcal{M}_{\odot}$ , por lo que constituyen los objetos de mayor masa de nuestra galaxia. En su interior se forman tanto estrellas muy masivas como poco masivas, normalmente en cúmulos abiertos, los cuales pueden llegar a tener varios miles de estrellas. Cuando éstas ionizan el gas molecular dan lugar a nebulosas de emisión. Un ejemplo cercano es la nube molecular asociada a la nebulosa de Orión.
- *Nubes oscuras*: Son menos masivas que las gigantes ( $\sim 10^4 \mathcal{M}_{\odot}$ ) y sólo forman estrellas de baja masa. Normalmente son filamentosas y su nombre se debe a que las más cercanas, al bloquear la luz de las estrellas lejanas, aparecen en las imágenes ópticas como “huecos” o regiones oscuras del cielo. La nebulosa de la cabeza de Caballo, situada en Orión, es un ejemplo de un fragmento de nube oscura.
- *Glóbulos*: Son menores que las nubes oscuras (su masa típica es de decenas de  $\mathcal{M}_{\odot}$ ) y suelen tener formas más regulares, siendo en algunos casos casi esféricos. Dan lugar a estrellas individuales o pequeños grupos de estrellas de baja masa.

## Nebulosas de emisión brillantes

M	NGC	nombre propio	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	comentario
42/43	1976/82	gran complejo de nebulosas en Orión	5 35	-5 20	brillantes, una nebulosa rodea $\theta$ Ori, incluye el joven cúmulo del <i>Trapezio</i>
	IC 434		5 41	-2 24	débil neb., se extiende 1° al sur de $\theta$ Ori, incluye peq. neb. oscura de Cabeza de Caballo
	2237-9/46	<i>Roseta</i>	6 32	4 52	en Monoceros, débil pero extensa (úse pocos aumentos)
20	6514	<i>Trífida</i>	18 03	-23 02	a 1,5 de la nebulosa <i>Laguna</i> , pueden usarse bastantes aumentos
8	6523	<i>Laguna</i>	18 04	-24 23	visible con pequeños telescopios, cúm. ab. NGC 6530 al este
17	6618	<i>Omega</i>	18 21	-16 11	parcialmente visible con buenos prismáticos, úsense pocos aumentos
16	6611	<i>Aguila</i>	18 19	-13 47	a unos 2° de la neb. <i>Omega</i> , débil, incluye un cúmulo abierto

También son conocidas como *regiones III*.

## Nebulosas por reflexión brillantes

M	NGC	situación	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	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 $\beta$ Eri	5 07	-3 21	alargada (8'), tiene unas diez estrellas embebidas
78	2068	en Orión	5 47	0 03	a 2,5 de $\zeta$ Ori, hacia Betelgeuse
	7023	en Cepheus	21 01	68 10	6° al NNO de $\alpha$ Cep
	7129	en Cepheus	21 41	66 06	4° al NNE de $\alpha$ Cep, incluye un pequeño cúmulo estelar

## Restos de supernova brillantes

NGC	situación	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	comentario
1952 (M1)	neb. del <i>Cangrejo</i> , Taurus	5 34	22 01	1,3 al NO de $\zeta$ Tau, de 7' x 5', visible incluso con pequeños telescopios
IC 443	en Gemini	6 17	22 47	1,5 al oeste de $\mu$ Gem
6992/60/79	neb. del <i>Velo</i> , en Cygnus	20 50	31 30	gran arco de unos 3° de diámetro, entre $\epsilon$ y $\zeta$ Cyg

## Nebulosas planetarias brillantes

M	NGC	nombre popular	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	situación, tamaño y magnitud visual total
76	650-1		1 42	51 34	en Perseus, 1',1, muy débil
	2392	<i>Cara de Payaso</i>	7 29	20 54	2° al E de $\delta$ Gem, 0',3, V=8,3
97	3587	<i>Buho, Esquimal</i>	11 15	55 01	2° al E de $\beta$ UMa, 3',3, débil
	6543	<i>Ojos de Gato</i>	17 59	66 37	5° al E de $\delta$ Dra, 0',3, V=8,8
57	6720	<i>Anillo</i>	18 54	33 02	entre $\beta$ y $\gamma$ Lyra, 1',2, V=9,0
27	6853	<i>Pesas (Dumb-bell)</i>	19 59	22 43	en Vulpecula, ~7', V=7,6, la mejor
	7009	<i>Saturno</i>	21 04	-11 23	en Aquarius, oval ~0',5, V=8,3
	7027		21 07	42 14	en Cygnus, 9° al SE de neb. Norteamérica, 0',2, débil
	7293	<i>Hélice</i>	22 30	-20 48	en Aquarius, entre $\alpha$ PsA y $\delta$ Cap, 16', V=6,5, la mayor

## Épocas de observación

La selección de los objetos a observar en una noche dada se puede realizar a partir de la ascensión recta ( $\alpha$ ) de estrellas, cúmulos, nebulosas o galaxias. A continuación se indican los rangos aproximados de ascensión recta adecuados en distintas épocas del año.

Primavera	$\alpha$ entre 9 <sup>h</sup> y 15 <sup>h</sup>
Verano	$\alpha$ entre 15 <sup>h</sup> y 21 <sup>h</sup>
Otoño	$\alpha$ entre 21 <sup>h</sup> y 3 <sup>h</sup>
Invierno	$\alpha$ entre 3 <sup>h</sup> y 9 <sup>h</sup>

## Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	$\alpha_{2000}$ (h m)	$\delta_{2000}$ (° ')	magn.	tama. (')	tipo	constelación
1	1952	5 34,5	+22 01	8,4	5	n.d.	Tau
2	7089	21 33,5	-00 49	6,5	13	c.g.	Aqr
3	5272	13 42,2	+28 23	6,4	16	c.g.	CVn
4	6121	16 23,6	-26 32	5,9	26	c.g.	Sco
5	5904	15 18,6	+02 05	5,8	17	c.g.	Ser
6	6405	17 40,1	-32 13	4,2	15	c.a.	Sco
7	6475	17 53,9	-34 49	3,3	80	c.a.	Sco
8	6523	18 03,8	-24 23	5,8	60	n.d.	Sgr
9	6333	17 19,2	-18 31	7,9	9	c.g.	Oph
10	6254	16 57,1	-04 06	6,6	15	c.g.	Oph
11	6705	18 51,1	-06 16	5,8	14	c.a.	Sct
12	6218	16 47,2	-01 57	6,6	14	c.g.	Oph
13	6205	16 41,7	+36 28	5,9	17	c.g.	Her
14	6402	17 37,6	-03 15	7,6	12	c.g.	Oph
15	7078	21 30,0	+12 10	6,4	12	c.g.	Peg
16	6611	18 18,8	-13 47	6,0	7	c.a.	Ser
17	6618	18 20,8	-16 11	7	41	n.d.	Sgr
18	6613	18 19,9	-17 08	6,9	9	c.a.	Sgr
19	6273	17 02,6	-26 16	7,2	14	c.g.	Oph
20	6514	18 02,6	-23 02	8,5	28	n.d.	Sgr
21	6531	18 04,6	-22 30	5,9	13	c.a.	Sgr
22	6656	18 36,4	-23 54	5,1	24	c.g.	Sgr
23	6494	17 56,8	-19 01	5,5	27	c.a.	Sgr
24	IC4715	18 16,9	-18 29	4,5	90		Sgr
25	IC4725	18 31,6	-19 15	4,6	32	c.a.	Sgr
26	6694	18 45,2	-09 24	8,0	15	c.a.	Sct
27	6853	19 59,6	+22 43	8,1	6	n.p.	Vul
28	6626	18 24,5	-24 52	6,9	11	c.g.	Sgr
29	6913	20 23,9	+38 32	6,6	7	c.a.	Cyg
30	7099	21 40,4	-23 11	7,5	11	c.g.	Cap
31	224	0 42,7	+41 16	3,4	106	g.s.	And
32	221	0 42,7	+40 52	8,2	7	g.e.	And
33	598	1 33,9	+30 39	5,7	49	g.s.	Tri
34	1039	2 42,0	+42 47	5,2	35	c.a.	Per
35	2168	6 08,9	+24 20	5,1	28	c.a.	Gem
36	1960	5 36,1	+34 08	6,0	12	c.a.	Aur
37	2099	5 52,4	+32 33	5,6	24	c.a.	Aur
38	1912	5 28,7	+35 50	6,4	21	c.a.	Aur

**Tipo:** c.a.: cúmulo abierto, c.g.: cúmulo globular, g.e.: galaxia elíptica, g.s.: galaxia espiral, n.d.: nebulosa difusa, n.p.: nebulosa planetaria.

## Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	$\alpha_{2000}$ (h m)	$\delta_{2000}$ (° ')	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	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn.	tama. ( <sup>'</sup> )	tipo	constelación
77	1068	2 42,7	-00 01	8,8	6	g.s.	Cet
78	2068	5 46,7	+00 03	8	7	n.d.	Ori
79	1904	5 24,5	-24 33	8,0	9	c.g.	Lep
80	6093	16 17,0	-22 59	7,2	9	c.g.	Sco
81	3031	9 55,6	+69 04	6,8	19	g.s.	UMa
82	3034	9 55,8	+69 41	8,4	7	g.i.	UMa
83	5236	13 37,0	-29 52	7,6	10	g.s.	Hya
84	4374	12 25,1	+12 53	9,3	4	g.e.	Vir
85	4382	12 25,4	+18 11	9,2	6	g.e.	Com
86	4406	12 26,2	+12 57	9,2	6	g.e.	Vir
87	4486	12 30,8	+12 24	8,6	7	g.e.	Vir
88	4501	12 32,0	+14 25	9,5	5	g.s.	Com
89	4552	12 35,7	+12 33	9,8	4	g.e.	Vir
90	4569	12 36,8	+13 10	9,5	7	g.s.	Vir
91	4548	12 35,4	+14 30	10,2	4	g.s.	Com
92	6341	17 17,1	+43 08	6,5	11	c.g.	Her
93	2447	7 44,6	-23 52	6,2	22	c.a.	Pup
94	4736	12 50,9	+41 07	8,1	10	g.s.	CVn
95	3351	10 44,0	+11 42	9,7	6	g.s.	Leo
96	3368	10 46,8	+11 49	9,2	6	g.s.	Leo
97	3587	11 14,8	+55 01	11,2	3	n.p.	UMa
98	4192	12 13,8	+14 54	10,1	5	g.s.	Com
99	4254	12 18,8	+14 25	9,8	5	g.s.	Com
100	4321	12 22,9	+15 49	9,4	6	g.s.	Com
101	5457	14 03,2	+54 21	7,7	26	g.s.	UMa
102							
103	581	1 33,2	+60 42	7,4	6	c.a.	Cas
104	4594	12 40,0	-11 37	8,3	6	g.s.	Vir
105	3379	10 47,8	+12 35	9,3	4	g.e.	Leo
106	4258	12 19,0	+47 18	8,3	12	g.s.	CVn
107	6171	16 32,5	-13 03	8,1	10	c.g.	Oph
108	3556	11 11,5	+55 40	10,0	4	g.s.	UMa
109	3992	11 57,6	+53 23	9,8	6	g.s.	UMa
110	205	0 40,4	+41 41	8,0	13	g.e.	And

**Tipo:** c.a.: cúmulo abierto, c.g.: cúmulo globular, g.e.: galaxia elíptica, g.s.: galaxia espiral, n.d.: nebulosa difusa, n.p.: nebulosa planetaria.

M40 corresponde a la estrella doble HD 238107/8 de la Osa Mayor.

M102 puede corresponder a una observación duplicada de M101 aunque también se ha sugerido que podría tratarse de la galaxia espiral NGC 5866.



# OBJETOS EXTRAGALÁCTICOS

Galaxias del Grupo Local  
Galaxias con nombre propio  
Galaxias más brillantes  
Cuásares y otros objetos lejanos  
Cúmulos de galaxias  
Tabla comparativa de distancias extragalácticas  
Los objetos más lejanos

Unidades:

1 $\mathcal{M}_{\odot}$	$1,9885 \cdot 10^{30}$ kg
1 $\mathcal{L}_{\odot}$	$3,826 \cdot 10^{26}$ W
1 kpc	$10^3$ parsecs = 3 262 años luz = $3,0857 \cdot 10^{19}$ m
1 Mpc	$10^6$ parsecs = 3,26 $10^6$ años luz = $3,0857 \cdot 10^{22}$ m
1 Gpc	$10^9$ parsecs = 3,26 $10^9$ años luz = $3,0857 \cdot 10^{25}$ m

## Introducción

El *universo observable* tal como lo conocemos hoy está compuesto por *galaxias*, que se agrupan en *cúmulos* y éstos, a su vez, en *supercúmulos*. Se observa mediante la detección de la radiación electromagnética (luz visible, ondas de radio, etc) que los astros y la materia interestelar e intergaláctica emiten, absorben o dispersan. Las discrepancias encontradas a lo largo del siglo pasado entre la cantidad de materia medida de este modo (materia "luminosa") y la deducida por los efectos gravitatorios a gran escala ha llevado a postular la existencia de una *materia oscura* adicional de naturaleza aún desconocida. El descubrimiento a finales del siglo XX de aceleración en la *expansión del universo* se trata de explicar mediante la presencia de una hipotética forma de energía, llamada *energía oscura*, que actuaría como una fuerza repulsiva. Su naturaleza es tema de especulación.

En la década de 1920 se demostró que objetos denominados comúnmente nebulosas, entre ellas la de Andrómeda, eran realmente galaxias independientes de la Vía Láctea. Denominamos *galaxia* a un gran conjunto de estrellas (más de diez millones) y materia interestelar (nubes de gas y polvo), además de otros cuerpos menores (restos de estrellas, planetas), unido gravitatoriamente y percibido como una entidad separada, aunque no siempre independiente, en el espacio. Su centro de masas o *núcleo* galáctico es una región pequeña y compacta que contiene una gran densidad de estrellas y otros objetos. En ocasiones en él se encuentra un agujero negro supermasivo (con una masa entre  $10^6$  y  $10^{10} M_{\odot}$ ), pudiendo emitir una parte considerable de la energía total de la galaxia. En tal caso se habla de un *núcleo activo*, que puede manifestarse en ondas de radio (radiogalaxia) o en todo el espectro electromagnético (cuásar, blazar, galaxia de Seyfert). Se llama *galaxia activa* a aquella que contiene un núcleo activo.

Se denominan galaxias con *brote estelar* aquellas en que el ritmo de nacimiento de estrellas es muy superior al de una galaxia normal de tamaño similar. Entre ellas se encuentran las *galaxias infrarrojas* luminosas y ultraluminosas descubiertas en la década de 1980.

Las galaxias se caracterizan por su número de estrellas (las enanas tienen unos miles de millones, mientras que las supergigantes pueden superar un billón), su tamaño (entre cientos y millones de años luz de diámetro), su luminosidad (entre  $10^5$  y  $10^{14} L_{\odot}$ ) y su forma. Los tipos morfológicos principales se expresan, de manera simplificada, mediante:

<b>E</b>	elíptica (de E0 hasta E7)
<b>Im, Irr</b>	irregular
<b>S</b>	espiral (de 'a' a 'c') (SA, SAB, SB)
<b>S0</b>	lenticular (S0 y E8)
<b>dSph</b>	esferoidal enana
<b>d</b>	prefijo indicativo de galaxia enana
<b>B</b>	suñijo indicativo de presencia de una barra

Las galaxias se identifican por las coordenadas que dan su posición en el cielo. Catalogadas en los siglos XVIII y XIX junto con las nebulosas y cúmulos estelares, algunas aparecen en el pequeño catálogo de Ch. Messier (en él la galaxia de Andrómeda es Messier 31 o M31) y en el catálogo mucho más extenso de William, Caroline y John Herschel, que a finales del siglo XIX J.L.E. Dreyer plasmó en el Nuevo Catálogo General de Nebulosas y Cúmulos de Estrellas (la galaxia de Andrómeda es NGC 224). Otros catálogos muy utilizados en la denominación de galaxias son el Atlas de Galaxias Peculiares de H. Arp, en el que abundan galaxias en interacción (Arp 220, Arp 244) y alguna radiogalaxia (como Arp 153, también conocida como Centauro A o NGC 5128), el Catálogo General de Galaxias de Uppsala (UGC) o el catálogo de galaxias enanas DDO. En los catálogos de radiofuentes publicados a partir del año 1950 también se encuentran galaxias (como 3C236) y cuásares (como 3C48 y 3C273). Los cúmulos de galaxias fueron catalogados inicialmente por G.O. Abell.

Se denomina *Grupo Local* a un grupo de varias decenas de galaxias que incluye, como miembros dominantes, la Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda (M31). Están ligadas gravitatoriamente entre sí y ocupan un volumen de unos 3 Mpc (unos 10 millones de años luz) de diámetro. Puesto de manifiesto por E. Hubble en 1936, se siguen descubriendo nuevos miembros del grupo, se determinan mejor sus distancias y su tipo morfológico, y se estudia su evolución. Incluimos una lista parcial.

Los *cúmulos de galaxias* son agrupaciones de centenares o miles de galaxias que, con un tamaño típico entre 2 y 10 megaparsecs (1 Mpc = 3,26 millones de años luz), constituyen las mayores estructuras del universo ligadas gravitatoriamente. Además de las galaxias, observaciones con telescopios de rayos X han mostrado la presencia en ellos de grandes cantidades de gas intergaláctico, a temperaturas de decenas de millones de grados. Sin embargo la masa combinada de galaxias y gas caliente no es suficiente para mantener los cúmulos ligados, con galaxias moviéndose en ellos con velocidades de hasta 1000 km/s, por lo que se supone que la mayor parte de su masa total (típicamente entre  $10^{13}$  y  $10^{15} M_{\odot}$ ) está constituida por una materia oscura de naturaleza desconocida. Se conocen miles de cúmulos, entre los cuales destacan el cúmulo de Virgo (el más cercano, descubierto como “cúmulo de nebulosas” por Messier en 1784), Norma (Abell 3627, que forma parte de la intensa anomalía gravitatoria denominada Gran Atractor) y Coma (Abell 1656, que forma parte del supercúmulo del mismo nombre).

Los cúmulos y grupos de galaxias (como el Grupo Local) se agrupan a su vez en *supercúmulos de galaxias* que, con tamaños de hasta 300 Mpc, constituyen las mayores estructuras conocidas en el universo. El Grupo Local se encuentra en el borde del supercúmulo de Virgo. Como comparación, la región del universo observable es una esfera con un radio de unos 14 000 Mpc (para el modelo cosmológico descrito más abajo).

## Galaxias del Grupo Local

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	mag. V	tamaño ( <sup>'</sup> <sup>×</sup> <sup>'</sup> )	tipo	dist. (kpc)
Andrómeda, M31	00 42,7	+41 16	3,4	185×75	SA(s)b	780
Vía Láctea	17 45,6	-28 56			SAB(s)bc	
Gran N. de Magallanes	05 23,6	-69 45	0,1	650×550	SB(s)m	48
Triángulo, M33	01 33,9	+30 39	5,7	67×42	SA(s)cd	810
M32, NGC 221	00 42,7	+40 52	8,1	11×7	E2	780
Peq. N. de Magallanes	00 52,7	-72 50	2,7	280×160	SB(s)m	61
Andrómeda VIII	00 42,3	+40 37	9,1	45×10	dSph	720
IC 1613	01 05,1	+02 08	9,2	20×19	IAB(s)m	780
M110, NGC 205	00 41,3	+41 41	8,5	20×13	E5	780
NGC 3109	10 03,1	-26 09	10,4	16×3	Ir+	1200
IC10	00 20,4	+59 18	10,3	7×6	KBm?	1100
NGC 147	00 33,2	+48 31	9,5	15×9	dE5	640
NGC 185	00 39,0	+84 20	9,2	15×13	dE3	620
NGC 6822, de Barnard	19 44,9	-14 49	9,3	16×14	IB(s)m	480
Andrómeda VI	23 51,7	+24 36	11,2	4×4	dSph	750
DDO 221, WLM	00 02,0	-15 28	10,9	12×4	IB(s)	910
Sextante A, UGCA 205	10 11,1	-04 43	11,9	6×5	Ir+	1400
Sextante B, UGC 5373	10 00,0	+05 20	11,8	5×4	Ir+	1300
Enana de Fornax	02 39,9	-34 32	8,1	12×10	dSph/E2	130
Leo I, DDO 74	10 08,5	+12 18	9,8	10×7	dE3	240
Andrómeda I	00 45,7	+38 00	13,2	3×3	dSph/E3	780
E. de Pegaso, DDO 216	23 28,6	+14 45	13,2	5×3	Im	810
Leo A, DDO 69	09 59,4	+30 45	12,9	5×3	IBm	670
Andrómeda II	01 16,4	+33 27	13,5	4×3	dSph/E0	780
Andrómeda III	00 35,4	+36 31	13,5	5×3	dSph/E2	780
Enana de Acuario	20 46,8	-12 51	13,9	2×1	Im	910
Enana de Fénix	01 51,1	-44 27	13,1	5×4	Irr	430
Enana de Máquina N.	10 04,1	-27 20	14,8	2×2	dSph/E3	1200
E. irregular de Sagitario	19 30,1	-17 42	15,5	3×2	IB(s)m	1100
Enana de la Ballena	00 26,1	-11 02	14,4		dSph/E4	750
Enana del Dragón	17 20,1	+57 55	9,9	51×31	dSph/E0	75
Enana del Escultor	01 00,0	-33 42	10,5		dSph/E3	81
Enana de Piscis, LGS 3	01 03,8	+21 53	15,4	2	Irr	810
Andrómeda IX	00 52,9	+43 12	16,2	5	dSph	780
Andrómeda V	01 10,3	+47 38	15,9		dSph	780
Andrómeda X	01 06,6	+44 48	16,1	7	dSph	780
Enana de la Osa Menor	15 08,8	+67 12	10,9	41×26	dSph/E4	64
Enana del Tucán	22 41,7	-64 25	15,7	3×1	dSph/E5	860
Leo II	11 13,5	+22 10	12,6	12×11	dSph/E0	200
Enana del Sextante	10 13,2	-01 37	12,0		dSph/E3	86
En. de Carina (Quilla)	06 14,6	-50 58	20,9	24×16	dSph/E3	97

## Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )
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	$\alpha_{2000}$ (h m)	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ}$ ')
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	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )
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
Reticulo, 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	$\alpha_{2000}$ ( $^{\text{h}} \text{ m} \text{ s}$ )	$\delta_{2000}$ ( $^{\circ} \text{ '}$ )	mag. $B_T$	tamaño ( $' \times \text{'}$ )	tipo	dist. (Mpc)
55	00 15 08	-39 13,2	8,2	25×3	Sc	3,1
205, M110	00 40 23	41 41,3	8,5	20×13	E5	0,9
221, M32	00 42 41	40 51,9	8,1	11×7	E2	0,9
224, M31	00 42 45	41 16,5	3,4	185×75	SA(s)b	0,9
247	00 47 10	-20 45,6	9,5	18×5	ScIII-IV	3,1
253	00 47 36	-25 17,4	8,1	22×6	Sc	4,2
P.N.Magall.	00 52 45	-72 49,7	2,7	280×160	SB(s)m	0,06
300	00 54 53	-37 41,2	8,7	20×10	ScIII	2,4
598, M33	01 33 53	30 39,2	5,7	67×42	SA(s)cd	0,9
628, M74	01 36 42	15 47,2	9,8	8×8	ScI	17
1068, M77	02 42 41	-00 00,9	9,6	3×2	SbII	25
1291	03 17 19	-41 06,5	9,4	5×2	SBa	15
1313	03 18 16	-66 29,9	9,4	5×3	SBCIII-IV	5,2
1316	03 22 42	-37 12,5	9,6	4×3	Sa(p)	30
G.N.Magall.	05 23 35	-69 45,4	0,1	650×550	SB(s)m	0,05
2403	07 36 54	65 35,9	8,9	16×10	ScIII	3,6
2903	09 32 10	21 29,9	9,5	11×5	ScI-III	9,4
3031, M81	09 55 34	69 04,1	7,9	16×10	SbI-II	3,6
3034, M82	09 55 54	69 40,7	9,3	7×2	Amorfa	3,6
3521	11 05 49	-00 02,0	9,6	7×2	SbII-III	13
3627, M66	11 20 15	12 59,1	9,7	8×3	SbII	12
4258, M106	12 18 57	47 18,4	8,9	20×6	SbII	10
4449	12 28 12	44 05,8	9,8	5×3	SmIV	5
4472, M49	12 29 47	07 59,8	9,3	5×4	E1/S0	22
4486, M87	12 30 50	12 23,6	9,6	3×3	E0	22
4594, M104	12 40 00	-11 37,4	9,3	7×2	Sa/b	17
4631	12 42 05	32 32,4	9,8	12×1	Sc	12
4649, M60	12 43 40	11 33,1	9,8	4×3	S0	22
4736, M94	12 50 54	41 07,1	8,9	5×4	Sab	6,9
4826, M64	12 56 45	21 41,0	9,4	8×4	SabII	7
4945	13 05 26	-49 28,0	9,6	12×2	Sc	7
5055, M63	13 15 50	42 01,7	9,3	8×3	SbcII-III	11
5128, CenA	13 25 29	-43 01,0	7,9	10×3	S0(p)	6,9
5194, M51	13 29 53	47 11,9	8,6	12×6	SbcI-II	11
5236, M83	13 37 00	-29 52,0	8,5	10×8	SBCII	6,9
5457, M101	14 03 13	54 21,0	8,2	22×22	ScI	7,6
6744	19 09 46	-63 51,3	9,2	9×9	SbcII	13
6822	19 44 57	-14 47,7	9,3	16×14	IB(s)m	0,6
6946	20 34 51	60 09,4	9,7	13×9	ScII	6,7
7793	23 57 49	-32 35,4	9,6	6×4	SdIV	4,2

1 Mpc =  $10^6$  pc =  $3,26 \cdot 10^6$  años luz =  $3,0857 \cdot 10^{19}$  km =  $3,0857 \cdot 10^{22}$  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 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 8	12°23'	asociada a la galaxia M 87, la más brillante del cúmulo de Virgo, fue la primera radiofuente extragaláctica identificada.
Cygnus A	19 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 5	40°44'	es la más intensa, considerada como prototipo.
3C236	10 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup> 0	34°54'	la más extensa, con casi 5 Mpc de longitud.
Cent A	13 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> 4	-43°02'	la más cercana, NGC 5128, Arp 135.

### Cuásares

Son objetos extragalácticos de gran luminosidad ( $M_B < -23$ ) y de apariencia estelar cuyo corrimiento al rojo es muy elevado, encontrándose entre los objetos más alejados observados. Los primeros fueron descubiertos como radiofuentes intensas. Se encuentran en el centro de galaxias masivas activas. Exploraciones en curso han permitido detectar más de 300 000 cuásares.

3C48	1 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> 7	33°10'	históricamente ligado al descubrimiento de los cuásares.
3C273	12 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 1	2°03'	el más intenso en radio, históricamente ligado al descubrimiento de los cuásares.
0957+561	10 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> 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 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 2	56°52'	una de las más luminosas en IR.
Arp 220	15 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 9	23°30'	prototipo de galaxia IR ultraluminosa.
NGC 6240	16 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 0	2°24'	prototipo de galaxia IR luminosa.

## Cúmulos de galaxias

núm. Abell	nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	diámetro ( <sup>°</sup> )	$z$
262		01 52,8	+36 08	4	0,0163
347		02 25,8	+41 52	14	0,0184
426	Perseo	03 18,6	+41 30	14	0,0179
	Eridano	03 28,0	-20 45	7	0,0052
S 373	Fornax (Horno Q.)	03 38,5	-35 27	0,1	0,0046
548		05 47,0	-25 36		0,0416
569		07 09,2	+48 37	1,3	0,0201
779		09 19,8	+33 46	1,5	0,0225
S 636	Antlia (Máq. Neumát.)	10 30,1	-35 19		0,0093
1060	Hidra	10 36,9	-27 31		0,0126
1228		11 21,5	+34 19	1,3	0,0352
1367	León	11 44,5	+19 50	5	0,0220
	Virgo	12 26,5	+12 43	10	0,0036
3526	Centauro	12 48,9	-41 18	3	0,0114
S 714		12 51,5	-26 27		0,0109
1656	Coma (Cabellera de B.)	12 59,8	+27 58	5	0,0231
3574		13 49,2	-30 17	1	0,0160
2147		16 02,3	+15 53	2	0,0350
2151	Hércules	16 05,2	+17 44	6	0,0366
2152		16 05,4	+16 26	1	0,0410
2162		16 12,5	+29 32	6	0,0322
3627	Norma (la Regla)	16 15,5	-60 54	0,3	0,0157
3656		20 00,5	-38 31		0,0190
S 851		20 09,9	-48 23		0,0100
2634		23 38,3	+27 01	6	0,0314
2666		23 50,9	+27 08	0,8	0,0268

La última columna indica el corrimiento hacia el rojo,  $z$ , definido como:  $z = (\lambda_{observada} - \lambda_{emitida}) / \lambda_{emitida}$  siendo  $\lambda$  la longitud de onda. Según este convenio, la velocidad de recesión viene dada por:

$$V_{opt} = 3 \cdot 10^5 z \quad (\text{en km s}^{-1})$$

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  $\nu$ . Por ello la velocidad de recesión se relaciona con el corrimiento al rojo,  $z$ , mediante:

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

## Supercúmulos de galaxias próximos

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> )	tamaño (Mpc)	$z$	comentarios
Laniakea	10,5	-46	135		Contiene los tres siguientes.
Virgo			33		Contiene el Grupo Local y el cúmulo de Virgo.
Hidra-Centauro	13,0	-32	45	0,014	El más cercano, contiene los cúmulos de Hidra (Abell 1060), Regla (3627) y Centauro (3526).
Pavo-Indio	20,6	-37	30	0,017	Pobre, contiene Abell 3656.
Perseo-Peces	02,5	+40	30	0,016	Contiene el cúmulo de Perseo (Abell 426).
Coma (Cab. de B.)	12,4	+24	30	0,021	Pequeño, contiene el cúmulo de Coma (Abell 1656) cuyo análisis reveló la existencia de la materia oscura y el del León (Abell 1367).
Fénix	00,9	-48	45	0,027	Pobre, en ocasiones se le llama también Escultor.
Ofiuco	17,2	-22	20	0,029	Situado al otro lado de la Vía Láctea.
Hércules (Norte)	16,4	+37	30	0,030	Dominado por el cúmulo Abell 2199, en ocasiones se le considera junto con Hércules (Sur).
León	11,1	+23	45	0,032	Pobre, contiene Abell 1228.
Hércules (Sur)	15,8	+16	45	0,037	Dominado por el rico cúmulo de Hércules (Abell 2151).
Shapley	13,4	-30	60	0,048	Es uno de los más densos, contiene más de 20 cúmulos, entre ellos el muy rico Abell 3558.

**Tabla comparativa de distancias**  
a algunas galaxias, cúasares y cúmulos seleccionados

nombre (comentario)	distancia (Mpc)			z
	angular	comóvil	luminosa	
Nube Grande de Magallanes (g. irregular, satélite de la Vía Láctea)	0,048	=	=	
Galaxia de Andrómeda (g. espiral más próxima a la Vía Láctea)	0,78	=	=	
Borde del Grupo Local	~1,5	=	=	
Centauro A (NGC 5128, radiogalaxia muy cercana)	~ 4	=	=	
Galaxia de los Perros de Caza, M51 (g. espiral, interacciona con NGC 5195)	~ 7	=	=	
Cúmulo de Virgo (la Virgen) (cúmulo de galaxias más cercano)	16,5	=	=	0,004
Cúmulo de Norma (la Regla)	68	69	70	0,016
Cúmulo de Coma (la Cabellera de B.)	99	102	104	0,023
3C48 (cuásar muy intenso en radio)	1 080	1 480	2 020	0,367
ULAS J1120+0641 (el cuásar más lejano conocido)	1 095	8 850	71 600	7,085
EGSY8p7 (la galaxia más lejana conocida)	964	9 340	90 400	8,683

1 Mpc =  $10^6$  parsec =  $3,0857 \cdot 10^{22}$  m

Para valores del corrimiento al rojo  $z$  pequeños ( $z < 0,1$ ) la distancia a galaxias o cúmulos de galaxias se obtiene aplicando la *ley de Hubble*, que relaciona la velocidad de alejamiento (recesión) con la distancia según:

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

donde  $H_0$  es la *constante de Hubble*, que tiene un valor cercano a  $68 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  cuando la distancia se expresa en megaparsecs y la velocidad  $V$  en  $\text{km s}^{-1}$ .

Para valores de  $z$  mayores la estimación de la distancia se hace más dependiente de la densidad media del Universo, parámetro mal determinado. Para asignar distancias a los objetos en la tabla anterior se ha supuesto un universo plano ( $\Omega_k = 0$ ) con un cociente entre la densidad de materia y la densidad crítica de  $\Omega_m = 0,31$  (resultados de 2015 de la misión espacial Planck). La *distancia de diámetro angular*  $D_A$  se utiliza para convertir en tamaños lineales los tamaños angulares medidos en imágenes telescópicas. La *distancia luminosa*  $D_L$  a utilizar para convertir el brillo observado en luminosidad intrínseca viene dada por:

$$D_L = D_A (1 + z)^2$$

La distancia medida con una unidad que se expande con el universo se denomina *comóvil* y se representa mediante  $D_C$  o  $\chi$ . En un universo plano

se relaciona con las distancias anteriores según:

$$D_C = D_A (1 + z) = D_L / (1 + z)$$

### **Récord de distancia**

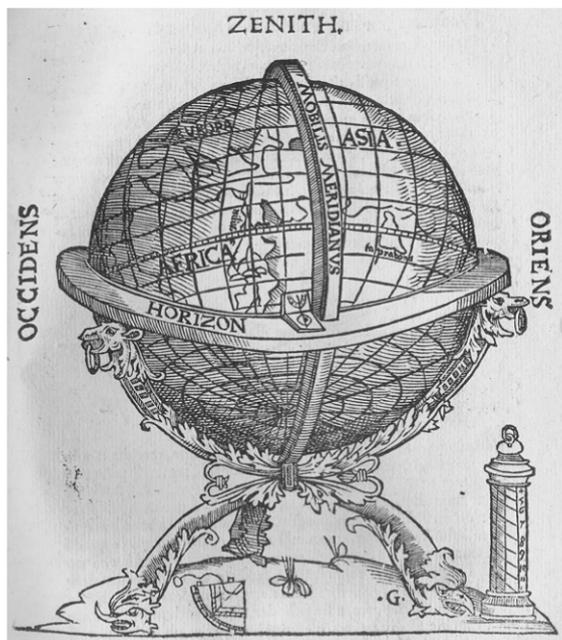
El objeto más lejano descubierto hasta el momento es la galaxia brillante GN-z11, cuyo corrimiento al rojo determinado espectroscópicamente ha dado como resultado  $z = 11,09$ , que correspondería a una distancia comóvil de 9870 Mpc y una edad cósmica de unos 400 millones de años. La galaxia fue identificada en el año 2016 por un equipo que estudiaba datos del Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey (CANDELS) del telescopio espacial Hubble y del Great Observatories Origins Deep Survey-North (GOODS-North) del telescopio espacial Spitzer.

El siguiente objeto más lejano es la galaxia MACS1149-JD1, cuyo corrimiento al rojo ha sido determinado espectroscópicamente mediante una detección de una línea de emisión de oxígeno a  $z = 9,11$ , que correspondería a cuando el universo que conocemos tenía 550 millones de años. La observación, que fue realizada gracias a ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), se efectuó entre marzo de 2016 y abril de 2017. En paralelo, el VLT (Very Large Telescope), también ubicado en Chile, detectó una señal de hidrógeno neutro proveniente de la misma galaxia.

A una distancia algo menor estaría la galaxia EGSY8p7, fue descubierta en julio del 2015 y su corrimiento al rojo ha sido determinado espectroscópicamente mediante la inesperada detección de una línea espectral del hidrógeno,  $\text{Ly}\alpha$ , a  $z = 8,863$ , correspondiente a cuando el universo que conocemos tenía sólo 575 millones de años. Sólo dos meses antes se había publicado la detección espectroscópica de un corrimiento al rojo de 7,730 para la galaxia EGS-zs8-1, que se convirtió de manera efímera en la galaxia más lejana conocida.



# LA TIERRA





# LA TIERRA

Datos físicos, geodésicos y cartográficos  
Elipsoide de referencia  
Posición geográfica de capitales de provincia  
Posición geográfica de observatorios

*Unidades:*

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_{\oplus} &= 6378,1366 \text{ km} \\ \mathcal{M}_{\oplus} &= 5,9726 \cdot 10^{24} \text{ kg} \\ G \mathcal{M}_{\oplus} &= 398\,600 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2} \end{aligned}$$

## Datos físicos, geodésicos y cartográficos

### Tamaño (IERS 2000)

Radio ecuatorial	$\mathcal{R}_{\oplus} = 6378,1366 \text{ km}$
Radio polar	$(1 - f)\mathcal{R}_{\oplus} = 6356,7519 \text{ km}$
Radio medio	6371,0004 km
Achatamiento	$f = 1/298,25642 = 0,00335282$
Excentricidad del elipsoide	$e = 0,08181930$
	$e^2 = 0,00669440$
Superficie	$510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$
cubierta por agua	$361 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (71%)
cubierta por tierra	$134 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (26%)
cubierta por hielo	$15 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (3%)
Volumen	$1,0832 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$
Distancia al centro de la Tierra a una latitud $\phi$ y una altura $h = 0$ :	

$$r = (0,9983271 + 0,0016764 \cos(2\phi) - 0,0000035 \cos(4\phi)) \mathcal{R}_{\oplus}$$

### Masa

Masa	$\mathcal{M}_{\oplus} = 5,9726 \cdot 10^{24} \text{ kg} = \mathcal{M}_{\odot}/332946$
	masa de los océanos: $\sim 2 \cdot 10^{-4} \mathcal{M}_{\oplus}$
	masa del hielo: $\sim 5 \cdot 10^{-6} \mathcal{M}_{\oplus}$
	masa de la atmósfera: $\sim 10^{-6} \mathcal{M}_{\oplus}$
Densidad media	$5,514 \text{ g cm}^{-3}$
Momento de inercia	$0,3299765 \mathcal{M}_{\oplus} \mathcal{R}_{\oplus}^2$
Constante gravitatoria	$G \mathcal{M}_{\oplus} = 398\,600,4418 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
Velocidad de escape	$11,18 \text{ km s}^{-1}$
Gravedad superficial ( $\phi = 45^\circ$ )	$9,8062 \text{ m s}^{-2}$
Gravedad en Madrid	$9,8000 \text{ m s}^{-2}$
Variación de la gravedad $g$ con la latitud $\phi$ al nivel del mar ( $h = 0$ ):	
	$g_{(h=0)} = 9,806228 - 0,025930 \cos(2\phi) + 0,000028 \cos(4\phi)$
Variación de la gravedad con la altura $h$ (en metros):	
	$g = g_{(h=0)} - 3,1 \cdot 10^{-6} h$
Momentos del campo gravitatorio:	
	$J_1 = 0$
	$J_2 = 0,0010826359$
	$J_3 = -2,54 \cdot 10^{-6}$
	$J_4 = -1,61 \cdot 10^{-6}$
	$J_5 = -0,21 \cdot 10^{-6}$
	$J_6 = 0,65 \cdot 10^{-6}$

## Atmósfera

Presión en la superficie	1 013 bar
Temperatura efectiva	255 K
Temperatura en la superficie	288 K
Altura de escala	8,5 km
Gases más abundantes (%):	$N_2$ (78,08), $O_2$ (20,95), $Ar$ (0,9), $H_2O$ (variable < 3%)
Gases menos abundantes (ppm):	$CO_2$ (403), $Ne$ (18), $O_3$ (10), $He$ (5), $CH_4$ (3), $Kr$ (1), $H_2$ (0,5), $N_2O$ (0,35), $CO$ (0,2), $Xe$ (0,09), $NO$ (< 0,01), $C_3H_8$ (0,0187), $C_2H_6$ (0,0136), $C_2H_4$ (0,0112), $C_2H_2$ (0,0087), $SO_2$ (0,0002)

## Rotación

Periodo sidéreo	$86\,164,098\,904\text{ s} = 23^h\,56^m\,4^s,098\,904$
Velocidad angular	$7,292\,115\,10\,10^{-5}\text{ rad s}^{-1} = 15,041\,0672''/\text{s}$
Velocidad de rotación en el ecuador	$465,12\text{ m s}^{-1} = 1674\text{ km h}^{-1}$
Aceleración centrífuga en el ecuador	$-0,034\text{ m s}^{-2}$
Parámetro de rotación	$q_r = 0,00345$

## Otros parámetros

Información sobre la traslación de la Tierra en su órbita, parámetros fotométricos, etc, puede encontrarse en la lista de *datos solares* en el apartado *SOL* y en las tablas de datos planetarios en el capítulo *PLANETAS*.

## Elipsoide de referencia

Para muchos efectos prácticos, muy especialmente en la Geodesia, la forma de la Tierra se ha aproximado por un elipsoide. Esta figura geométrica viene definida por dos valores (aparte de su orientación): el radio ecuatorial,  $R_e$ , y el achatamiento,  $f$ , calculándose el radio polar mediante:  $R_p = (1 - f)R_e$ . En la tabla siguiente se indican los parámetros de una serie de elipsoides que han sido propuestos y que, en algunos casos, su uso ha sido recomendado por distintas autoridades: Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU), Sistema Geodésico de Referencia (GRS), Sistema Geodésico Mundial (WGS), Servicio Internacional de la Rotación Terrestre (IERS) y otros.

año	nombre	radio ecuat. $R_e$ (m)	radio polar $R_p$ (m)	inverso del achat., $1/f$
1738	Maupertuis	6397300	6363806,283	191
1830	Airy	6377563,396	6356256,909	299,3249646
1841	Bessel	6377397,155	6356078,963	299,1528128
1860	Struve	6378298,3	6357018,2	299,73
1866	Clarke (Norteamérica)	6378206,4	6356583,8	294,9787
1880	Clarke (Africa)	6378249,145	6356514,966	293,4663
1906	Helmert	6378200	6356818	298,3
1909	Internacional (Hayford)	6378388	6356912	297
1942	Krassovsky	6378245	6356863	298,3
1964	IAU	6378160	6356775	298,25
1967	Internacional nuevo	6378157,5	6356772,2	298,2496
1967	GRS	6378160	6356774,516	298,247167427
1969	Sudamericano	6378160	6356775,719	298,25
1972	WGS	6378135	6356750,52	298,26
1976	IAU	6378140	6356755,29	298,257
1980	GRS	6378137	6356752,3141	298,257222101
1983	MERIT	6378137	6356752	298,257
1984	WGS	6378137	6356752,3	298,257223563
1989	IERS	6378136	6356751	298,257
2000	IERS	6378136,6	6356751,9	298,25642

La excentricidad del elipsoide viene dada por:

$$e = \sqrt{f(2-f)}$$

El radio  $R$  de una esfera de igual volumen que un elipsoide definido por su radio ecuatorial  $R_e$  y un achatamiento  $f$  viene dado por:

$$R = R_e \sqrt[3]{1-f}$$

La relación entre la latitud geodésica  $\phi_{gd}$  y la geocéntrica  $\phi_{gc}$  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	40075014 m
circunferencia polar	40007832 m
valor medio del grado de meridiano	111 133 m
radio de la esfera equivolumen	6371000 m

**Longitud en metros de 1° de paralelo**  
para las latitudes de España considerando el elipsoide IERS 2000

latitud, $\phi$	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 $\phi$ (°)	sobre el paralelo			sobre el meridiano		
	1'	1''	1 <sup>s</sup>	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 <sup>s</sup> sobre el paralelo	353,68 m
1'' sobre el paralelo	23,579 m

**Posición geográfica de las capitales de provincia,  
ciudades de más de 170 000 habitantes, Ceuta y Melilla**

ciudad	latitud $\phi$ ( $^{\circ}$ ' ")	longitud (+E,-O) ( $^{\circ}$ ' ")	( $^{\text{h}}$ $^{\text{m}}$ $^{\text{s}}$ )	altitud (m)
Albacete	38 59 49	01 51 17 O	-07 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	686
Alcalá de Henares	40 28 53	03 22 05 O	-13 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>	588
Alcorcón	40 21 10	03 49 38 O	-15 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	718
Alicante / Alacant	38 20 48	00 28 53 O	-01 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	7
Almería	36 50 23	02 27 59 O	-09 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	17
Avila	40 39 26	04 41 47 O	-18 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	1131
Badajoz	38 53 00	06 57 59 O	-27 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	209
Badalona	41 27 13	02 14 51 E	+08 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	24
Barcelona	41 23 07	02 10 40 E	+08 <sup>m</sup> 43 <sup>s</sup>	12
Bilbao	43 15 30	02 55 21 O	-11 <sup>m</sup> 41 <sup>s</sup>	6
Burgos	42 20 29	03 42 12 O	-14 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup>	861
Cáceres	39 28 28	06 22 11 O	-25 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	459
Cádiz	36 32 00	06 17 50 O	-25 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup>	14
Cartagena	37 36 05	00 58 51 O	-03 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	69
Castellón de la Plana	39 59 14	00 02 11 O	-9 <sup>s</sup>	29
Ceuta	35 53 22	05 18 20 O	-21 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	40
Ciudad Real	38 59 17	03 55 48 O	-15 <sup>m</sup> 43 <sup>s</sup>	626
Córdoba	37 52 51	04 46 45 O	-19 <sup>m</sup> 07 <sup>s</sup>	106
Coruña, A (La Coruña)	43 22 16	08 23 22 O	-33 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>	26
Cuenca	40 04 40	02 07 49 O	-08 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>	1001
Donostia-San Sebastián	43 19 05	01 58 49 O	-07 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	8
Elche / Elx	38 16 06	00 41 48 O	-02 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	86
Fuenlabrada	40 17 00	03 47 22 O	-15 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup>	664
Getafe	40 18 19	03 43 41 O	-14 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	559
Gijón	43 32 25	05 39 29 O	-22 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	4
Girona (Gerona)	41 59 18	02 49 37 E	+11 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	98
Granada	37 10 40	03 35 55 O	-14 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	685
Guadalajara	40 38 08	03 09 41 O	-12 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup>	685
Hospitalet de Llobregat, L'	41 21 39	02 06 00 E	+08 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	4
Huelva	37 15 41	06 56 56 O	-27 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>	26
Huesca	42 08 30	00 24 26 O	-01 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	488
Jaén	37 45 59	03 47 21 O	-15 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup>	574
Jerez de la Frontera	36 40 52	06 08 10 O	-24 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>	87
León	42 36 01	05 33 56 O	-22 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>	838
Leganés	40 19 59	03 45 55 O	-15 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup>	668
Logroño	42 28 04	02 26 39 O	-09 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	384
Lugo	43 00 38	07 33 23 O	-30 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	454
Lleida (Lérida)	41 37 07	00 37 40 E	+02 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>	222

**Posición geográfica de las capitales de provincia,  
ciudades de más de 170 000 habitantes, Ceuta y Melilla**

ciudad	latitud $\phi$ ( $^{\circ}$ ' ")	longitud (+E, -O) ( $^{\circ}$ ' ")	altitud (h m s)	altitud (m)
Madrid	40 24 35	03 41 11 O	-14 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	655
Málaga	36 43 18	04 25 07 O	-17 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>	8
Melilla	35 17 46	02 56 28 O	-11 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	15
Móstoles	40 19 29	03 51 49 O	-15 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup>	661
Murcia	37 59 09	01 07 38 O	-04 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>	42
Ourense (Orense)	42 20 15	07 51 43 O	-31 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup>	139
Oviedo	43 21 48	05 50 32 O	-23 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup>	232
Palencia	42 00 32	04 31 59 O	-18 <sup>m</sup> 08 <sup>s</sup>	734
Palma de Mallorca	39 34 36	02 39 11 E	+10 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>	33
Palmas de G. C., Las	28 06 04	15 24 45 O	-1 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup>	13
Pamplona / Iruña	42 49 15	01 38 25 O	-06 <sup>m</sup> 34 <sup>s</sup>	449
Pontevedra	42 26 05	08 38 46 O	-34 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	20
Sabadell	41 32 53	02 06 33 E	+08 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>	190
Salamanca	40 57 43	05 39 56 O	-22 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>	803
Sta. Cruz de Tenerife	28 27 53	16 16 48 O	-1 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 07 <sup>s</sup>	5
Santander	43 27 51	03 48 14 O	-15 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup>	15
Segovia	40 57 05	04 07 29 O	-16 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	1002
Sevilla	37 23 15	05 59 29 O	-23 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup>	10
Soria	41 46 10	02 27 56 O	-09 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	1064
Terrassa (Tarrasa)	41 33 48	02 00 48 E	+08 <sup>m</sup> 03 <sup>s</sup>	286
Tarragona	41 07 13	01 15 34 E	+05 <sup>m</sup> 02 <sup>s</sup>	69
Teruel	40 20 43	01 06 29 O	-04 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>	913
Toledo	39 51 31	04 01 23 O	-16 <sup>m</sup> 06 <sup>s</sup>	512
Valencia	39 28 35	00 22 29 O	-01 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	16
Valladolid	41 39 12	04 43 19 O	-18 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	692
Vigo	42 14 26	08 43 29 O	-34 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	28
Vitoria-Gasteiz	42 51 05	02 40 17 O	-10 <sup>m</sup> 41 <sup>s</sup>	550
Zamora	41 30 00	05 45 13 O	-23 <sup>m</sup> 01 <sup>s</sup>	649
Zaragoza	41 39 28	00 52 43 O	-03 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>	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 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	240
Ametlla de Mar (Tarragona)	+40°55'8	+00 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	
Calar Alto (Almería)	+37°13'8	-00 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup>	2168
La Cañada (Avila)	+40°36'3	-00 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup>	1400
Consell (Mallorca)	+39°39'2	+00 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 70 <sup>s</sup>	130
Ebro (Tarragona)	+40°49'2	+00 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup>	50
Fabra (Barcelona)	+41°25'0	+00 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	420
Izaña (I. Tenerife)	+28°17'5	-01 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	2038
Madrid	+40°24'5	-00 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	655
Mallorca	+39°38'6	+00 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>	160
Pico de Veleta (Granada)	+37°04'1	-00 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>	2870
Piera (Barcelona)	+41°32'4	+00 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup>	390
Robledo de Chavela (Madrid)	+40°25'6	-00 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 60 <sup>s</sup>	815
Roque de los Muchachos (I. La Palma)	+28°45'5	-01 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	2327
La Sagra (Granada)	+37°58'9	-00 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>	1530
San Fernando (Cádiz)	+36°28'0	-00 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup>	30
Sierra Nevada (Granada)	+37°03'8	-00 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	2896
Universidad de Barcelona	+41°23'2	+00 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>	97
Universidad Complutense (Madrid)	+40°27'1	-00 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	640
Yebes (Guadalajara)	+40°31'4	-00 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> 21 <sup>s</sup>	931

La anterior lista de observatorios incluye aquellos que están dotados de telescopios profesionales nacionales o extranjeros situados en el país, los observatorios incluidos 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](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://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  $\phi_{gd}$  de los observatorios se obtiene a partir de los valores tabulados del seno y coseno de la latitud geocéntrica  $\phi_{gc}$  y del achatamiento  $f$  del elipsoide:

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

### Observatorios en el resto del mundo

observatorio	latitud	longitud	altura
ALMA, Atacama (Chile)	-23°00'3	-04 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 02 <sup>s</sup>	5080
Arecibo (Puerto Rico)	+18°20'8	-04 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 01 <sup>s</sup>	496
ATCA, Narrabri (Australia)	-30°18'9	+09 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	208
Cerro Pachón (Chile)	-30°14'3	-04 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	2738
Cerro Paranal (Chile)	-24°37'6	-04 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>	2635
Effelsberg (Alemania)	+50°31'6	+00 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	369
Green Bank (EE.UU.)	+38°25'8	-05 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup>	836
Greenwich (R.U.)	+51°28'6	00 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	47
HET, McDonald O. (EE.UU.)	+30°40'9	-06 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup>	2026
Jodrell Bank (R.U.)	+53°14'2	-00 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	78
Kitt Peak (EE.UU.)	+31°42'5	-07 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 23 <sup>s</sup>	2120
La Silla (Chile)	-29°15'4	-04 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	2347
Las Campanas (Chile)	-29°00'5	-04 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>	2282
Lick (EE.UU.)	+37°20'6	-08 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>	1283
LOFAR (Holanda)	+52°54'5	+00 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	
Mauna Kea (EE.UU.)	+19°49'7	-10 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	4200
MERLIN (R.U.)	+53°14'2	-00 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	78
Meudon (Francia)	+48°48'3	+00 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	162
Monte Graham (EE.UU.)	+32°42'1	-07 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 34 <sup>s</sup>	3182
Monte Hopkins, F.L. Whipple O. (EEUU)	+31°41'3	-07 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	2606
Monte Palomar (EE.UU.)	+33°21'4	-07 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup>	1706
Monte Pastukhov (Rusia)	+43°39'2	+02 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup>	2070
Monte Wilson (EE.UU.)	+34°13'3	-07 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	1742
Nançay (Francia)	+47°22'8	+00 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	162
Narayangaon, Pune (India)	+19°05'5	+04 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	650
París (Francia)	+48°50'0	+00 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 21 <sup>s</sup>	67
Parkes (Australia)	-33°00'0	+09 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 03 <sup>s</sup>	392
Pico Sacramento y Punto Apache (EEUU)	+32°46'8	-07 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup>	2788
Plateau de Bure (Francia)	+44°38'0	+00 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	2552
Potsdam (Alemania)	+52°25'4	+00 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 03 <sup>s</sup>	46
Sierra Negra (Méjico)	+18°59'1	-06 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>	4580
Sutherland (Sudáfrica)	-32°22'8	+01 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup>	1771
VLA, Socorro (EEUU)	+34°04'7	-07 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>	2124
Yerkes (EEUU)	+42°34'2	-05 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	334



# TABLAS COMPLEMENTARIAS

* Tablas complementarias de meridianos de los 0 a 90 en 1' y 30 a 2 1/2'												
C. Tablas de los 0 a 90 en 1'						C. Tablas de los 90 a 180						
C. Anuncios de meridianos			C. Anuncios de meridianos			C. Anuncios de meridianos			C. Anuncios de meridianos			
Latitud	Longitud	Meridiano	Latitud	Longitud	Meridiano	Latitud	Longitud	Meridiano	Latitud	Longitud	Meridiano	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	
3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	
4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	
5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	
6	0	0	6	0	0	6	0	0	6	0	0	
7	0	0	7	0	0	7	0	0	7	0	0	
8	0	0	8	0	0	8	0	0	8	0	0	
9	0	0	9	0	0	9	0	0	9	0	0	
10	0	0	10	0	0	10	0	0	10	0	0	
11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	
12	0	0	12	0	0	12	0	0	12	0	0	
13	0	0	13	0	0	13	0	0	13	0	0	
14	0	0	14	0	0	14	0	0	14	0	0	
15	0	0	15	0	0	15	0	0	15	0	0	
16	0	0	16	0	0	16	0	0	16	0	0	
17	0	0	17	0	0	17	0	0	17	0	0	
18	0	0	18	0	0	18	0	0	18	0	0	
19	0	0	19	0	0	19	0	0	19	0	0	
20	0	0	20	0	0	20	0	0	20	0	0	
21	0	0	21	0	0	21	0	0	21	0	0	
22	0	0	22	0	0	22	0	0	22	0	0	
23	0	0	23	0	0	23	0	0	23	0	0	
24	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	0	
25	0	0	25	0	0	25	0	0	25	0	0	
26	0	0	26	0	0	26	0	0	26	0	0	
27	0	0	27	0	0	27	0	0	27	0	0	
28	0	0	28	0	0	28	0	0	28	0	0	
29	0	0	29	0	0	29	0	0	29	0	0	
30	0	0	30	0	0	30	0	0	30	0	0	
31	0	0	31	0	0	31	0	0	31	0	0	
32	0	0	32	0	0	32	0	0	32	0	0	
33	0	0	33	0	0	33	0	0	33	0	0	
34	0	0	34	0	0	34	0	0	34	0	0	
35	0	0	35	0	0	35	0	0	35	0	0	
36	0	0	36	0	0	36	0	0	36	0	0	
37	0	0	37	0	0	37	0	0	37	0	0	
38	0	0	38	0	0	38	0	0	38	0	0	
39	0	0	39	0	0	39	0	0	39	0	0	
40	0	0	40	0	0	40	0	0	40	0	0	
41	0	0	41	0	0	41	0	0	41	0	0	
42	0	0	42	0	0	42	0	0	42	0	0	
43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	
44	0	0	44	0	0	44	0	0	44	0	0	
45	0	0	45	0	0	45	0	0	45	0	0	
46	0	0	46	0	0	46	0	0	46	0	0	
47	0	0	47	0	0	47	0	0	47	0	0	
48	0	0	48	0	0	48	0	0	48	0	0	
49	0	0	49	0	0	49	0	0	49	0	0	
50	0	0	50	0	0	50	0	0	50	0	0	
51	0	0	51	0	0	51	0	0	51	0	0	
52	0	0	52	0	0	52	0	0	52	0	0	
53	0	0	53	0	0	53	0	0	53	0	0	
54	0	0	54	0	0	54	0	0	54	0	0	
55	0	0	55	0	0	55	0	0	55	0	0	
56	0	0	56	0	0	56	0	0	56	0	0	
57	0	0	57	0	0	57	0	0	57	0	0	
58	0	0	58	0	0	58	0	0	58	0	0	
59	0	0	59	0	0	59	0	0	59	0	0	
60	0	0	60	0	0	60	0	0	60	0	0	
61	0	0	61	0	0	61	0	0	61	0	0	
62	0	0	62	0	0	62	0	0	62	0	0	
63	0	0	63	0	0	63	0	0	63	0	0	
64	0	0	64	0	0	64	0	0	64	0	0	
65	0	0	65	0	0	65	0	0	65	0	0	
66	0	0	66	0	0	66	0	0	66	0	0	
67	0	0	67	0	0	67	0	0	67	0	0	
68	0	0	68	0	0	68	0	0	68	0	0	
69	0	0	69	0	0	69	0	0	69	0	0	
70	0	0	70	0	0	70	0	0	70	0	0	
71	0	0	71	0	0	71	0	0	71	0	0	
72	0	0	72	0	0	72	0	0	72	0	0	
73	0	0	73	0	0	73	0	0	73	0	0	
74	0	0	74	0	0	74	0	0	74	0	0	
75	0	0	75	0	0	75	0	0	75	0	0	
76	0	0	76	0	0	76	0	0	76	0	0	
77	0	0	77	0	0	77	0	0	77	0	0	
78	0	0	78	0	0	78	0	0	78	0	0	
79	0	0	79	0	0	79	0	0	79	0	0	
80	0	0	80	0	0	80	0	0	80	0	0	
81	0	0	81	0	0	81	0	0	81	0	0	
82	0	0	82	0	0	82	0	0	82	0	0	
83	0	0	83	0	0	83	0	0	83	0	0	
84	0	0	84	0	0	84	0	0	84	0	0	
85	0	0	85	0	0	85	0	0	85	0	0	
86	0	0	86	0	0	86	0	0	86	0	0	
87	0	0	87	0	0	87	0	0	87	0	0	
88	0	0	88	0	0	88	0	0	88	0	0	
89	0	0	89	0	0	89	0	0	89	0	0	
90	0	0	90	0	0	90	0	0	90	0	0	



# TABLAS COMPLEMENTARIAS

Corrección (aproximada y rigurosa) de la precesión  
Corrección de la nutación y la aberración  
Corrección de la refracción atmosférica  
Constantes físicas y astronómicas  
Prefijos del Sistema Internacional de Unidades  
Método de interpolación  
Moléculas detectadas en el medio interestelar

## Corrección de las coordenadas por precesión

La lenta precesión del eje de rotación de la Tierra hace que las coordenadas celestes que se dan para un astro (tal como las coordenadas ecuatoriales  $\alpha$  y  $\delta$ ) 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:

$$P_{\alpha} = 3,0750 + 1,3362 \text{ sen } \alpha \tan \delta$$

$$P_{\delta} = 20,043 \text{ cos } \alpha$$

expresiones en las que la ascensión recta,  $\alpha$ , debe ser expresada en grados. Dadas unas coordenadas  $\alpha_0, \delta_0$  referidas a una época  $t_0$ , las coordenadas  $\alpha_1, \delta_1$  referidas a una época  $t_1$  se obtienen mediante:

$$\alpha_1 = \alpha_0 + (t_1 - t_0) P_{\alpha}$$

$$\delta_1 = \delta_0 + (t_1 - t_0) P_{\delta}$$

donde típicamente  $t_0 = 2000$ .

### Precesión anual en declinación

ascensión recta, $\alpha$		$P_{\delta}$	ascensión recta, $\alpha$		$P_{\delta}$
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

**Precisión anual en ascensión recta**

si $\delta \geq 0$		$P_{\alpha}$								si $\delta \leq 0$	
$\alpha$		declinación, $\delta$								$\alpha$	
h m	h m	0°	10°	20°	30°	40°	50°	55°	60°	h m	h m
1800	1800	3:07	2:83	2:58	2:30	1:95	1:48	1:16	0:76	0600	0600
1820	1740	3:07	2:84	2:59	2:30	1:95	1:48	1:17	0:76	0620	0540
1840	1720	3:07	2:84	2:59	2:31	1:97	1:50	1:19	0:79	0640	0520
1900	1700	3:07	2:84	2:60	2:32	1:99	1:53	1:23	0:83	0700	0500
1920	1640	3:07	2:85	2:61	2:35	2:02	1:57	1:28	0:90	0720	0440
1940	1620	3:07	2:86	2:63	2:37	2:05	1:63	1:34	0:97	0740	0420
2000	1600	3:07	2:87	2:65	2:40	2:10	1:69	1:42	1:07	0800	0400
2020	1540	3:07	2:88	2:67	2:44	2:15	1:77	1:51	1:17	0820	0340
2040	1520	3:07	2:89	2:70	2:48	2:21	1:85	1:61	1:30	0840	0320
2100	1500	3:07	2:90	2:73	2:52	2:28	1:94	1:72	1:43	0900	0300
2120	1440	3:07	2:92	2:76	2:57	2:35	2:05	1:84	1:58	0920	0240
2140	1420	3:07	2:93	2:79	2:63	2:43	2:16	1:98	1:74	0940	0220
2200	1400	3:07	2:95	2:83	2:68	2:51	2:27	2:12	1:91	1000	0200
2220	1340	3:07	2:97	2:86	2:74	2:60	2:40	2:26	2:09	1020	0140
2240	1320	3:07	2:99	2:90	2:81	2:69	2:53	2:42	2:28	1040	0120
2300	1300	3:07	3:01	2:94	2:87	2:78	2:66	2:58	2:47	1100	0100
2320	1240	3:07	3:03	2:99	2:94	2:88	2:79	2:74	2:67	1120	0040
2340	1220	3:07	3:05	3:03	3:00	2:97	2:93	2:90	2:87	1140	0020
0000	1200	3:07	3:07	3:07	3:07	3:07	3:07	3:07	3:07	1200	2400
0020	1140	3:07	3:09	3:11	3:14	3:17	3:21	3:24	3:27	1220	2340
0040	1120	3:07	3:11	3:15	3:20	3:26	3:35	3:40	3:47	1240	2320
0100	1100	3:07	3:13	3:20	3:27	3:36	3:48	3:56	3:67	1300	2300
0120	1040	3:07	3:15	3:24	3:33	3:45	3:61	3:72	3:86	1320	2240
0140	1020	3:07	3:17	3:28	3:40	3:54	3:74	3:88	4:05	1340	2220
0200	1000	3:07	3:19	3:31	3:46	3:63	3:87	4:02	4:23	1400	2200
0220	0940	3:07	3:21	3:35	3:51	3:71	3:98	4:16	4:40	1420	2140
0240	0920	3:07	3:22	3:38	3:57	3:79	4:09	4:30	4:56	1440	2120
0300	0900	3:07	3:24	3:41	3:62	3:86	4:20	4:42	4:71	1500	2100
0320	0840	3:07	3:25	3:44	3:66	3:93	4:29	4:53	4:84	1520	2040
0340	0820	3:07	3:26	3:47	3:70	3:99	4:37	4:63	4:97	1540	2020
0400	0800	3:07	3:27	3:49	3:74	4:04	4:45	4:72	5:07	1600	2000
0420	0740	3:07	3:28	3:51	3:77	4:09	4:51	4:80	5:17	1620	1940
0440	0720	3:07	3:29	3:53	3:79	4:12	4:57	4:86	5:24	1640	1920
0500	0700	3:07	3:30	3:54	3:82	4:15	4:61	4:91	5:31	1700	1900
0520	0640	3:07	3:30	3:55	3:83	4:17	4:64	4:95	5:35	1720	1840
0540	0620	3:07	3:30	3:55	3:84	4:19	4:66	4:97	5:38	1740	1820
0600	0600	3:07	3:31	3:56	3:84	4:19	4:66	4:98	5:38	1800	1800

## Cálculo riguroso de la precesión

En este apartado se describe el método general de cálculo riguroso de los efectos de la precesión a las coordenadas de un astro entre una cierta época origen (dada por  $DJ_{origen}$ ) y una cierta fecha o época final (dada por  $DJ_{fecha}$ ). Es decir, este método es aplicable incluso en aquellos casos en que la época a que se refieren las coordenadas originales no es la época J2000, sino otra cualquiera (J1900, B1950, etc). Algunas épocas típicas vienen dadas en el apartado **Día Juliano** en *CALENDARIOS*).

1) Cálculo de los argumentos temporales  $T$  y  $t$ , dados en siglos julianos:

$$T = (\text{época origen} - 2000.0) / 100 = (DJ_{origen} - 2451\,545.0) / 36525$$

$$t = (DJ_{fecha} - DJ_{origen}) / 36525$$

2) Cálculo de los coeficientes para la época origen:

$$\zeta_1 = 2306''.2181 + 1''.39656 T - 0''.000139 T^2$$

$$\zeta_2 = 0''.30188 - 0''.000344 T$$

$$\zeta_3 = 0''.017998$$

$$z_1 = \zeta_1$$

$$z_2 = 1''.09468 + 0''.000066 T$$

$$z_3 = 0''.018203$$

$$\theta_1 = 2004''.3109 - 0''.85330 T - 0''.000217 T^2$$

$$\theta_2 = -0''.42665 - 0''.000217 T$$

$$\theta_3 = -0''.041833$$

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 ( $\alpha_0$ ,  $\delta_0$ ) a la fecha ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) por efecto de la precesión. Es necesario expresar todos los ángulos en grados (o en radianes). La declinación  $\delta$  se determina a partir de la ecuación:

$$\text{sen } \delta = \cos(\alpha_0 + \zeta) \text{sen } \theta \cos \delta_0 + \cos \theta \text{sen } \delta_0$$

y la ascensión recta  $\alpha$  se determina, en el cuadrante adecuado, a partir de

$$\text{sen}(\alpha - z) = \text{sen}(\alpha_0 + \zeta) \cos \delta_0 / \cos \delta$$

$$\cos(\alpha - z) = \frac{\cos(\alpha_0 + \zeta) \cos \theta \cos \delta_0 - \text{sen } \theta \text{sen } \delta_0}{\cos \delta}$$

## 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,  $\Omega_{\perp}$ ), podemos expresar la corrección por nutación a aplicar a las coordenadas ecuatoriales ( $\alpha, \delta$ ) con las siguientes fórmulas:

$$\Delta\alpha = Ec.Eq. - (0^{\circ}46 \text{ sen } \Omega_{\perp} \text{ sen } \alpha + 0^{\circ}61 \text{ cos } \Omega_{\perp} \text{ cos } \alpha) \tan \delta$$

$$\Delta\delta = 9^{\circ}2 \text{ cos } \Omega_{\perp} \text{ sen } \alpha - 6^{\circ}8 \text{ sen } \Omega_{\perp} \text{ cos } \alpha$$

donde *Ec.Eq.* es el valor de la ecuación de los equinoccios para la fecha (ver las tablas en *TIEMPOS*), y  $\Omega_{\perp}$  viene dada para este año en la primera página de **Datos lunares** o bien se puede calcular a partir del día juliano *DJ* mediante:

$$\Omega_{\perp} = 125^{\circ}045 - 0^{\circ}05295376 (DJ - 2451545)$$

## Corrección de las coordenadas por aberración ánu

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 ánu*. En primera aproximación, prescindiendo de la pequeña excentricidad de la órbita terrestre, la corrección a las coordenadas ecuatoriales ( $\alpha, \delta$ ) viene dada por:

$$\Delta\alpha = - (1^{\circ}366 \text{ sen } L_{\odot} \text{ sen } \alpha + 1^{\circ}253 \text{ cos } L_{\odot} \text{ cos } \alpha) / \text{cos } \delta$$

$$\Delta\delta = 18^{\circ}80 \text{ sen } \delta \text{ sen } \alpha \text{ cos } L_{\odot} - 20^{\circ}49 \text{ sen } \delta \text{ cos } \alpha \text{ sen } L_{\odot} \\ - 8^{\circ}15 \text{ cos } \delta \text{ cos } L_{\odot}$$

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:

$$L_{\odot} = 280^{\circ}466 + 0^{\circ}98564736 (DJ - 2451545)$$

## 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:

$$\text{altura verdadera} = \text{altura observada} - \text{Refracción}$$

$$\text{distancia cenital verdadera} = \text{distancia cenital observada} + \text{Refracción}$$

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:

$$\begin{aligned} \text{longitud de onda, } \lambda_0 &= 0,575 \mu\text{m} \\ \text{presión atmosférica, } P_0 &= 1000 \text{ mbar} \\ \text{temperatura ambiente, } T_0 &= 10^\circ\text{C} \end{aligned}$$

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:

$$R = \frac{60''}{\tan\left(h + \frac{7,31}{h+4,4}\right)} \frac{0,28P}{273 + T}$$

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°  
 ( $\lambda = 0,575 \mu\text{m}$ ,  $P=1000 \text{ mbar}$ ,  $T=10^\circ\text{C}$ )

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°  
 ( $\lambda = 0,575 \mu\text{m}$ ,  $P=1000 \text{ mbar}$ ,  $T=10^\circ\text{C}$ )

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  $0,575 \mu\text{m}$ . La banda *visual* de magnitudes está centrada a una longitud de onda muy próxima,  $0,55 \mu\text{m}$ .

**Constantes fundamentales usuales**

cantidad	símbolo	valor
velocidad de la luz	$c$	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
permeabilidad del vacío	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$
permitividad del vacío	$\epsilon_0$	$1/\mu_0 c^2 \text{ F m}^{-1}$
constante gravitacional de Newton	$G$	$6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
constante de Planck	$h$	$6,6260696 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
constante de Boltzmann	$k$	$1,380649 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
número de Avogadro	$N_A$	$6,0221413 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
constante de los gases perfectos	$R$	$8,314462 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

**Constantes electromagnéticas y radiativas**

cantidad	símbolo	valor
carga elemental	$e$	$1,60217656 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
constante de Faraday	$F$	$9,6485336 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$
constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5,67037 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
primera constante de radiación	$2\pi hc^2$	$3,7417715 \cdot 10^{-16} \text{ W m}^2$
segunda constante de radiación	$hc/k$	$1,438777 \cdot 10^{-2} \text{ m K}$

**Constantes atómicas y espectroscópicas**

cantidad	símbolo	valor
masa del electrón en reposo	$m_e$	$5,485799095 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
masa del protón en reposo	$m_p$	$1,007276467 \text{ u}$
masa del neutrón en reposo	$m_n$	$1,008664916 \text{ u}$
masa del muón en reposo	$m_\mu$	$0,113428927 \text{ u}$
momento magnético del electrón	$\mu_e$	$-9,2847643 \cdot 10^{-24} \text{ J T}^{-1}$
momento magnético del protón	$\mu_p$	$1,41060674 \cdot 10^{-26} \text{ J T}^{-1}$
momento magnético del muón	$\mu_\mu$	$-4,4904481 \cdot 10^{-26} \text{ J T}^{-1}$
magnetón de Bohr	$\mu_B$	$9,2740097 \cdot 10^{-24} \text{ J T}^{-1}$
magnetón nuclear	$\mu_N$	$5,0507835 \cdot 10^{-27} \text{ J T}^{-1}$
constante de estructura fina	$\alpha$	$7,297352570 \cdot 10^{-3}$
constante de Rydberg	$R_\infty$	$1,097373156854 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
radio de Bohr	$a_0$	$0,5291772109 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
longitud de onda Compton del electrón	$\lambda_c$	$2,426310239 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
(unidad de masa atómica unificada	$u$	$1,66053892 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ )

La última cifra significativa dada en las tablas anteriores suele corresponder al orden de la incertidumbre de tal magnitud. Por ejemplo, si el valor recomendado según las últimas medidas de laboratorio para la constante de Planck es de  $6,62606957 \cdot 10^{-34}$ , con una incertidumbre de  $0,00000029 \cdot 10^{-34}$ , el valor que figurará en la tabla será  $6,6260696 \cdot 10^{-34}$ , siendo incierta la última cifra dada.

**Constantes cosmológicas**

cantidad	símbolo	valor
constante de Hubble	$H_o$	$69 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
distancia de Hubble	$c/H_o$	4400 Mpc
edad del Universo	$t_0$	$1,38 \cdot 10^{10}$ años
edad del desacoplamiento	$t_{dec}$	380 000 años
densidad crítica	$\rho_c$	$8,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg m}^{-3}$
densidad de bariones	$\Omega_b$	0,049
densidad total de materia	$\Omega_m$	0,309
constante cosmológica	$\Omega_\Lambda$	0,691
temperatura del fondo cósmico de microondas (CBR)	$T_0$	2,725 K
velocidad del Sol respecto del CBR		$370 \text{ km s}^{-1}$

(1 pc =  $3,085678 \cdot 10^{16}$  m, 1 Mpc =  $10^6$  pc =  $3,085678 \cdot 10^{22}$  m)

**Constantes astronómicas**

cantidad	símbolo	valor
unidad astronómica	ua	149 597 870 700 m
masa de la Tierra	$\mathcal{M}_\oplus$	$5,9724 \cdot 10^{24}$ kg
radio ecuatorial de la Tierra	$\mathcal{R}_\oplus$	$6,3781366 \cdot 10^6$ m
masa solar	$\mathcal{M}_\odot$	$1,988547 \cdot 10^{30}$ kg
radio solar	$\mathcal{R}_\odot$	$6,9566 \cdot 10^8$ m
luminosidad solar absoluta	$L_\odot$	$3,828 \cdot 10^{26}$ W
temperatura solar efectiva	$T_\odot$	5772 K
constantes gravitacionales:		
Sol	$G\mathcal{M}_\odot$	$1,3271244 \cdot 10^{20} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
Tierra	$G\mathcal{M}_\oplus$	$3,9860044 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
Luna	$G\mathcal{M}_\updownarrow$	$4,9028001 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
de Gauss	k	0,01720209895
razón de masa lunar a terrestre	$\mu_\updownarrow$	0,0123000371

**Algunos factores de conversión de interés práctico**

- 1 año luz =  $0,9461 \cdot 10^{16}$  m  $\simeq 10^{16}$  m  $\simeq 0,3$  pc (parsec)
- 1 día luz = 173,145 ua
- 1 hora luz  $\simeq 7,21$  ua
- $c$  = 300 MHz m = 300 GHz mm = 300 THz  $\mu\text{m}$
- 1 km  $\text{s}^{-1}$   $\simeq 1$  pc / millón de años
- 1 ua / año =  $4,740470 \text{ km s}^{-1}$
- 1 ua / día =  $1731,457 \text{ km s}^{-1}$
- $\mathcal{M}_\odot / L_\odot$   $\simeq 0,52 \text{ s}^3 \text{ cm}^{-2}$  (unidades cgs)
- $\simeq 5200 \text{ kg W}^{-1}$  (unidades SI)
- 1  $\mathcal{M}_\odot \text{ pc}^{-3}$   $\simeq 40$  átomos de  $H$  por  $\text{cm}^3$
- 1 Jy (Jansky) =  $10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} = 10^{-23} \text{ erg cm}^{-2}$

## 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	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

Estos prefijos han sido establecidos por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en cuatro resoluciones adoptadas entre 1960 y 1991.

## Interpolación

Muchas de las tablas del ANUARIO contienen listas de valores correspondientes a distintas magnitudes físicas (posición, brillo, ...) dados para instantes de tiempo sucesivos, siendo *constante el intervalo entre instantes sucesivos* en una misma tabla (1 o 10 días). Por medio de la **interpolación** es posible determinar los valores de tales magnitudes para instantes intermedios a los que aparecen en la tabla. La complejidad con que hay que llevar a cabo la interpolación depende de la precisión que se desee alcanzar, la cual también viene limitada por la precisión de los valores que figuran en la tabla. Posiblemente el caso más difícil de tratar sea el del movimiento de la Luna, dado que la magnitud y la complejidad de dicho movimiento impiden su representación de una manera sencilla.

Consideremos el problema de determinar el valor de una magnitud física  $V$  para un instante  $T$  a partir de los que figuran en una tabla. Llamemos  $T_0$  al instante de tiempo más próximo a  $T$ ; el valor de la magnitud en  $T_0$  viene dado en la tabla y lo llamaremos  $V_0$ . A los instantes anteriores que figuran en la tabla los llamaremos  $T_{-1}, T_{-2}, \dots$  y a los posteriores  $T_1, T_2, \dots$ . Es decir, en la tabla tenemos una distribución como:

$$\begin{array}{l}
 T_{-2} \quad V_{-2} \\
 T_{-1} \quad V_{-1} \\
 T_0 \quad V_0 \\
 T_1 \quad V_1 \\
 T_2 \quad V_2
 \end{array}$$

Denominemos  $p$  a la cantidad:

$$p = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

Si hemos escogido  $T_0$  como el valor, en la tabla, más próximo al que nos interesa,  $T$ , entonces el valor de  $p$  estará entre:  $-0,5 < p < 0,5$ .

Una primera aproximación al valor de la magnitud  $V$  para el instante  $T$  viene dada por (1<sup>er</sup> grado):

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

Si el valor de:  $V_1 - 2V_0 + V_{-1}$  es aproximadamente nulo, para la precisión requerida por nosotros o para la precisión suministrada por la tabla, podemos dar la interpolación por terminada. En caso contrario, hay que añadir otro término a la expresión anterior (2<sup>do</sup> grado):

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

Si el valor de:  $(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2})/30$  es aproximadamente nulo, para la precisión requerida o suministrada, la interpolación ha acabado. En la mayor parte de casos, la interpolación se podrá dar por terminada en este punto.

En caso contrario, hay que añadir otro término más (3<sup>er</sup> grado):

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) + \frac{p(p^2 - 1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2})$$

Si el valor de:  $(V_2 - 4V_1 + 6V_0 - 4V_{-1} + V_{-2})/100$  es aproximadamente nulo, para la precisión requerida o suministrada, la interpolación ha acabado. En caso contrario, hay que añadir al menos otro término más (4<sup>to</sup> 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 12<sup>h</sup> TU del día 18 de enero de 2021. De la tabla correspondiente al mes obtenemos los valores:

$T_{-2}$ :	16 de enero	$V_{-2} = 22^{\text{h}}31908$
$T_{-1}$ :	17 de enero	$V_{-1} = 23^{\text{h}}13939$
$T_0$ :	18 de enero	$V_0 = 23^{\text{h}}91256$
$T_1$ :	19 de enero	$V_1 = 24^{\text{h}}65417$
$T_2$ :	20 de enero	$V_2 = 25^{\text{h}}38053$

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 ( $0^{\text{d}}1 = 0^{\text{d}}00003$ ). 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  $24^{\text{h}}$  a  $0^{\text{h}}$  hemos mantenido el sentido creciente de los valores de la ascensión recta añadiendo  $24^{\text{h}}$  cuando ha sido necesario. En este ejemplo:  $p = 12^{\text{h}0^{\text{m}}}/24^{\text{h}} = 0,50000$ . Siguiendo los pasos anteriores, obtenemos los siguientes valores:

$$V = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) = 24,29125$$

Dado que  $|V_1 - 2V_0 + V_{-1}| = 0,03156 \geq 0,00003$ , añadimos otro término:

$$V = 24,29125 + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) = 24,28731$$

Dado que  $|V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}|/30 = 0,00106 \geq 0,00003$ , añadimos otro término:

$$V = 23,28731 + \frac{p(p^2 - 1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}) = 23,28631$$

Dado que  $|V_2 - 4V_1 + 6V_0 - 4V_{-1} + V_{-2}|/100 = 0,00001 \leq 0,00003$ , no hace falta añadir ningún término más, resultando:

$$V = 24^{\text{h}}17^{\text{m}}10^{\text{s}}7$$

El valor que se obtiene a partir de las efemérides del JPL es:  $24^{\text{h}}17^{\text{m}}10^{\text{s}}55$ , valor que concuerda con el antes calculado.

### *Interpolación inversa*

Es posible determinar de manera parecida el instante  $T$  para el que se da un cierto valor  $V$  a partir de los valores que figuran en una tabla de valores equiespaciados. Sea  $V_0$  el valor más cercano a  $V$ , correspondiente a un tiempo  $T_0$ . Una primera aproximación a la cantidad  $p$  que corresponderá al valor  $V$  viene dada por:

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

Utilizando este valor en la fórmula de interpolación calculamos un valor  $V_{calc}$  próximo a  $V$ :

$$V_{calc} = V_0 + \frac{p}{2}(V_1 - V_{-1}) + \frac{p^2}{2}(V_1 - 2V_0 + V_{-1}) + \frac{p(p^2 - 1)}{12}(V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2})$$

Si este valor no coincide con el valor buscado  $V$  deberemos aplicar una corrección  $\Delta p$  al valor usado de  $p$ , que se calcula mediante:

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

Con el nuevo valor de  $p = p_{anterior} + \Delta p$  calculamos un nuevo valor  $V_{calc}$ , que debe ser más aproximado al  $V$  deseado. Si aún no coinciden, hay que repetir el proceso tantas veces como sea necesario para la precisión que se desee.

Cuando se dispone del valor de  $p$ , el instante de tiempo  $T$  se obtiene mediante:

$$T = T_0 + p (T_1 - T_0)$$

*Ejemplo:* Deseamos determinar a qué hora del día 18 de enero de 2021 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:

$$p = 2 \frac{V - V_0}{V_1 - V_{-1}} = 0,1154$$

instante al que le corresponde un valor calculado:  $V_{calc} = 23,99945$ . La corrección a aplicar a  $p$  es:

$$\Delta p = 2 \frac{V - V_{calc}}{V_1 - V_{-1}} = 0,0007$$

Al nuevo valor  $p = 0,1161$  le corresponde  $V_{calc} = 23,99998$ , para una nueva iteración la corrección a aplicar a  $p$  es  $\Delta p = -0,0000$ , obtenemos  $p = 0,1161$  y  $V_{calc} = 23,99998$ , valor que consideramos suficientemente aproximado, pues su discrepancia con el valor buscado es menor o similar a  $0,1 = 0^h00^m00,2$ . El instante de tiempo buscado es:

$$T = T_0 + p (T_1 - T_0) = 0^h + 0,1161 \times 24^h = 2^h786$$

o sea, las  $2^h47^m2$  del día 18 de enero de 2021. El instante calculado a partir de las efemérides es:  $2^h47^m17^s$ .

## Moléculas detectadas en el medio interestelar y el circunestelar

## Moléculas con hidrógeno

H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	HD	H <sub>2</sub> D <sup>+</sup>
HD <sub>2</sub> <sup>+</sup>			

## Moléculas con solo hidrógeno y carbono

C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	CH <sup>+</sup>
CH	C <sub>2</sub> H	C <sub>3</sub> H	C <sub>4</sub> H
C <sub>5</sub> H	C <sub>6</sub> H	C <sub>7</sub> H	C <sub>8</sub> H
CH <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	CH <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	[C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ]	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	[C <sub>3</sub> H]	H <sub>2</sub> C <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
[C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ]	CH <sub>3</sub>	HC <sub>4</sub> H	HC <sub>6</sub> H
CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	C <sub>4</sub> H <sup>-</sup>	C <sub>8</sub> H <sup>-</sup>
C <sub>3</sub> H <sup>+</sup>	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> <sup>+</sup> ?		

## Moléculas con oxígeno, hidrógeno y/o carbono

CO	CO <sup>+</sup>	C <sub>3</sub> O	C <sub>2</sub> O
O <sub>2</sub>	OH	H <sub>2</sub> O	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
HCO	HCO <sup>+</sup>	HOC <sup>+</sup>	HOCO <sup>+</sup>
H <sub>2</sub> CO	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> CHO	CH <sub>3</sub> COOH
CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	HCOOCH <sub>3</sub>	HC <sub>2</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH
HCOOH	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> COH <sup>+</sup>	[C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O]	CH <sub>2</sub> OHCHO	H <sub>2</sub> CCHOH
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> CHCHO ?	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub>	[H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O]
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OCH <sub>3</sub> ?	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OCHO	CH <sub>3</sub> OCOCH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> O
OH <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	HO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
HCCO	CH <sub>3</sub> CHCH <sub>2</sub> O	HC <sub>5</sub> O	HC <sub>7</sub> O
CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> OH		

## Moléculas con nitrógeno, hidrógeno y/o carbono

CN	C <sub>3</sub> N	HC <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	HCCN
HCN	HC <sub>3</sub> N	HC <sub>2</sub> NC	HNC <sub>3</sub>
HC <sub>5</sub> N	HC <sub>7</sub> N	HC <sub>9</sub> N	HNC
H <sub>2</sub> CN	NH	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> H <sup>+</sup>
CH <sub>3</sub> CN	CH <sub>3</sub> NC	CH <sub>3</sub> C <sub>5</sub> N	HCNH <sup>+</sup>
NH <sub>2</sub> CN	CH <sub>2</sub> CN	CH <sub>2</sub> NH	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	CH <sub>2</sub> CHCN	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	NH <sub>2</sub>
C <sub>5</sub> N	HC <sub>4</sub> N	CH <sub>2</sub> CCHCN	H <sub>2</sub> CCNH ?
H <sub>2</sub> CCN	H <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> CN	C <sub>3</sub> N <sup>-</sup>	C <sub>5</sub> N <sup>-</sup>
HNCNH	HNCHCN	CH <sub>3</sub> CHNH	CN <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CN	C <sub>2</sub> N	CCN ?
NCCNH <sup>+</sup>	[C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ]CN	CNCN	HCCCHNH

*Moléculas con nitrógeno y oxígeno*

NO	N <sub>2</sub> O	HNO	HNCO
NH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	HCNO	HOCN
HCOCN	H <sub>2</sub> NCO <sup>+</sup>	NO <sup>+</sup> ?	CH <sub>3</sub> NCO
CH <sub>3</sub> NHCHO ?	NCO	HOCH <sub>2</sub> CN	HONO
NH <sub>2</sub> OH	HOCH <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> NCONH <sub>2</sub>	

*Moléculas con azufre, silicio o fósforo*

SO	SO <sub>2</sub>	NS	H <sub>2</sub> S
OCS	HCS <sup>+</sup>	CS	C <sub>2</sub> S
C <sub>3</sub> S	SO <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> CS	HNCS
CH <sub>3</sub> SH	PN	CP	SiC
SiO	[SiC <sub>2</sub> ]	SiS	SiN
SiH <sub>4</sub>	SiC <sub>4</sub>	SH	SiCN
[SiC <sub>3</sub> ]	SiH ?	PO	HCP
SiNC	CCP	HSCN	PH <sub>3</sub>
SH <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH ?	C <sub>5</sub> S ?	NCCP ?
SiH <sub>3</sub> CN	Si <sub>2</sub> C	CH <sub>3</sub> SiH <sub>3</sub>	HS <sub>2</sub>
NS <sup>+</sup>	HCS	HSC	

*Fulerenos*

C <sub>60</sub>	C <sub>70</sub>	C <sub>60</sub> <sup>+</sup>	
-----------------	-----------------	------------------------------	--

*Moléculas "metálicas"*

HCl	NaCl	KCl	AlCl
AlF	NaCN	MgNC	MgCN
HF	FeO ?	CF <sup>+</sup>	AlNC
AlO	AlOH	HCl <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> Cl <sup>+</sup>
TiO	KCN	FeCN	TiO <sub>2</sub>
HMgNC	ArH <sup>+</sup>	MgC <sub>2</sub> H	CaNH
CH <sub>3</sub> Cl	VO	MgC <sub>3</sub> N	MgC <sub>4</sub> H
CaNC			

*Otras moléculas*

HeH <sup>+</sup>			
------------------	--	--	--

Tabla actualizada a septiembre de 2020. En ella hay 228 especies moleculares, incluidas 10 detectadas tentativamente, lo que se indica con un interrogante. De las numerosas variedades isotópicas detectadas (HDO, DCO<sup>+</sup>, DCN, etc.), solo se indican los isotopólogos de las moléculas de hidrógeno. Las moléculas entre corchetes son cíclicas.



# ARTICULOS DE DIVULGACION

## DEMOSTRACION DEL ECLYPSE de la Luna.



El eclipse del Sol se haze quando el Sol, y la Luna se juntan en la cabeza, 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 priva al mundo de su luz, y lo dexa en sombra: y tanto es mayor el eclipse, y de mas cantidad, quanto mas llegados se hallan los luminares a la cabeza, o cola del dragon: y assi, que no puede ser eclipse de Luna, sin ser oposicion, o Luna llena, ni eclipse de Sol, sin ser conjuncion de Luna: empero como dicho es, ha de ser estando en la cabeza, o cola del dragon, porque muchas vezes sucederá conjuncion, y oposicion, y no aver eclipse, porque ni la Luna, ni el Sol estará en la cabeza, 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 cabeza, y el otro en la cola del dragon, porque entonces estan opuestos el Sol, y la Luna linealmente en tanto grado, que facada una linea del vno al otro, passaria por el centro del mundo, y en esta oposicion de necesidad ha de aver eclipse de Luna.

Oposicion imperfecta se dize, quando la Luna dista del Sol la mitad de la esfera, que son ciento y ochenta grados, mas no que esté la Luna en la ecliptica, cabeza, 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 ay eclipse en ella.

*Eclipse del Sol.*  
*Luna cubre la luz del Sol.*



*Demost-  
racion  
del eclip-  
se del Sol.*

*Oposicion  
perfecta.*

*Oposicion  
imperfec-  
ta.*



# ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN

**Marte: una ventana al pasado**

por *Tomás Alonso Albi*

**Astronomía en tiempos de pandemia**

por *Rafael Bachiller*

**Midiendo el tamaño del universo**

por *Miguel Querejeta*



# MARTE: UNA VENTANA AL PASADO

**Tomás Alonso Albi**

*Observatorio Astronómico Nacional*

## Introducción

Hace 5 000 millones de años el Sol era una protoestrella en el seno de una nebulosa de gas y polvo, rodeada de un disco que contenía los embriones que darían lugar a los planetas del Sistema Solar. En la región interna del disco próxima a la fuente central la densidad y temperatura son más altas que en el exterior, por lo que existe un gradiente en las condiciones físicas y en la composición química dentro del disco, el cual depende de la evolución de la protoestrella a medida que se contrae. Durante la contracción de la protoestrella (anterior al inicio de las reacciones de fusión en el núcleo, ver [1]) su luminosidad disminuye y los granos de polvo del disco se rodean de materiales volátiles congelados ( $\text{CO}_2$ , agua, y otros) que condensan a diferentes temperaturas (líneas de hielo) a medida que el disco se enfría. Este manto de hielo sirve de catalizador para el crecimiento por coagulación, permitiendo la formación de los planetas gigantes de gas lejos de la estrella. En el interior más caliente y denso los planetas internos crecieron más despacio y a partir de elementos más pesados, pues el viento estelar dispersó los elementos ligeros como el hidrógeno con más eficacia. La superficie visible de los planetas internos es sólida, y su interior se caracteriza por un núcleo metálico de hierro y un manto y superficie de silicatos. Por estas cualidades se denominan planetas terrestres.

A pesar de tener un origen común los planetas terrestres son sorprendentemente diferentes entre sí. En geología uno de los factores evolutivos más básicos es la pérdida de calor interno del planeta a través de la superficie. Como la superficie de una esfera (ritmo de pérdida de calor) es proporcional a  $r^2$  y su volumen (cantidad de calor interno) a  $r^3$ , esta

pérdida es proporcional a  $1/r$ . Así, los planetas más grandes como la Tierra conservan el calor por más tiempo, y los cuerpos más pequeños como la Luna o Marte ya no presentan un manto fluido que estimule un campo magnético o actividad tectónica. Esto se manifiesta hoy claramente en los rasgos superficiales: en algunos casos la información geológica acumulada sobrevive con claridad, en otros es alterada o eliminada por procesos como la erosión o el vulcanismo. En la Tierra las rocas más antiguas que 3800 millones de años han sido alteradas, por lo que la antigüedad del Sistema Solar se conoce por meteoritos como el de Allende (una condrita carbonácea hallada en Chihuahua en 1969, procedente del cinturón de asteroides), que se ha datado en 4560 millones de años. Esta datación absoluta es posible por los átomos radioactivos presentes en la estructura cristalina que se formó cuando la roca fundida se enfrió. Dado que una nueva cristalización no integra los posibles átomos radioactivos presentes previamente, es posible averiguar cuánto tiempo transcurrió desde la última vez que estuvo fundida, es decir, su edad geológica.

Otro factor importante es el llamado bombardeo intenso tardío, un proceso por el que los planetas sufrieron el impacto de miles de asteroides que no llegaron a formar planetas. Las muestras recogidas en distintos puntos de la Luna por las misiones Apollo han permitido estimar que esta fase se concentra principalmente en un periodo hace entre 4000 y 3800 millones de años. Una teoría extendida para explicar esta estrecha franja es una resonancia orbital entre Júpiter y Saturno en aquel periodo como resultado de un suave proceso de migración planetaria. Esto podría desestabilizar las órbitas de muchos asteroides y lanzarlos al interior del Sistema Solar. Por su localización es probable que Marte sufriera impactos de muchos cuerpos de cientos de kilómetros de diámetro, tanto o más que la Luna, lo que pudo influir en su formación. Tal vez por su menor masa, Marte no llegó a tener un satélite notable como la Tierra, lo que afecta a su climatología, pues la orientación de su eje de rotación y su propia órbita tienen un comportamiento caótico a largo plazo.

## La excesiva imaginación de las primeras observaciones

Marte siempre ha estimulado la imaginación, no en vano su llamativo color rojo le valió el nombre del dios de la guerra. Al telescopio presenta casquetes polares, un día de 24.5 h similar al terrestre, y una inclinación de su eje de  $25^\circ$  actualmente (casi idéntico a los  $23.4^\circ$  de la Tierra), con la consiguiente sucesión de las estaciones, que allí son el doble de largas. Incluso su superficie es similar a la que ofrece la Tierra por encima del nivel del mar. El tamaño angular aparente de Marte apenas supera los  $20''$  durante los acercamientos más favorables<sup>1</sup>, por lo que los telescopios no

<sup>1</sup> Cuando la Tierra en su órbita alrededor del Sol alcanza la de Marte y éste, cuya órbita es notablemente excéntrica, se encuentra más cerca del Sol. Se llama oposición perihélica.

permiten distinguir detalles menores que unos 200 km.

En el siglo XVII los primeros observadores como C. Huygens y G. Cassini distinguieron los casquetes polares y una región oscura en el ecuador hoy llamada Syrtis Major, con la que Cassini calculó con gran exactitud el periodo de rotación de Marte. En el siglo XVIII W. Herschel observó con claridad ambos casquetes polares y la inclinación del eje del planeta, mientras que J. Schroeter describió las manchas variables que observaba como posibles nubes.

En el siglo XIX los primeros mapas completos publicados por los alemanes W. Beer y J. Maedler, y el escritor R. Proctor (utilizando dibujos del inglés W. Dawes), se limitaban a describir los detalles que creían ver asumiendo que se trataban de rasgos superficiales estables, pero pronto los franceses E. Trouvelot y C. Flammarion relacionaron las manchas cambiantes con vegetación y la presencia de agua. A esto contribuyó la línea de coloración verdosa que suele observarse en el límite de los casquetes polares, que se atribuyó a vegetación que crecía junto al hielo derretido. En este caso la turbulencia de la atmósfera terrestre se combina con el cerebro humano, que tiende a crear la ilusión de estructuras inexistentes en las imágenes borrosas, sobre todo si tenemos en cuenta la mala calidad de los primeros telescopios.

Esta mezcla de imaginación y aberraciones ópticas se exageró aún más durante el siglo XIX con observadores influyentes como G. Schiaparelli y P. Lowell. Sus mapas contenían cada vez más canales (líneas rectas interconectando diferentes zonas del planeta), hasta cientos de ellos en los últimos mapas, y las estructuras dibujadas tenían la particularidad de no coincidir apenas con los mapas de otros observadores, especialmente los más experimentados (aunque menos entusiastas) como W. De la Rue. La desafortunada traducción al inglés del término italiano *canali*, con la que originalmente Schiaparelli se refería a estructuras de origen natural, como ríos, extendió una fiebre con la que se popularizó la existencia de una civilización, los marcianos, que debía estar agonizando en un planeta desértico y por eso, según Lowell, construían canales para transportar el agua desde los polos al ecuador. Hasta se postuló que debía ser una civilización avanzada, socialista, y pacífica (en contraste con una época en que abundaban las guerras y a pesar de que Marte es el dios romano de la guerra). Esta imaginación culminaría con la Guerra de los Mundos de G. Wells, en la que los marcianos se rebelan por su mala fortuna y deciden conquistar la Tierra. A comienzos del siglo XX aún se hablaba de misteriosas luces y señales de radio procedentes del planeta. Aunque la idea perdió popularidad, astrónomos como E. Slipher siguieron sosteniendo la existencia de vida vegetal en Marte hasta mediados del siglo XX.

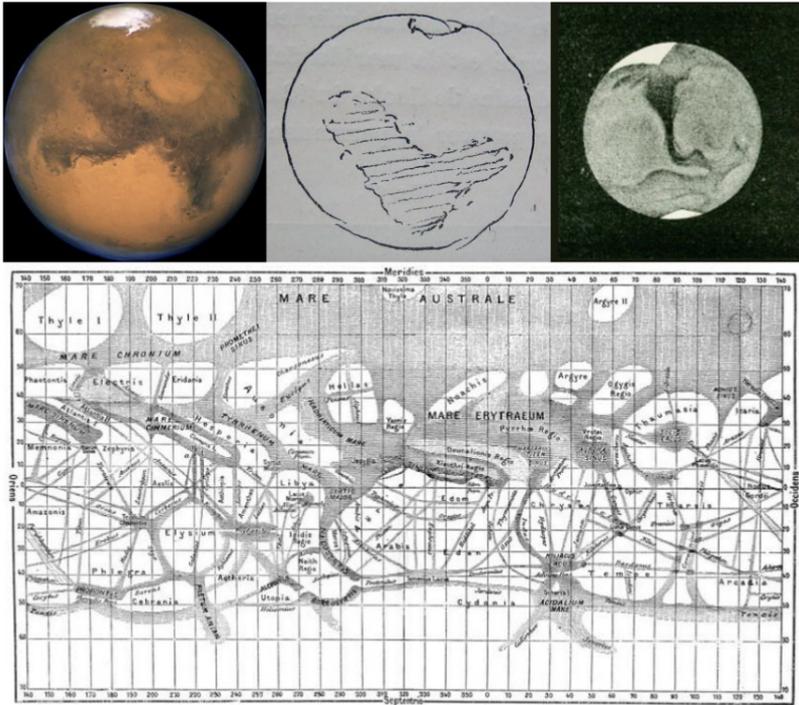


Figura 1: En la parte superior izquierda aparece una fotografía de Marte obtenida con el Telescopio Espacial Hubble en 2003. A su derecha un esquema de Huygens de 1672, seguido de un dibujo de De la Rue de 1856. Debajo y en grande, el mapa de Marte de Schiaparelli publicado en 1892 por Flammarion en la obra *El Planeta Marte*. Cortesía de NASA y la Universidad de California.

En los años siguientes algunas de las primeras imágenes detalladas parecían mostrar caras humanas, como la de Cydonia, otro efecto de la imaginación por el juego de luces y sombras bajo ciertos ángulos de iluminación. Sin embargo, la imagen actual de Marte nada tiene que ver con los marcianos. Un gran esfuerzo tecnológico y científico durante los últimos 50 años nos ha proporcionado una detallada cartografía que incluso hoy día supera a la que se tiene de la Tierra, especialmente en los fondos oceánicos. De todas las estructuras supuestamente observadas al telescopio perduran muy pocas: el valle Marineris (el único canal real), el cráter Schiaparelli de 400 km de diámetro, y la cuenca Hellas Planitia. Algunos observadores han llegado a distinguir los grandes volcanes de Marte sobre el borde o limbo del planeta, si bien estos detalles se ven por poco tiempo y están al límite incluso de los telescopios visuales más potentes.

## La exploración espacial revela el auténtico Marte

Las oposiciones de Marte se suceden aproximadamente cada dos años, permitiendo comunicaciones más fluidas con las sondas espaciales. En 1965 la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA) logró un puñado de imágenes a través de la cámara de la Mariner 4. Supusieron una gran decepción al mostrar Marte como un planeta estéril, repleto de cráteres de impacto como la Luna. Algunos eran tan grandes que resultaba obvio que la superficie era muy antigua, con una tenue atmósfera de CO<sub>2</sub> sin signo alguno de agua o una biosfera. La ausencia de campo magnético implicaba un interior frío y una superficie expuesta a radiación que destruye las moléculas orgánicas. Pero estas imágenes sólo mostraban el 1% de la superficie total. Las sondas Mariner 6 y 7 llegaron a Marte pocos días después del memorable alunizaje del Apollo 11 en 1969. Las nuevas y numerosas imágenes exploraban ya el 10% de la superficie y mostraron un Marte con evidentes diferencias en el grado de craterización de unas regiones y otras, pero en conjunto el mismo escenario. El interés por Marte se reanudó en la oposición perihélica de 1971. Mientras Rusia fracasaba con las misiones Mars 2 y 3, con las que sólo pudieron fotografiar un Marte envuelto en una gran tormenta de arena<sup>2</sup>, el diseño más flexible de la Mariner 9 permitió una espera de varias semanas que fue decisiva para obtener miles de imágenes detalladas que mostraron por fin los grandes volcanes y el valle Marineris. La resolución de las nuevas imágenes obligó a establecer un conjunto de normas para la nomenclatura de los variados accidentes identificados, como cañones, valles, desiertos, o llanuras.

Tras el éxito de la Mariner 9 la NASA planeó una misión más ambiciosa, la Viking, para la oposición de 1975. En una primera fase dos orbitadores hicieron una cartografía muy mejorada y utilizaron sus espectrómetros infrarrojos para medir la inercia térmica de la superficie. Una alta inercia térmica indica terrenos donde predomina el polvo de pequeño tamaño, que debían por tanto ser menos rocosos y más seguros. Así se pretendía seleccionar las zonas de aterrizaje para los módulos de descenso presentes en cada orbitador, que a pesar de los avances técnicos pesaban 650 kg y eran frágiles. Las imágenes mostraron un relieve peligroso en las regiones seleccionadas, lo que obligó a improvisar nuevas zonas de aterrizaje: Chryse Planitia para la Viking 1, y Utopia Planitia para la Viking 2. Ambas aterrizaron suavemente en julio y septiembre de 1976. Tras un primer *selfie* para comprobar que las patas estaban bien asentadas, la Viking 1 envió otra imagen que mostraba a pocos metros una roca grande y llamativa, apodada *Big Joe* (Pepote). Posiblemente transportada hasta ahí por una corriente de agua, esta roca podría haber dado al traste con la misión.

---

<sup>2</sup>La posibilidad de una gran tormenta de arena durante el perihelio, cuando el gradiente de temperatura en la superficie aumenta y con ello los vientos, había sido advertida por algunos científicos, y se ha repetido en varias ocasiones, la última en 2018.

Las cámaras de las Viking transmitieron excelentes imágenes panorámicas de casi 360°. A nivel científico, los módulos incluían una estación meteorológica para estudiar la atmósfera (con sensores para la temperatura, el campo magnético, y un sismómetro que no llegó a funcionar bien) y un laboratorio biológico para estudiar las propiedades químicas del terreno y tratar de detectar signos de la presencia de vida. Se utilizó un espectrómetro de masas y otro de fluorescencia para hacer tres experimentos con los que determinar si la actividad biológica era capaz de producir moléculas orgánicas, si consumen alimento, y si alteran el aire. El primer experimento dio resultados demasiado positivos que luego no pudieron reproducirse, lo que fue explicado por la abundancia de óxidos de hierro en la superficie. El segundo dio también positivo al detectar metabolismo (liberación de  $\text{CO}_2$  al humedecer el suelo con una sustancia rica en nutrientes), pero fue puesto en duda porque la emisión detectada de  $\text{CO}_2$  cesó muy pronto. El tercero dio un claro negativo al no detectarse gases derivados de la actividad biológica, como metano. En 2018 se publicó un reanálisis al constatarse con el vehículo Phoenix que el resultado negativo del tercer experimento se debió a la presencia de sales de perclorato, que al calentarse destruyen las moléculas orgánicas, si bien la propia radiación UV que llega a la superficie de Marte también debería destruirlas. En todo caso la existencia de vida en Marte sigue siendo una pregunta abierta, si bien ésta sólo sería posible bajo la superficie. A pesar de que los ingenieros diseñaron la misión para 90 días los orbitadores funcionaron durante 2 y 4 años respectivamente, y el Viking 1 envió datos desde la superficie hasta finales de 1982, pues los módulos estaban preparados incluso para una comunicación directa con la Tierra. La misión Viking fue, junto con las sondas Voyager que estudiaron el Sistema Solar exterior, los proyectos más exitosos de la NASA en el siglo XX.

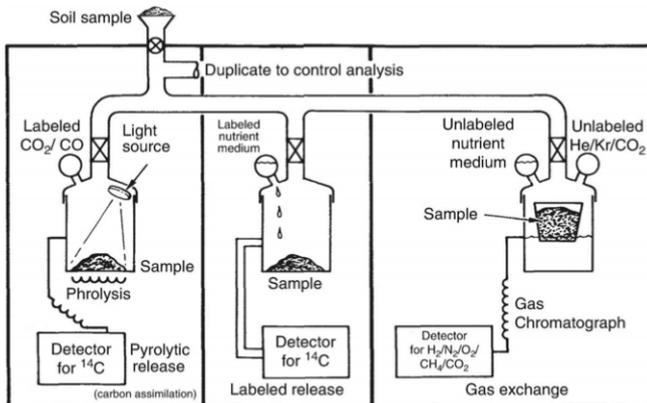


Figura 2: Dibujo de los experimentos de Viking. Cortesía de NASA.

Tras la misión Viking la tecnología no estaba lista para proyectos más ambiciosos y durante casi 20 años no se volvió al planeta rojo. Además, la vuelta resultó un fracaso, pues la Mars Observer, diseñada con tecnología de satélites de observación terrestre, se perdió en 1993 pocos días antes de entrar en órbita. Tres años después Rusia lanzó la Mars 96, la sonda más cargada de la historia de la exploración planetaria con casi 7 toneladas, que se perdió nada más despegar. Mientras los rusos abandonaron sus objetivos la NASA, envuelta también en otros fracasos como el desastre del transbordador Challenger, decidió apostar por misiones pequeñas de bajo coste pero innovadoras, en vez de enviar demasiado equipo científico en cada misión. La Mars Pathfinder se diseñó para ser decelerada por rozamiento con la atmósfera de Marte, y bajar a la superficie mediante un paracaídas, pequeños retrocohetes, y un conjunto de *airbags* de protección. Éstas y otras tecnologías redujeron el peso de combustible y abarataron su lanzamiento y su construcción, que costó apenas 200 millones de dólares. La nave era una pequeña base con un vehículo móvil, llamado Sojourner, que contaba con cámaras, una estación meteorológica, y un moderno espectrómetro. Comenzó a transmitir el 4 de julio de 1996 desde la desembocadura de Ares Vallis, en los primeros tiempos del desarrollo global de Internet. Esto unido a su aspecto de coche teledirigido hizo que en Estados Unidos se convirtiera en un éxito de masas. Entre sus hallazgos están las rocas de conglomerado y cantos rodados, claramente modificadas por la acción del agua durante un tiempo prolongado, y rocas parecidas a las andesitas terrestres (salvo por el exceso de óxidos de hierro en Marte), con más silicio y menos calcio que los basaltos, y relacionadas en la Tierra con el vulcanismo explosivo asociado a la tectónica de placas. Las medidas precisas de la rotación mostraron que el núcleo debía tener un tamaño porcentual en torno al 50% del radio de Marte, muy similar al terrestre.



Figura 3: Panorámica de la Mars Pathfinder. Cortesía de NASA.

También en 1996 partió la Mars Global Surveyor (MGS), abarataada por el empleo de los mismos instrumentos que la Mars Observer. Encontró campos magnéticos residuales en las regiones superficiales más antiguas, interpretados por la presencia de cámaras magmáticas con rocas magnetizadas. La alineación de estas anomalías demostró que Marte tuvo un campo magnético global en el pasado. Su espectrómetro impuso límites bajos a la abundancia de arcilla, carbonatos, y cuarzo, relacionados en la Tierra con la acción del agua, la sedimentación marina, y la erosión

fluvial. Pero los datos no fueron globales y el polvo de la superficie podía enmascarar la verdadera mineralogía. Sin embargo, la gran aportación fue el cartografiado topográfico completo con el altímetro MOLA, que permitió obtener el primer mapa tridimensional. Las nuevas imágenes mostraron estratificación en las paredes del valle Marineris como consecuencia de coladas volcánicas, las últimas de las cuales, al no presentar fracturas, debían ser más recientes de lo que se pensaba. Las detalladas imágenes con 10 m de resolución mostraron la omnipresencia a pequeña escala de dunas y otros efectos de la acción del viento que antes no se podían observar.

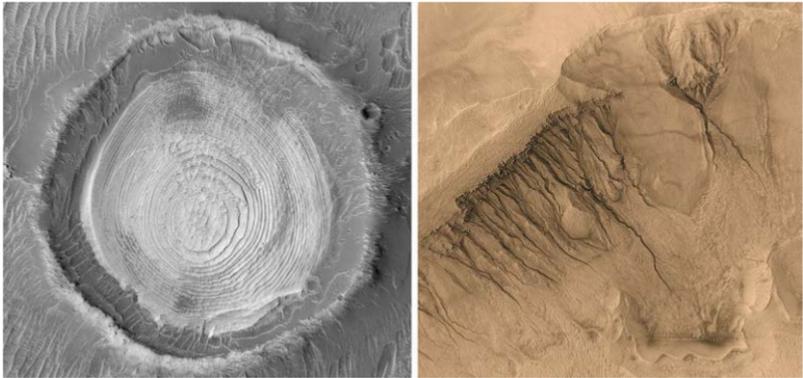


Figura 4: Izquierda: capas estratificadas en un cráter situado dentro del cráter Schiaparelli, formadas con ayuda del agua. Derecha: canales excavados por corrientes recientes de agua líquida en las paredes del cráter Newton. Ambas del MGS. Cortesía de NASA.

La Mars Odyssey es un orbitador equipado con una cámara infrarroja y un espectrómetro de rayos gamma. Llegó a Marte en 2002 para una misión de dos años, pero aún sigue activa (se espera que hasta 2025) y gracias a su órbita heliosíncrona (polar) ha sido decisiva para enviar la mayor parte de los datos de los *rovers* (vehículos exploradores) Spirit y Opportunity, que exploraron la superficie desde 2003, durante 7 y 15 años respectivamente. La Odyssey detectó la hidratación de los minerales en amplias regiones de Tharsis y Medusa Fossae, cercanas al ecuador, lo que se interpretó por la presencia de gran cantidad de hielo mezclado con la tierra, lo que conocemos como permafrost, enterrado a un metro de la superficie.

La siguiente misión de enorme éxito es la Mars Express de la Agencia Espacial Europea (ESA), que comenzó sus operaciones en 2005 utilizando unos instrumentos similares a los que se perdieron con la Mars 96 rusa. A diferencia de ésta pesaba poco más de una tonelada, de la que casi la mitad era combustible. Aunque su módulo de descenso Beagle se perdió,

el orbitador contaba con cámaras estereoscópicas de alta resolución, varios espectrómetros para trabajar a longitudes de onda entre el ultravioleta y el infrarrojo, y un sensor de partículas cargadas. Aún sigue trabajando, tras más de 16 años y 20 000 órbitas alrededor de Marte, y tiene combustible hasta 2025. Tuvo una actualización crítica en 2018 cuando sus giroscopios estaban a punto de fallar y su funcionalidad fue reemplazada por unas cámaras usadas para detectar estrellas, lo que obligó a reescribir todo el sistema de control. A nivel científico logró descubrir agua líquida bajo el subsuelo del polo sur ([2]) y trazas de metano en la atmósfera, si bien los primeros signos de metano los detectó la NASA desde la Tierra en 2003. También descartó que la pérdida de iones desde la atmósfera, resultado de la misión rusa Phobos 2, sea suficiente como para explicar la pérdida de agua, por lo que ésta debe seguir bajo el subsuelo, y sus imágenes detalladas de Phobos sugieren que debió formarse con los residuos de un impacto primigenio y no como asteroide capturado. Su cartografía tridimensional de Marte cubre el 90% con resoluciones de entre 10 y 20 m, y ha sido utilizada para seleccionar regiones de interés en misiones posteriores.

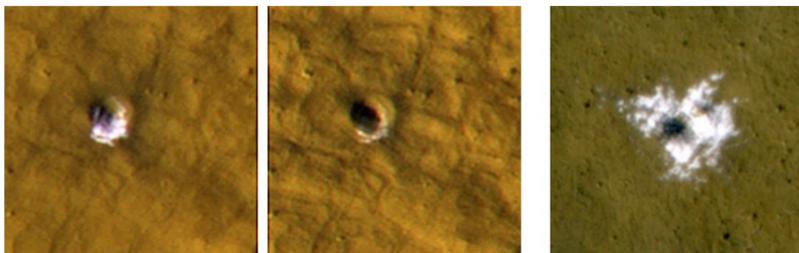


Figura 5: Izquierda y centro: evaporación progresiva del hielo superficial expuesto por un impacto reciente que formó un cráter de 6 m. Derecha: impacto muy reciente que ha dejado expuesto hielo alrededor. Ambas obtenidas con HiRISE. Cortesía de NASA.

En 2006 la Mars Reconnaissance Orbiter encontró las primeras huellas claras de carbonatos en amplias regiones de Marte, e incluso de depósitos de cloruros, resultado de la evaporación de charcos o lagos de poca profundidad. Sus cámaras mostraron la exposición y evaporación progresiva de hielo de agua sobre pequeños cráteres consecuencia de nuevos impactos en latitudes medias del hemisferio norte. Sus resultados sugieren la presencia de enormes reservas de agua congelada, y glaciares, en amplias extensiones de latitudes medias y altas del norte y sur, justo debajo de la capa de polvo de la superficie. Su cámara HiRISE, la mayor enviada a un planeta con 0.5 m de diámetro, es capaz de alcanzar resoluciones de 30 cm con imágenes de 20 megapíxeles. Esto ha permitido a la sonda descubrir los primeros flujos de agua líquida salada en vivo en

los bordes escarpados del cráter Newton y valle Marineris, fenómenos que se repiten cíclicamente durante el verano. También ha seguido desde arriba las huellas de los rovers presentes en la superficie, apoyando al Curiosity en el envío de sus datos a alta velocidad.

En 2008 la sonda americana Phoenix aterrizó en el polo norte de Marte con resultados impresionantes. Su brazo mecánico desenterró hielo justo bajo el suelo, que al poco tiempo se evaporó, y su estación meteorológica detectó nieve evaporándose a 4 000 m de altura. Se detectó carbonato de calcio (caliza) en las muestras. Algunas imágenes sugieren incluso que las patas de Phoenix se vieron salpicadas de agua al posarse sobre la superficie. La misión acabó a finales de 2008 con el avance del invierno.

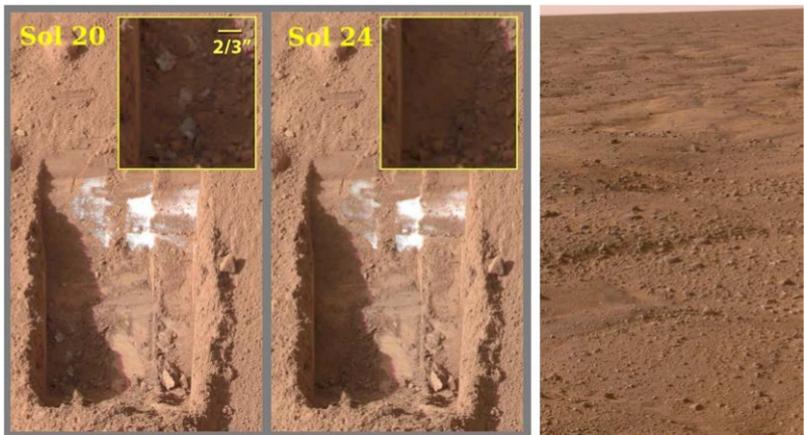


Figura 6: Izquierda: evaporación de hielo excavado por la sonda Phoenix en el polo norte de Marte durante 4 soles o días en Marte. Derecha: panorámica de Phoenix mostrando estructuras poligonales por la presencia de hielo en el subsuelo. Cortesía de NASA.

El rover Curiosity aterrizó en 2012 en el cráter Gale, muy cerca del ecuador. Integra múltiples cámaras para obtener imágenes estereoscópicas, microscópicas, y video en tiempo real, una estación meteorológica diseñada por ingenieros del Centro de Astrobiología, un instrumento para medir la radiación que llega a la superficie, y múltiples espectrómetros para estudiar la composición mineralógica de las rocas desde varios metros de distancia. Cuenta con un generador nuclear que le permitirá seguir activo durante otros 6 años. Junto con los otros rovers ha permitido clasificar las rocas de Marte en diferentes categorías según el grado de modificación que han sufrido por el agua, la cual tiende a horadar el basalto y depositar minerales y sales disueltas. También ha constatado que el polvo marciano es magnético por la presencia de magnetita. En 2014 el Curiosity detectó

un incremento repentino en la concentración de metano sobre el cráter Gale durante el verano marciano, medida que fue confirmada de manera independiente por la Mars Express. Es posible que la liberación parta de un conjunto de fallas posiblemente activas en Medusa Fossae, región situada 500 km al este. El movimiento liberaría el metano almacenado en el subsuelo bajo el hielo fracturado. Desde 2018 la ESA estudia la atmósfera con el Trace Gas Orbiter, en particular los isotopólogos del metano, para discernir sobre un origen geológico o biológico, pero a pesar de la alta sensibilidad aún no se ha detectado ([3]). Como el metano es químicamente estable durante siglos en Marte algún proceso debe eliminarlo antes de dispersarse en la atmósfera.

La misión MAVEN estudió la atmósfera de Marte desde el último máximo de actividad solar, en 2014. Su principal hallazgo es que Marte pierde poco a poco su atmósfera a un ritmo que se intensifica tanto en los máximos de actividad solar como en el perihelio. La pérdida del campo magnético cuando el interior de Marte se enfrió debió suponer el inicio de esa pérdida progresiva de atmósfera, si bien el intenso bombardeo tardío fue probablemente el responsable principal de que Marte perdiera la mayor parte de su atmósfera. A pesar de la ausencia de campo magnético global MAVEN ha observado algunos eventos de auroras. Desde 2019 asiste a otras misiones enviando sus datos a la Tierra.

La NASA continúa explorando la superficie de Marte. A finales de 2018 la misión InSight aterrizó cerca del ecuador, en Elysium Planitia, para una misión de al menos dos años en la que medirá los seísmos, la nutación del eje, y el ritmo de pérdida de calor de la superficie. También cuenta con una estación meteorológica con participación de ingenieros españoles. Con esta misión se logrará entender con detalle cómo es la estructura interna de Marte. InSight ya ha detectado cientos de pequeños seísmos, causados por la actividad interna y por la caída de meteoritos. La próxima misión es el rover Perseverance, una evolución del Curiosity que llegará en febrero de 2021 al cráter Jezero, un antiguo lago situado en Syrtis Major. Se encargará de analizar en detalle los minerales, buscar moléculas orgánicas, y estudiar el subsuelo con un georadar. También incluye una estación meteorológica de diseño español. Su generador nuclear le permitirá trabajar eficazmente de noche y durante el invierno. Incluye tecnologías experimentales como producir oxígeno (como combustible y también como soporte de una futura misión tripulada) o el helicóptero Ingenuity, que realizará vuelos autónomos alrededor del Perseverance y le ayudará a elegir el camino más seguro. A esta misión se le unirá por las mismas fechas la misión china Tianwen-1, que incluye un orbitador para mapear la superficie y un rover de exploración con un moderno georadar. Con estas misiones el número de artefactos operativos orbitando o explorando la superficie del planeta rojo pronto superará la decena. Si no hay más retrasos la ESA enviará su primer rover en la oposición de 2022.

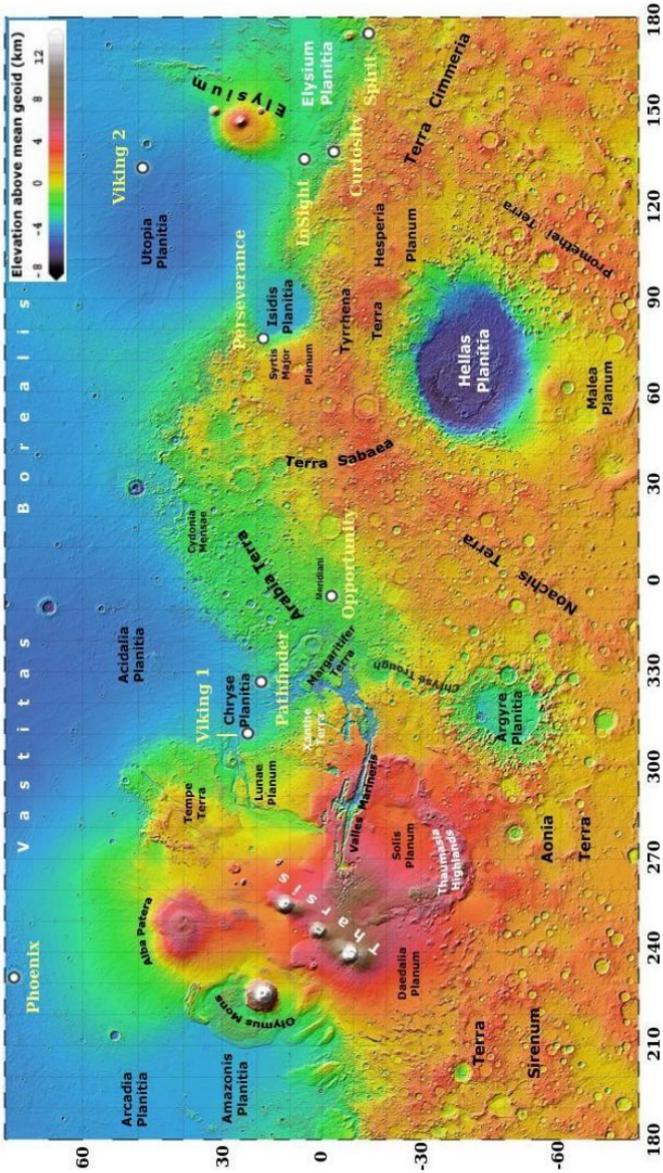


Figura 7: Las tierras bajas (azul en este mapa topográfico) del ecuador son preferibles para aterrizar vehículos de exploración, pues el aire es más denso y hay más radiación solar. Cortesía de NASA.

## **Huellas superficiales del pasado**

Marte presenta en buena parte del hemisferio norte una región lisa y desértica casi desprovista de accidentes, denominada Vastitas Borealis. Esta región se encuentra unos 4 km por debajo del nivel medio de elevación del planeta, y sus límites presentan abundantes evidencias de flujos de lava debidos a un intenso vulcanismo, erosión fluvial y la presencia de un extenso mar que pudo alcanzar cientos de metros de profundidad. Su origen es incierto, pudo deberse a un gran impacto primigenio, pero sus bordes son posiblemente demasiado irregulares para ello. Por el contrario, las tierras altas del hemisferio sur y parte del norte muestran numerosos cráteres de impacto de gran tamaño. Esta diferencia tan evidente se denomina dicotomía y muestra que Marte tuvo una intensa actividad volcánica que se extendió más allá de la época de gran bombardeo de asteroides.

La morfología de los cráteres de impacto muestra diferencias significativas con la latitud. Los cráteres presentes cerca del ecuador están en general bien preservados, sus bordes son definidos y están acompañados de otros cráteres pequeños. En cambio, los cráteres localizados por encima de los 30° de latitud muestran bordes redondeados, vagamente definidos, y los cráteres pequeños de alrededor casi desaparecen. Esta diferencia se achaca a la abundancia de hielo lejos del ecuador, que con el tiempo puede erosionar los bordes de los cráteres y cubrir muchos de ellos completamente, generando a menudo pequeños canales o depósitos de sedimentos.

Muchos cráteres presentes en planicies generadas por flujos de lava presentan bordes en diferentes capas superpuestas, como si el material eyectado tras la colisión hubiese fluido por la superficie mezclado con la lava. En la región de Syrtis Major los cráteres más grandes están rellenos de lava, los medianos tienen esta aureola que recuerda a un huevo frito, mientras que los pequeños presentan llamativas colas de viento parecidas a las observadas en desiertos terrestres, cuando el viento tiene una dirección preferente y el polvo se acumula en las regiones protegidas. Esto muestra que el viento juega un papel relevante en los accidentes de menor tamaño.

En otros casos como los cráteres de Arabia Terra, al oeste de Syrtis y más cerca de la región de la dicotomía con evidencias de erosión fluvial, la eyecta aparece con bordes irregulares. Se denominan cráteres en pedestal y en ellos el material eyectado, que se encuentra elevado cientos de metros en relación al nivel circundante, ha protegido la superficie de la erosión mientras que el resto ha perdido altura como consecuencia tanto de la erosión como de la posible fusión del hielo del subsuelo. Los cráteres con pedestal son más abundantes cerca de los polos. En las zonas bajas del hemisferio norte muchos de los cráteres menores han sido alterados por el viento y el hielo, y otros situados en el borde de la dicotomía parecen haber sido rellenos de sedimentos arrastrados por fuertes inundaciones desde

los canales que desembocan en la región de Chryse Planitia.

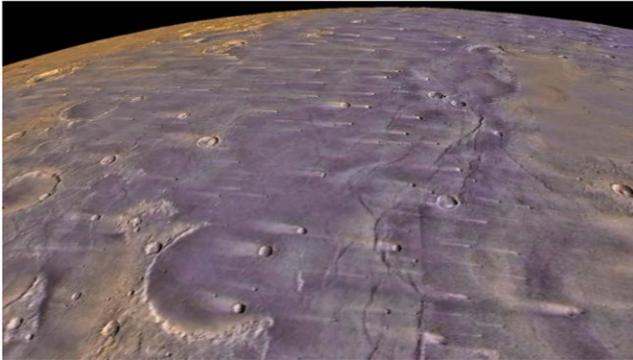


Figura 8: Colas de viento en Syrtis Major, una de las pocas características identificables al telescopio. La región, elevada 2 km respecto al terreno rojizo circundante, debe su color oscuro a las rocas basálticas renovadas por la erosión del viento, que compensa la oxidación. Los cráteres aquí son pequeños y muchos muestran una aureola. Syrtis Major fue una zona de intenso vulcanismo hace 3000 millones de años. Imagen generada con datos de Viking y MGS.

Marte presenta dos grandes regiones volcánicas: Tharsis, cerca del ecuador, y Elysium, situada  $100^{\circ}$  al oeste y a  $25^{\circ}$  de latitud norte. La región de Tharsis es un enorme engrosamiento de la corteza que alcanza en algunas zonas los 10 km de altura sobre el nivel de referencia del geoide de Marte. Las estructuras visibles en la superficie son consistentes con él, lo que sugiere que el engrosamiento fue una de las primeras estructuras que se formaron. Contiene los volcanes más grandes, incluyendo el Olympus Mons con unos 600 km de extensión y 24 km de altura<sup>3</sup>. La menor gravedad de Marte permite que existan volcanes tan colosales, pero también es cierto que el flujo de magma desde el interior de Marte tuvo picos de actividad muy superiores a los que haya registrado la Tierra, y la ausencia de tectónica de placas en Marte hizo que los volcanes crecieran mientras se mantuvo el suministro de magma desde el interior. En la Tierra la actividad volcánica asociada al movimiento de las placas da lugar a múltiples volcanes de menor tamaño (islas), aunque también hay plumas que dan lugar a volcanes de mayor tamaño.

<sup>3</sup>El Monte Olimpo es el volcán más alto del Sistema Solar. Se trata de un volcán en escudo generado por la acumulación de lavas muy fluidas con baja pendiente, y presenta varias calderas en su cima. Es similar al Mauna Loa de Hawaii, pero bastante más grande.

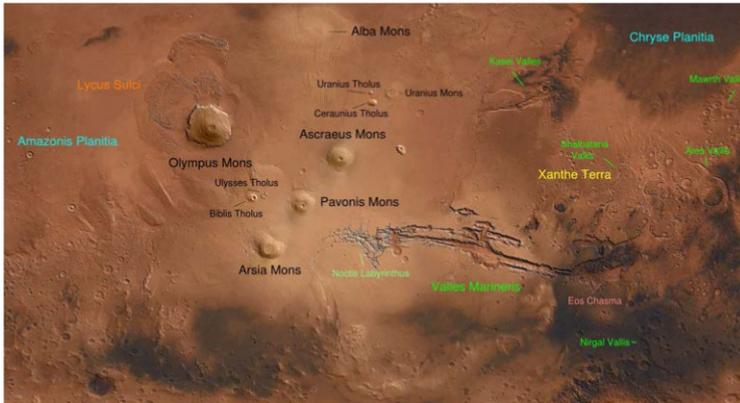


Figura 9: Principales formaciones en la región volcánica de Tharsis y el valle Marineris. Los tres volcanes de Tharsis se alinean hacia el NE terminando en el volcán Ceraunius Tholus, menor pero con un perfil más inclinado. El volcán más alto, Olympus Mons, se alinea al NE con el más grande y de menor relieve, Alba Mons. Los bordes del Olympus Mons muestran desprendimientos, signos de posibles glaciares y enormes coladas de lava de diferentes edades que se extienden por Lycus Sulci. Al noreste del valle Marineris se observan otros valles menores que desembocan en Chryse. Cortesía de NASA.

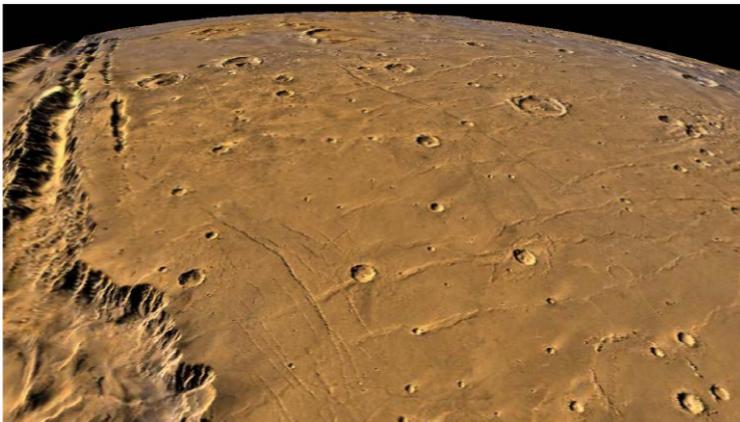


Figura 10: Detalle de algunas de las fracturas radiales y paralelas al sur del valle Marineris formadas durante la elevación del domo de Tharsis. Imagen generada con datos de Viking y MGS.

En la Tierra la mayoría del magma primitivo no llega a ser expulsado por los volcanes, y queda atrapado en las cámaras magmáticas donde cristaliza repetidamente y se mezcla con los silicatos, dando lugar a una variedad de minerales con cristales grandes. En este proceso el gas queda atrapado a alta presión en estas rocas profundas. Se denominan rocas plutónicas o intrusivas, en contraposición con las rocas volcánicas o extrusivas, que también son ígneas pero solidifican en la superficie. Cuando se produce una erupción desde estas cámaras la composición del magma es mucho más evolucionada, presentando menos hierro y más silicio, y el resultado es una erupción violenta en la que se libera una gran cantidad de gases y ceniza volcánica, como la erupción del monte Vesubio, que en el año 79 destruyó Pompeya. La menor gravedad de Marte hace posible que las cámaras magmáticas se encuentren a mayor profundidad y sean mucho mayores que las presentes en la Tierra. En 2015 el rover Curiosity detectó la presencia del mineral tridimita en una muestra situada sobre el cráter Gale ([4]). La tridimita es básicamente sílice ( $\text{SiO}_2$ ), como el cuarzo, pero con una cristalización diferente porque se forma a mayor temperatura y menor presión. Está más evolucionada aún que la andesita hallada por el Sojourner, y sugiere que el vulcanismo en Marte pudo ser más explosivo de lo pensado, liberando grandes cantidades de ceniza. De hecho, el fondo de algunos cráteres (como el *White Rock* del cráter Pollack) muestra material muy reflectante que ha sido interpretado como ceniza volcánica compactada y erosionada por el viento, lo que sugiere que la superficie podría presentar capas de ceniza que ayudarían a datar este tipo de vulcanismo. Se han hallado capas parecidas en las paredes de cráteres situados tanto en Elysium como en Tharsis, a veces mezclados con agua.

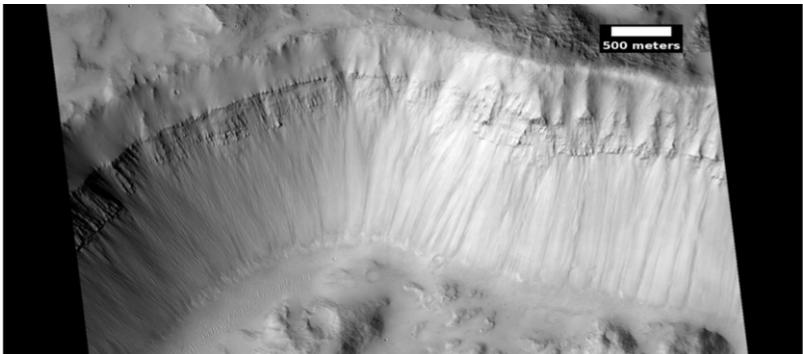


Figura 11: Capas de ceniza en un pequeño cráter situado cerca de Hecates Tholus, en la región Elysium Planitia. El volcán es hoy un glaciar debido a la disminución de la oblicuidad del eje de Marte en los últimos 20 millones de años. El último vulcanismo en Elysium se data entre 100 y 300 millones de años atrás. Cortesía de NASA.

El valle Marineris es un enorme cañón de 4000 km de longitud. Aunque visualmente recuerda al cañón del Colorado (que es 30 veces más pequeño), su origen no es la erosión fluvial, sino que es el resultado del hundimiento del terreno por una enorme falla normal. Existen análogos terrestres como el valle del Rift en África o el mar Rojo. Su parte oeste colinda con Tharsis y se encuentra en lo más alto del abombamiento de la corteza. Se caracteriza por una intrincada red de canales relativamente estrechos (Noctis Labyrinthus) y rectilíneos, formados por fallas cruzadas con bordes muy abruptos. Hacia el este el valle se ensancha en la región de Candor Chasma, cuyas paredes tienen casi 10 km de altura y presentan los primeros signos de erosión y depósitos de sedimentos en algunas zonas del fondo. La presencia de lagos parece intermitente por la caída de agua desde las paredes del valle. Al este la elevación disminuye y el canal desemboca en una región de aspecto muy irregular llamada Eos Chasma, en la que el terreno colapsó y fue barrido por una gran masa de agua. Esta avalancha ocurrió o bien por la fusión del hielo del subsuelo ante la presión del terreno situado por encima, o más probablemente por un aumento de temperatura y presión atmosférica. Esta liberación de agua provocó inundaciones catastróficas en la superficie de Marte, con caudales muy superiores a cualquier otro evento conocido en la Tierra, que en muy poco tiempo formaron múltiples canales que se extienden hacia el norte hasta desembocar en Chryse Planitia. En la desembocadura de Ares Vallis la erosión del agua ha moldeado numerosas islas.

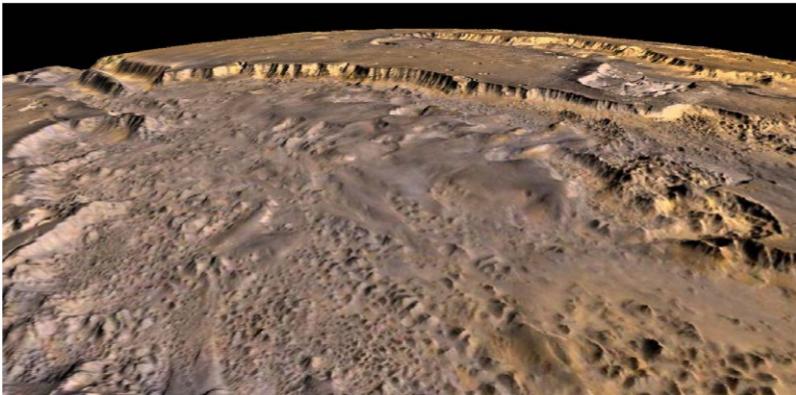


Figura 12: La parte sur del ensanchamiento de la desembocadura del valle Marineris (visible en la parte superior izquierda) muestra un terreno colapsado (Eos Chasma) por la liberación de enormes cantidades de agua que se encontraba congelada en el subsuelo. La inundación arrastró todo a su paso llegando hasta Ares Vallis. Imagen generada a partir de datos de Viking y MGS.

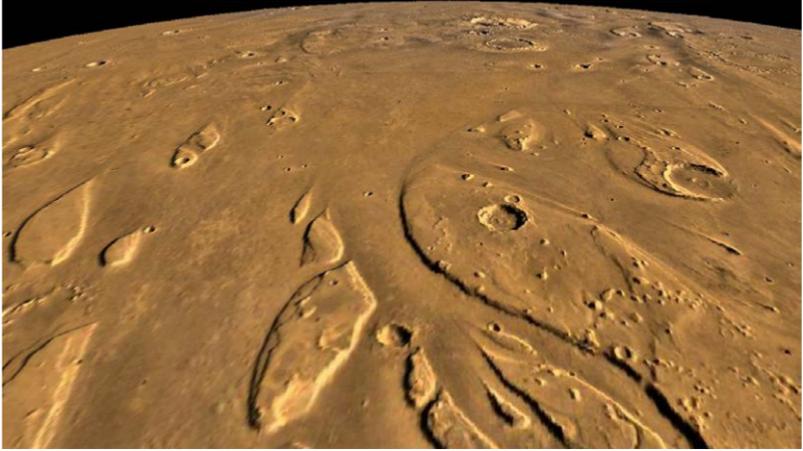


Figura 13: Islas moldeadas por el agua en la región de Ares Vallis. El flujo procedente del valle Marineris desemboca en la planicie de Chryse visible en la parte superior. Los cráteres anteriores fueron sepultados. Imagen generada a partir de datos de Viking y MGS.

La datación por el número y tamaño de los cráteres en estas islas sugiere que hubo episodios de inundaciones intermitentes a lo largo de bastante tiempo, y el cambio abrupto del terreno entre las regiones mencionadas de Eos Chasma y Ares Vallis sugiere que el agua no tuvo tiempo de suavizar el terreno, otra evidencia de que el flujo no fue continuo. Esta conclusión también se sustenta en los pocos afluentes que presentan otros canales que desembocan en Chryse. El agua crea lagos en los cráteres, y cuando desborda se generan canales que en ocasiones conectan unos cráteres o lagos con otros situados a menor altura. Es probable que estos canales se generasen por episodios de vulcanismo en la región de Tharsis, que podrían incrementar temporalmente la presión en la atmósfera y la temperatura. En el hemisferio sur también hay pequeños canales originados por socavamiento, como ríos subterráneos, al fundirse el hielo del subsuelo.

Los deltas en las desembocaduras de ríos requieren de un suministro de agua más estable. Se han identificado deltas en el cráter Jezero (destino del rover Perseverance) y el Eberswalde. En el hemisferio sur hay otras huellas de la presencia de agua estable. Se trata de canales muy estrechos que se extienden y ensanchan hacia zonas más bajas con algunos afluentes, como en Nirgal Vallis. Estas estructuras requieren de un clima más cálido y una atmósfera más densa que la actual. Sin embargo, el número y extensión de estos ríos y la presencia de impactos pequeños en algunos de ellos sugiere que este clima más cálido no perduró. La presencia de agua es localizada y no ha logrado suavizar el relieve del terreno como en la Tierra.

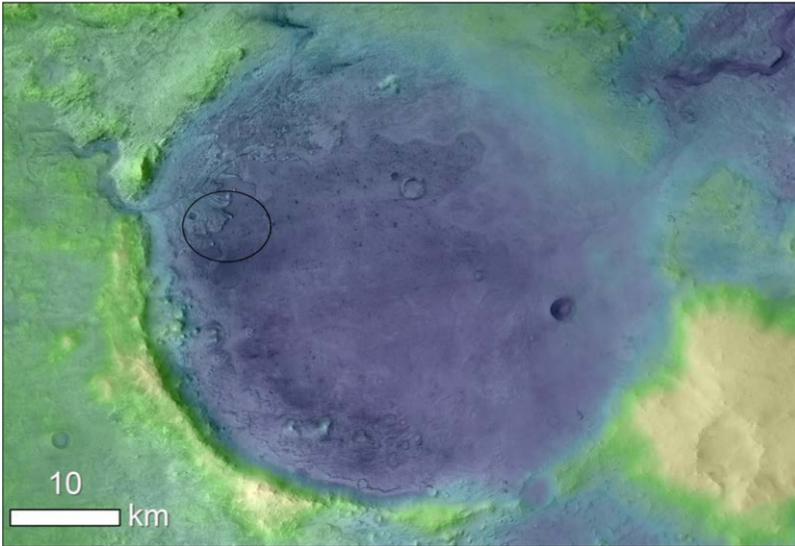


Figura 14: Cráter Jezero (los colores representan elevación). La elipse de la izquierda muestra la zona de aterrizaje del Perseverance, en el delta que forma un canal que desemboca en él. Cortesía de ESA.

Los casquetes polares de Marte contienen la mayor parte del agua visible actualmente sobre la superficie. Presentan diferencias entre sí como resultado de que el casquete norte se encuentra sobre una planicie y el sur sobre terrenos elevados y craterizados. Además, el verano en el hemisferio norte coincide con el afelio, lo que confiere al casquete polar norte temperaturas más suaves que las del casquete sur. Como el  $\text{CO}_2$  se congela por debajo de  $-125^\circ\text{C}$  y estas temperaturas no suelen alcanzarse en el casquete norte, su composición es principalmente hielo de agua, mientras que el casquete sur se compone principalmente de  $\text{CO}_2$  congelado que durante el verano austral desaparece casi por completo. La liberación del  $\text{CO}_2$  puede subir un 20% la presión atmosférica y provocar tormentas de arena que depositan finas capas de polvo periódicamente. Este polvo se mezcla con el hielo y contribuye a rejuvenecerlo en términos geológicos. El casquete sur no se encuentra centrado en el polo sur, sino desplazado como consecuencia de los cráteres y los efectos locales de la cuenca Hellas Planitia. En lugares protegidos de la radiación se han encontrado grandes depósitos de  $\text{CO}_2$  congelado cuya sublimación (al aumentar la oblicuidad del eje de Marte) duplicaría la presión atmosférica, permitiendo la existencia de agua líquida en parte de la superficie. Muy recientemente se ha encontrado que este agua líquida existe en múltiples lagos subterráneos donde la presión es mayor ([2]). En el casquete norte, la distribución del

hielo presenta una estructura espiral condicionada por la combinación de vientos radiales con la rotación del planeta. Esta estructura está cortada por un cañón de 100 km de longitud y 2 km de profundidad llamado Chasma Boreale, que presenta grandes campos de dunas y capas de sedimentos de polvo mezclados con el hielo con información valiosa del clima de Marte en el pasado, como los anillos de los troncos de los árboles.

Las simulaciones numéricas muestran que la excentricidad de la órbita de Marte varía entre 0.02 y 0.10 (órbita casi circular hasta bastante excéntrica, como la actual) con un periodo de 2.5 millones de años, y la oblicuidad entre  $15^\circ$  y  $35^\circ$ . Pero hasta hace 5 millones de años la oblicuidad fue mayor, entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$  ([5]). Esta disminución de la oblicuidad implicaría que el hielo del polo norte marciano es muy reciente. Es posible que Marte haya tenido buena parte de su hemisferio norte cubierto de hielo en etapas de baja excentricidad y oblicuidad, y otras con inclinaciones más elevadas y el hielo permanentemente bajo la superficie (salvo que la presión atmosférica aumente lo suficiente). En un pasado remoto hay evidencias claras de que los casquetes fueron mucho mayores, especialmente el casquete sur, rodeado de una región llamada Dorsa Argentea que presenta crestas llamadas *eskers*, formadas por antiguos ríos que circulaban bajo un glaciar flanqueados por morrenas que erosionaron el terreno. También hay huellas de pateras, que son volcanes en escudo sepultados de los que sólo se observa la caldera.

En el casquete norte las medidas de abundancia de HDO frente a  $H_2O$  en 2015 ([6]) mostraron una relación D/H (deuterio frente a hidrógeno) ocho veces mayor a la terrestre, lo que indica que Marte puede haber perdido una masa de agua cinco veces mayor a la contenida en su polo norte. Este agua sería suficiente para mantener un mar de casi 1 km de profundidad en el tercio norte. Aún así, sigue habiendo una gran reserva de agua en Marte.



Figura 15: Izquierda: casquete polar norte, cortado en su parte inferior por el cañón Chasma Boreale. Derecha: cráter Korolev, de 80 km, cerca del polo norte. La profundidad del hielo de agua en el casquete y el cráter es de 2 km. Cortesía de NASA y ESA.

Las tormentas de arena globales se inician alrededor del punto que recibe más intensamente la luz del Sol. Preferentemente se dan cerca del perihelio y en latitudes medias del hemisferio sur, pues la mayor presión atmosférica debida a la evaporación del casquete sur hace que los vientos ganen capacidad de transporte. Las medidas de temperatura indican que durante las tormentas de arena la variación térmica entre el día y la noche se reduce drásticamente desde los 60° hasta los 5°, de manera que estas tormentas contribuyen a calentar la superficie del planeta. El polvo tiene tamaños del orden de una micra y se concentra en torno a 30 km de altura durante las tormentas, que pueden durar meses y cubrir buena parte del planeta. Dado lo tenue de la atmósfera, su capacidad de retener calor es baja, y la superficie irradiada por el Sol tiene una temperatura unos 20° mayor que el aire. Esto, unido a las fuertes variaciones de temperatura entre el día y la noche, estimula la formación de pequeños tornados locales, preferentemente durante el verano en latitudes medias y altas de ambos hemisferios. Las tormentas de arena son, por tanto, eventos estacionales y pueden ser tanto globales como locales, pero están sujetas a posibles variaciones en la orientación del eje de Marte. En los tiempos actuales el hemisferio sur proporciona polvo al hemisferio norte, contribuyendo a las dunas y depósitos observados en el polo norte, pero la precesión del eje de Marte hace que este ciclo se invierta cada 25 000 años.

La composición de la atmósfera de Marte no es muy distinta de la de Venus, con un 95.3% de CO<sub>2</sub>, 2.6% de nitrógeno, 1.9% de argón, y concentraciones mucho menores y altamente variables de oxígeno, CO, y vapor de agua. La presión atmosférica es unas 120 veces menor a la terrestre y la temperatura media en torno a -50° C. La composición isotópica es similar a la terrestre salvo por el nitrógeno y el argón, que presentan una sobreabundancia de un factor 2 respecto de la Tierra de los isótopos pesados <sup>15</sup>N y <sup>38</sup>Ar. La interpretación es que los gases más ligeros se escapan con más eficacia de la atmósfera, si bien la sobreabundancia de isótopos pesados no se ha observado en el hidrógeno u oxígeno. La radiación ultravioleta puede disociar el CO<sub>2</sub> en CO y O atómico, y el vapor de agua en H y OH. El OH sirve de catalizador para la recombinación del CO y O en CO<sub>2</sub>, de manera que el CO<sub>2</sub> se mantiene estable como la molécula predominante. Además, la disociación del vapor de agua da lugar a reacciones que contribuyen a destruir el ozono, cuya existencia se limita a finas capas a varias decenas de kilómetros de altura sobre las regiones ecuatoriales más secas. El hidrógeno y oxígeno molecular pueden reaccionar para generar peróxido de hidrógeno (o agua oxigenada, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que oxida los minerales de hierro y silicatos de las rocas y confiere a Marte su color rojizo. La baja presión atmosférica hace que el agua líquida y el hielo no sean estables sobre la superficie, pasan a fase gaseosa rápidamente. Pero las bajas temperaturas facilitan que la alta atmósfera pueda saturarse de vapor de agua, aunque exista muy poco, y producir nieblas o nubes. A

gran altura cerca del ecuador se observan nubes similares a los cúmulos, formadas por dióxido de carbono congelado, y también en la cima de los grandes volcanes, formadas tanto por CO<sub>2</sub> como por vapor de agua cuando el aire caliente en ascenso se satura de humedad. En alturas bajas como el fondo del valle Marineris se observan nieblas de cristales de agua congelada, especialmente al amanecer, como resultado de la evaporación de la escarcha depositada por la noche. En el polo norte suele instalarse una tormenta ciclónica durante el verano que cubre todo el casquete polar. Los vientos medidos son suaves, entre 10 y 20 km/h, con ráfagas que no superan los 70 km/h incluso durante las tormentas. Dependiendo de la altura y polvo en suspensión el color de la atmósfera varía entre el violeta y el naranja.

## Evolución geológica

Para datar la superficie de los planetas se utiliza un principio muy sencillo llamado superposición, formulado por Nicolás Steno en el siglo XVII para estudiar la edad relativa de los sedimentos y fósiles al observar su estratificación. Si observamos un cráter relleno de un flujo de lava y con otros cráteres menores superpuestos podemos fácilmente deducir la secuencia en que se sucedieron estos eventos. Si una región de un planeta presenta cráteres de gran tamaño es probable que sea más antigua que otra en que los cráteres son menores o escasos. Esto se debe a que los impactos mayores borran las huellas de los anteriores y estadísticamente los cuerpos de pequeño tamaño son mucho más numerosos que los grandes<sup>4</sup>, por lo que sus impactos se extienden en el tiempo mucho más que los más catastróficos que tuvieron lugar al principio de la época de gran bombardeo.

Para estudiar la edad de las rocas en la superficie de Marte se ha utilizado como referencia el grado de craterización de la Luna y la datación de las muestras recogidas por el programa Apollo, pero la información es insuficiente. Se han identificado meteoritos de origen marciano, pero no es posible saber de qué parte de la superficie proceden exactamente. Por estos motivos las mediciones de densidad de cráteres en función de su tamaño no permiten una datación absoluta, sólo relativa. Otro problema es el activo vulcanismo que ha tenido Marte en el pasado remoto, pues borra la historia geológica y no permite saber qué ocurrió antes. En el hemisferio sur la densidad de cráteres pequeños es alta, pero la densidad de cuencas de impacto (impactos mayores que produjeron cráteres entre los 150 km y los 2 000 km de Hellas Planitia) es notablemente menor que en la Luna. Tal vez el número de grandes impactos sea menor en Marte a pesar de encontrarse junto al cinturón de asteroides, o quizás toda esta parte del planeta haya experimentado una etapa de vulcanismo tras la primera fase de bombardeo, seguida de un bombardeo intenso de cuerpos menores.

---

<sup>4</sup>La curva sigue una ley potencial con el cociente del tamaño elevado a 2.5. Por ejemplo, hay 300 veces más asteroides en número con un tamaño de 10 km que de 100 km.

Con estas limitaciones se han establecido los siguientes periodos evolutivos en Marte según el modelo de Hartmann y Neukum ([7]):

Noachian (4-3.7 mil millones de años atrás): formación de las grandes cuencas de impacto, como Hellas, Argyre, e Isidis. Uno de estos impactos pudo formar la dicotomía. El bombardeo intenso dispersó la mayoría de la atmósfera al final de este periodo. Noachis Terra, situada al sur entre las cuencas de Hellas y Argyre, es una región representativa.

Herperian (3.7-3 mil millones de años): formación del volcán Olympus Mons y el domo de Tharsis, con un activo vulcanismo que devolvió periódica y transitoriamente una atmósfera densa. El final del bombardeo llenó de cráteres menores las extensas llanuras volcánicas. El engrosamiento de Tharsis también generó las fracturas radiales o fosas tectónicas sobre el ecuador a ambos lados de Tharsis, lo que en la zona este dio lugar al valle Marineris. También pudo contribuir a los cambios de orientación del eje, que junto con los episodios de mayor temperatura contribuyeron a establecer reservas de agua congelada y carbonatos en unas zonas y a liberar estas reservas en otras, excavando los canales que desembocan en distintas zonas bajas del norte. También se generaron canales en el hemisferio sur. Herperian Planitia, situada al noreste de Hellas, es una región representativa.

Amazonian (hasta el presente): nuevo ciclo de actividad volcánica intensa, inicialmente en el domo de Elysium, y a continuación en Tharsis, con la formación de los volcanes gigantes. Probable fusión masiva del permafrost hace unos 2 000 millones de años, con la formación de grandes canales desde las regiones altas que desembocaban en un extenso mar en las zonas bajas del tercio norte. Esto cubrió de sedimentos los cráteres antiguos en la región norte, y a partir de ahí sólo hubo pequeños impactos. En los últimos mil millones de años la actividad volcánica fue residual en Tharsis, de hecho las calderas del Olympus Mons han mantenido actividad hasta hace poco más de 100 millones de años, por lo que es el volcán más longevo que se conoce. La bajada de temperatura congeló el agua y parte de la atmósfera, se formaron los casquetes polares y tuvieron lugar los fenómenos relacionados con los glaciares y la erosión de los cráteres por el hielo. Los niveles de erosión se situaron órdenes de magnitud por debajo de los terrestres. Amazonis Planitia es una región representativa.

Tras las investigaciones realizadas con el espectrómetro infrarrojo de la Mars Express y los rovers en la superficie, en 2006 se propuso una evolución basada en la transformación de los minerales. Desde el punto de vista mineralógico, la transición a la fase Noachian marca la aparición de filosilicatos en grandes extensiones de la superficie. Se trata de rocas tipo basalto, extrusivas, pero alteradas por el agua. La transición a la fase Hesperian marca la liberación de grandes cantidades de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) por la actividad volcánica, que se combinó con el agua para producir ácido sulfúrico. Muchas rocas analizadas por los rovers presentaban

incrustaciones de sulfatos, los cuales son más abundantes en presencia de agua, pues tienden a destruir los silicatos. A partir de la fase Amazonian la transformación de las rocas en Marte se debió principalmente a la lenta oxidación por parte de la atmósfera de los silicatos de hierro presentes en la superficie. Estos óxidos de hierro dieron a Marte su característico color rojizo. El famoso meteorito ALH84001 muestra muchas de estas características químicas, así como estructuras alargadas al microscopio electrónico. Esto llevó a D. McKay a interpretar estas estructuras como bacterias primitivas cuya actividad convertía los sulfuros en óxidos ([8]). Más tarde se encontrarían explicaciones puramente químicas, además de pruebas de contaminación de origen terrestre en las muestras.

Las anomalías magnéticas detectadas se concentran en el hemisferio sur del planeta, cuya corteza tiene un grosor de unos 60 km. Las cuencas de impacto mayores no presentan estas anomalías, lo que sugiere que los impactos ocurrieron después de que desapareciera el campo magnético de Marte. Las anomalías no se detectan en el hemisferio norte, cuya corteza es más fina (30 km), y donde el análisis detallado de las imágenes sugiere la existencia de numerosas depresiones de poco relieve que son vestigios de antiguos cráteres de impacto ocultos. Como consecuencia se estima que la edad geológica de la corteza al norte de la dicotomía es similar a la del sur, la parte norte simplemente ha sido completamente erosionada y sepultada por sedimentos. Según el modelo más aceptado, las cuencas se formaron hace algo menos de 4 000 millones de años, tras un periodo de relativa calma en el Sistema Solar antes del bombardeo intenso tardío. Por otro lado, también es interesante la distribución de minerales sobre la superficie de Marte. En las zonas bajas del norte, donde han aterrizado muchos vehículos exploradores, los análisis muestran rocas modificadas como andesitas y tridimita, a diferencia de los basaltos que dominan las tierras altas del sur. Los primeros indicios llevaron a N. Sleep a proponer en 1994 un escenario de tectónica de placas en Marte ([9]). El artículo fue ampliamente criticado y olvidado, pero los hallazgos de los rovers pocos años más tarde recuperaron la idea, y el trabajo fue ampliado, entre otros, por V. Baker en 2006 ([10]). En este escenario existió un periodo de unos 500 millones de años en que Marte, justo antes del bombardeo tardío y a medida que se enfriaba, pudo desarrollar una tectónica de placas muy básica. El tercio norte del planeta sería una placa de subducción bajo la placa de la región de Tharsis, lo que explicaría tanto la dicotomía de la corteza como el origen de la pluma que dio lugar a la región volcánica de Tharsis, pluma cuya posición permaneció estable tras finalizar esta corta fase de tectónica de placas. También explicaría la presencia de andesitas y otros minerales más evolucionados, pues la subducción devolvería el CO<sub>2</sub>, agua, y SO<sub>2</sub> de nuevo al manto, y la posterior actividad volcánica liberaría los minerales evolucionados, que luego serían arrastrados hacia las tierras bajas por sedimentación, donde fueron encontrados por los rovers. Por otro

lado, la tectónica de placas incrementa el flujo de calor desde el manto al exterior, aumentando la convección, y esto también es consistente con un campo magnético intenso que dejaría anomalías magnéticas en las zonas con la corteza más gruesa. La subducción devolvería al manto materiales más volátiles que los presentes originalmente, lo que podría facilitar un posterior vulcanismo explosivo en Tharsis, aunque de muy corta duración, en múltiples episodios a lo largo de varios miles de millones de años. A esta teoría en la que gran cantidad de volátiles se liberan intermitentemente se la conoce como ciclos de Baker, y está apoyada por la existencia de capas de ceniza en la superficie y múltiples etapas erosivas en muchos canales. También se ha sugerido que algunas características superficiales se explican mejor con la tectónica de placas, como la alineación de los grandes volcanes de Tharsis, aunque otros autores consideran que esta teoría soluciona problemas pero añade otros nuevos, como la ausencia de cadenas montañosas.

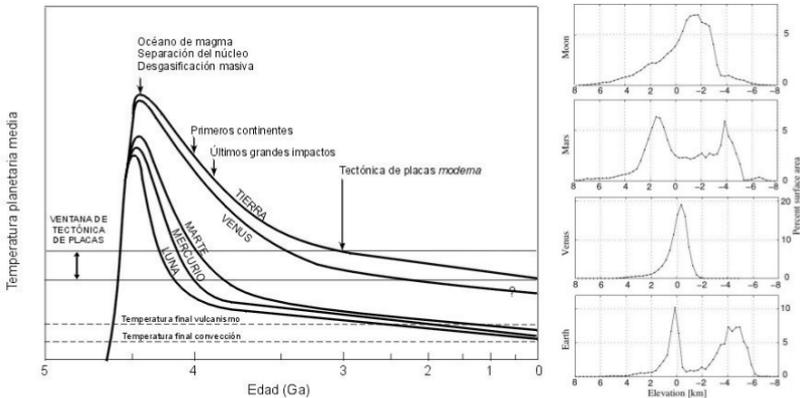


Figura 16: Izquierda: ventana para una posible tectónica de placas planetaria, que depende además de la existencia de materiales volátiles. La imagen procede del curso de geología planetaria de F. Anguita. Derecha: porcentaje de superficie a un determinado nivel de elevación, mostrando el perfil bimodal de la Tierra (el gráfico inferior) al que sólo Marte se aproxima. Cortesía de NASA.

En un contexto más general, los planetas terrestres con suficiente masa y proporción de compuestos volátiles podrían atravesar una especie de ventana de tectónica de placas, un periodo en que el planeta está suficientemente caliente como para tener un manto en convección, pero lo bastante frío como para que ese manto esté confinado por un núcleo y una corteza sólidas. La idea fue inicialmente propuesta por K. Condie en 1989. El movimiento de las placas contribuye a un perfil bimodal en

el porcentaje de superficie a una determinada elevación, con volcanes y montañas por un lado, y fondos oceánicos por el otro.

## Preparativos para un amartizaje

Alcanzar la superficie de Marte siempre ha sido un objetivo para las agencias espaciales. Los primeros planes de vuelos tripulados datan de 1950 (von Braun), y desde entonces se han diseñado decenas de posibles misiones, pero ninguna se ha puesto en marcha. Además del enorme coste económico hay muchos problemas prácticos a resolver. Para empezar, no es factible plantearlo como misiones únicas de ida y vuelta, tal como se hizo con el proyecto Apollo, pues hace falta demasiado combustible para ello. Además, el cuerpo humano no está preparado para condiciones de ingravidez prolongadas, y el riesgo de osteoporosis y otras enfermedades es alto. Tampoco está claro si la gravedad de Marte (38% de la terrestre) es suficiente para mantener un nivel muscular adecuado y paliar los numerosos problemas de salud que acarrea colonizar el espacio. Por otro lado, es esencial probar las tecnologías necesarias para aterrizar, despegar, y vivir en Marte, un paso intermedio en que juega un papel fundamental la Estación Espacial Internacional. Sus experimentos ayudan en objetivos tan dispares como estudiar los efectos psicológicos de un largo viaje en un espacio limitado, mantener un invernadero en las condiciones de Marte, construir ladrillos a partir del polvo de su superficie (que es tóxico), o filtrar el CO<sub>2</sub> eficazmente y respirar un aire parecido al marciano pero enriquecido en oxígeno. El primer experimento en Marte lo llevará a cabo el rover Perseverance, que tratará precisamente de producir oxígeno. Otro experimento intermedio previsible será el retorno de muestras, con el objetivo de probar las tecnologías necesarias para volver desde la superficie de Marte. No se espera una misión tripulada al menos hasta la década de 2030, en la que la NASA está comprometida a tal objetivo por mandato presidencial, al igual que sucedió con el proyecto Apollo.

La clave para una misión tripulada exitosa y no tan costosa es valerse de la tecnología, y ésta evoluciona tan rápido que cualquier plan queda obsoleto en poco tiempo. Los primeros diseños de una sola nave cargada de combustible fueron reemplazados a finales del siglo pasado por la propuesta *Mars Direct*, que consistía en enviar una misión previa no tripulada para establecer una base automatizada, y si ésta funcionaba correctamente a la hora de utilizar lo que Marte provee para producir todo lo necesario para soportar una tripulación, incluyendo la producción de alimento y combustible para volver, entonces se enviaría una misión tripulada. Este plan se modificó más tarde para mantener la nave principal en órbita y reabastecerla de combustible desde la superficie de Marte. En los últimos años la compañía SpaceX de Elon Musk ha desarrollado la nave Falcon reutilizable que podría ser modificada para reabastecerse en

órbita y ampliada con módulos inflables que rotarían para generar gravedad artificial. Como propuesta alternativa la *Mars to Stay* sugiere que no haya viaje de vuelta, al menos a corto plazo, pues por el coste de traer a cuatro astronautas se podrían enviar muchas más personas y equipos.

Actualmente se está estudiando la posibilidad de una primera colonización basada en robots humanoides cuyos movimientos serían controlados desde la Tierra o en tiempo real desde la órbita de Marte, una evolución de los rovers actuales que sin duda encontraría muchas otras aplicaciones. En cualquier caso, toda misión a Marte irá seguramente precedida de un nuevo alunizaje con el que probar este tipo de tecnologías. La NASA tiene en marcha el proyecto Artemisa, con el que pretende alunizar cerca del polo sur de la Luna y establecer una estación en órbita lunar durante la próxima década. El concepto de esta misión pretende adelantarse a los requerimientos futuros de un vuelo tripulado a Marte, pero ha sido criticado por quedarse corto en ese sentido. La propuesta *Moon Direct*, equivalente a la diseñada para Marte, supondría establecer una base en la superficie, no en órbita, y generar en ella el combustible para volver (usando el agua presente en la Luna), lo que permitiría aumentar la frecuencia de los vuelos. En todo caso, los planes para asentar colonias estables en la Luna o Marte llevarán tiempo y requerirán de la implicación de múltiples agencias espaciales y empresas privadas, por lo que debe haber un incentivo comercial o un retorno económico para ellas dentro de un marco legal.

Uno de los problemas más graves de una misión a Marte o de establecer colonias en la Luna es la exposición a los rayos cósmicos una vez fuera de la influencia del campo magnético que protege la Tierra. Los datos de la Mars Odyssey muestran un nivel medio de exposición tres veces superior al existente en la Estación Espacial Internacional, con picos en lo que se duplica la exposición cuando el Sol incrementa su actividad. En un viaje de ida y vuelta a Marte esta exposición puede matar el 5% de las células y provocar graves problemas neurológicos, además de un riesgo alto de padecer cáncer. Se está estudiando cómo proteger las naves de esta radiación, pero es complejo pues su interacción con el propio blindaje puede generar partículas secundarias cuyos efectos serían aún peores. Una vez en la superficie de Marte el problema de los rayos cósmicos persiste, por lo que una hipotética base marciana debe estar protegida y la tecnología para ello bien probada, o de lo contrario permanecer casi siempre a una profundidad mínima de varios metros.

Como alternativa se ha sugerido la posibilidad de habitar las cuevas o túneles de lava que se han identificado en las imágenes de alta resolución. Las imágenes muestran tanto antiguos túneles colapsados visibles en la superficie como cientos de agujeros (producidos por hundimientos o impactos) que podrían dar acceso a túneles existentes, concentrados a lo largo de los tres volcanes gigantes de la región de Tharsis. Además

de proteger de los rayos cósmicos, estos túneles tendrían otras ventajas adicionales: facilitar la presurización, proteger la base del impacto de micrometeoritos, proporcionar acceso a reservas de agua congelada en el subsuelo (se han identificado glaciares al norte de esta región), y permitir la expansión progresiva de la colonia hacia túneles cercanos.

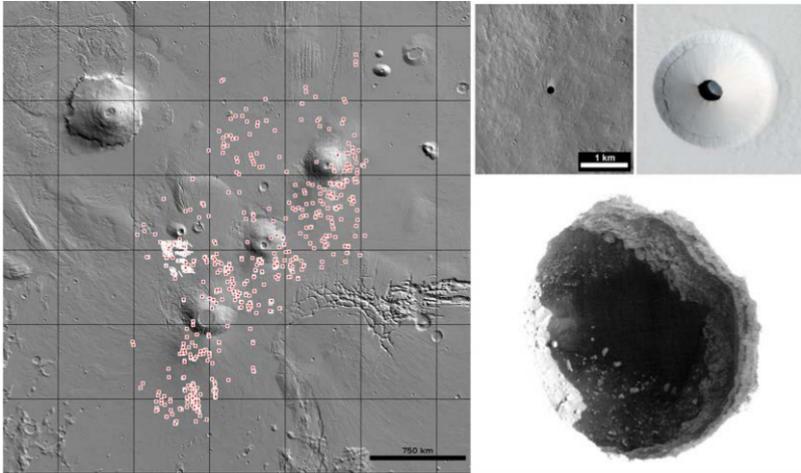


Figura 17: Izquierda: posiciones de posibles cuevas (catálogo MCG3, Mars Global Cave Candidate Catalog) sobre la imagen de los tres volcanes alineados de Tharsis. Derecha: diversos detalles de distintos agujeros. Su tamaño típico es de 100 m y su profundidad suficiente como para no recibir luz directa. Cortesía de NASA.

## Conclusión

Marte es el planeta más interesante y parecido a la Tierra en el Sistema Solar, y la correspondencia de sus características superficiales hacen de la geología terrestre una herramienta esencial para estudiarlo. Su subsuelo podría albergar vida muy básica dada la abundancia de agua líquida en el pasado, el vulcanismo y evolución mineralógica, y el hecho de que la vida en la Tierra surgiera muy temprano. Además, es el único planeta en que sería posible establecer una colonia autosuficiente en las próximas décadas, pues los otros planetas terrestres son demasiado inhóspitos o lejanos. Pero lograrlo requiere resolver con ingenio una larga lista de problemas. Al principio de la exploración espacial lo primero que hizo el ser humano al llegar a la Luna, antes incluso de pisarla, fue lanzar basura por la ventanilla. Ahora es evidente que colonizar el espacio requiere, entre otras cosas, de tecnologías capaces de reciclar y reutilizar los residuos, y mantener

un ecosistema autosostenido que genere comida y aire respirable<sup>5</sup>. Ante la pasividad mostrada por nuestros dirigentes para afrontar los grandes problemas a largo plazo, este tipo de tecnologías serán imprescindibles en la Tierra para resolver los desafíos medioambientales de un futuro incierto.

## Referencias

- [1] T. Alonso, 2017, “Discos circunestelares: la cuna de los planetas”, Anuario del Observatorio Astronómico.
- [2] S. E. Lauro et al, 2020, “Multiple subglacial water bodies below the south pole of Mars unveiled by new MARSIS data”, *Nature Astronomy*, 28-septiembre, <https://www.nature.com/articles/s41550-020-1200-6>
- [3] O. Korabiev et al., 2019, “No detection of methane on Mars from early ExoMars Trace Gas Orbiter observations”, *Nature* v. 568, pages 517–520.
- [4] R. V. Morris et al., 2016, “Silicic volcanism on Mars evidenced by tridymite in high-SiO<sub>2</sub> sedimentary rock at Gale crater”, <https://www.pnas.org/content/early/2016/06/07/1607098113.full>
- [5] J. Laskar et al., 2004, “Long term evolution and chaotic diffusion of the insolation quantities of Mars”, *Icarus* 170, Issue 2, pages 343-364.
- [6] G. L. Villanueva et al., 2015, “Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs”, *Science* v. 348, Issue 6231, pages 218-221.
- [7] W. K. Hartmann and G. Neukum, 2001, “Cratering Chronology and the Evolution of Mars”, *Space Science Reviews* v. 96, pages 165–194.
- [8] D. McKay et al., 1996, “Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH 84001”, *Science* v. 273, pages 924-930.
- [9] N. Sleep, 1994, “Martian plate tectonics”, *Journal of Geophysical Research* v. 99, pages 5639-5655.
- [10] V. R. Baker, 2006, “Water and the evolutionary geological history of Mars”, *Bollettino della Societa Geologica Italiana* v. 125, pages 357-369.

## Lecturas complementarias

- J. Kelly Beatty and Andrew Chaikin, 1981, “The New Solar System”, Cambridge University Press & Sky Publishing Corporation. Capítulo 5 sobre Marte de Michael H. Carr.
- K. Condie, 1989, “Plate Tectonics & Crustal Evolution”, Pergamon Press.
- F. Anguita, 1993, “Geología Planetaria”, Editorial Mare Nostrum.
- F. Anguita, 1998, “Historia de Marte. Mito, exploración, futuro”, Editorial Planeta.

---

<sup>5</sup>Entre los trabajos de este tipo cabe destacar el proyecto MELiSSA de la ESA, parte del cual se desarrolla en la Universidad Autónoma de Barcelona.

M. Riveira, 2018, “Astrobiología: Búsqueda de vida extraterrestre”, Editorial vLa. Disponible en Amazon y en la Agrupación Astronómica de Madrid.

Experimentos de Viking para detectar vida en Marte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Viking\\_lander\\_biological\\_experiments](https://en.wikipedia.org/wiki/Viking_lander_biological_experiments)

Observaciones visuales de Marte anteriores a la exploración espacial: <https://faculty.humanities.uci.edu/bjbecker/ExploringtheCosmos/lecture19.html>

Proyecto MELiSSA: <https://www.melissafoundation.org/>

# ASTRONOMÍA EN TIEMPOS DE PANDEMIA

**Rafael Bachiller**

*Astrónomo y director del Observatorio Astronómico Nacional*

## Resumen

Al igual que muchas otras actividades en todo el planeta, la pandemia de covid-19 conmocionó el mundo de la astronomía en el año 2020. Los observatorios astronómicos intentaron desesperadamente mantener las observaciones durante la crisis sanitaria, pero lógicamente la prioridad fue preservar la salud del personal y la seguridad de las instalaciones de alta tecnología. Los mayores observatorios del mundo fueron cerrando en el mes de marzo y solo los telescopios robóticos prosiguieron su actividad. En muchos de estos observatorios la actividad no se recobraría hasta varios meses después. La pandemia también desencadenó una transformación en la forma de trabajar de los científicos: la disminución drástica de la movilidad condujo a potenciar el teletrabajo y las reuniones y congresos online.

Desde la explosión de la epidemia, vivimos un tiempo extraño en el que se plantearon nuevos retos, en el que se desarrollaron nuevos métodos de trabajo, en el que se reflexionó sobre la forma en que desempeñan sus tareas los astrónomos y los científicos en general, un período que posiblemente modificará nuestros hábitos de trabajo de manera duradera en el futuro.

## La epidemia

El coronavirus SARS-CoV-2 fue la causa de la enfermedad contagiosa covid-19 (acrónimo en inglés de coronavirus disease 2019) que se extendió por todo el planeta en los primeros meses del año 2020. La Organización Mundial de la Salud (OMS) notificó que los primeros casos de la infección

tuvieron lugar en la ciudad de Wuham, situada en la provincia de Hubei (China), el 31 de diciembre de 2019. Desde ese momento, la extensión de la pandemia fue fulminante, a mediados de enero ya se conocieron casos en Tailandia y Japón, y a final de ese mes en todas las provincias de China continental y en otros 15 países. El 11 de marzo, cuando la enfermedad se encontraba ya presente en 100 países o territorios, la OMS la reconoció como pandemia. A finales de marzo, el número de casos confirmados por la OMS superaba los 750 000. A finales de mayo, la pandemia había alcanzado a 188 países o territorios, el número de infectados confirmados se aproximaba a los 6 000 000 y las muertes atribuidas al covid-19 ascendían a 362 786, de ellas 29 043 en España (datos proporcionados por la OMS en su página web <https://covid.who.int>).

Desde principios del año, la comunidad médica mundial se enfrascó en una búsqueda frenética de tratamientos y vacunas contra la covid-19 y, entre tanto, todos los países fueron adoptando medidas preventivas para proteger a sus ciudadanos y para contener la expansión de la pandemia. Se decretaron cuarentenas, políticas de confinamiento de las personas reduciendo todas las actividades no esenciales y normas de distanciamiento social, entre otras.

El mundo de la astronomía no permaneció ajeno a esta crisis global. Muchos observatorios tuvieron que suspender las observaciones al cerrar temporalmente, los congresos y reuniones presenciales se cancelaron o se celebraron por internet y el trabajo de todos los astrónomos alrededor del mundo pasó al modo teletrabajo.

## Cierre bajo los cielos de todo el mundo

El fabuloso conjunto de radiotelescopios ALMA dejó de mirar al maravilloso cielo de Atacama el 19 de marzo. Había que proteger al personal



Figura 1: Antenas de ALMA | ESO/NRAO/NAOJ/ALMA.

que trabaja en el observatorio, personal que habitualmente viaja grandes distancias, por avión o por autobús, desde las ciudades chilenas en las que reside hasta el remoto emplazamiento de Chajnantor, a 5 000 metros de altitud en pleno desierto.

Un poco más al sur, en cerro Paranal, también sobre los Andes chilenos, el conjunto de cuatro telescopios ópticos VLT, otra de las instalaciones astronómicas de las más grandes del mundo pertenecientes a ESO, institución en la que participa España, la última noche de observaciones astronómicas tuvo lugar entre el 23 y el 24 de marzo. En el otro observatorio de ESO, La Silla, las observaciones se habían suspendido la noche anterior. Cerca de Paranal, sobre el cerro de Armazones, ESO también se vio obligada a parar los trabajos de construcción del telescopio más grande del mundo, el ELT (*Extremely Large Telescope*), el proyecto actual de astronomía más ambicioso a nivel mundial.



Figura 2: Los VLT cerrados | ESO/Iztok Boncina.

El día 17 de marzo, el observatorio estadounidense de Las Campanas (también en los Andes, a 27 kilómetros de La Silla), que alberga los dos telescopios gemelos Magallanes y donde se está construyendo el GMT (*Giant Magellan Telescope*) anunció la parada de las observaciones durante al menos dos semanas. La situación fue similar en Cerro Tololo y en el cercano Cerro Pachón, donde se encuentra el gran telescopio GEMINI-Sur y donde se interrumpió la construcción del Telescopio Vera Rubin (antes LSST).

La pandemia también llegó a Hawái, donde se encuentra el potente Observatorio de Mauna Kea, con los grandes gemelos Keck, el GEMINI-Norte y el Telescopio Canadá-Francia-Hawái (CFHT). Los telescopios

pasaron, en un principio, a un modo de operaciones restringidas, en el que tan solo se permitía el uso de algunos instrumentos.



Figura 3: El Telescopio Vera Rubin (antes LSST) en construcción en Cerro Pachón (Chile) | LSST Corp.

Pero el 23 de marzo, siguiendo los decretos locales, se suspendieron completamente las observaciones que no pudieron reanudarse (y tan solo de modo parcial) hasta el 12 de mayo. Sin embargo, los telescopios robóticos Pan-STARRS pudieron seguir observando mediante control remoto. Además estos telescopios, que están consagrados a identificar asteroides potencialmente peligrosos para la Tierra, fueron considerados como proveedores de un servicio esencial que debía permanecer activo.

La versión digital de la revista *Astronomy* (<https://astronomy.com>) informó el 7 de abril que más de 100 telescopios, de los mayores del mundo, habían sido cerrados. Obviamente, este cierre preocupó a los astrónomos por la pérdida de datos que sufrirían las campañas de monitorización de algunos fenómenos y, en términos generales, era desconcertante pensar que durante estos meses no sabríamos qué estaba pasando en el firmamento. Un cierre como este no había sucedido nunca en la historia de la astronomía moderna. Incluso durante las grandes guerras muchos observatorios se mantuvieron activos y las observaciones nunca pararon completamente.

En estos momentos tan peculiares, los astrónomos tan solo podíamos cruzar los dedos para que no explotase ninguna supernova particularmente cercana, ni sucediese ningún otro fenómeno excepcional durante los meses del cierre.

Los observatorios de ondas gravitacionales LIGO (EEUU) y VIRGO (Italia) también tuvieron que suspender sus actividades, ambos cerraron el mismo día: el 27 de marzo, sin tiempo para terminar su tercer ciclo de observaciones. Nunca sabremos si en esos días pudo haberse llegado a detectar alguna colisión de agujeros negros. Y, sobre todo, se empezó a temer a los retrasos que las medidas de confinamiento pudiesen ocasionar en el comienzo del más ambicioso cuarto ciclo de observaciones, que estaba previsto para finales de 2021 o principios de 2022.

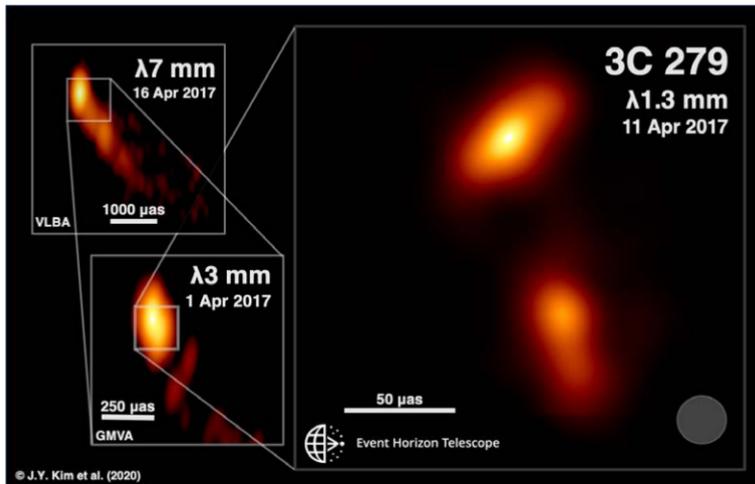


Figura 4: Observaciones del cuásar 3C279 con el EHT que fueron publicadas en abril de 2020 | EHT/Kim et al.

El Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT) saltó a los medios de comunicación de todo el mundo en abril de 2019, cuando dio a conocer la primera imagen de la vecindad de un agujero negro supermasivo: el de la galaxia M87 (a 55 millones de años luz de distancia). El 7 de abril de 2020 se publicó otro de sus espectaculares resultados: la imagen del chorro eyectado desde el núcleo del cuásar 3C279 (a 5 000 millones de años luz de distancia). En abril de este mismo año estaba prevista una nueva campaña de observación que, desgraciadamente, debió ser cancelada por completo debido al cierre de varios de los radiotelescopios de la red.

El 5 de agosto, ESO anunció que, debido a los retrasos en las observaciones programadas, suspendía la llamada a propuestas científicas de observación con sus telescopios para el periodo abril-septiembre de 2021, pero mantenía la posibilidad de recibir propuestas para proyectos excepcionalmente urgentes o novedosos.

## Excepciones

El telescopio Hobby-Eberly del Observatorio McDonald (Texas, EEUU), con su espejo segmentado de 10 metros, fue quizás el mayor telescopio que permaneció operativo durante los peores momentos de la pandemia. Se trata de un instrumento de más de 25 años de edad que no tiene movimiento de seguimiento (son los instrumentos los que se desplazan ligeramente para compensar el movimiento de la Tierra) y está muy automatizado. Ello permitió mantenerlo en funcionamiento con una intervención extremadamente reducida de personal. Resulta paradójico que su espectrógrafo dedicado a la búsqueda de energía oscura, hubiese sido bautizado VIRUS (acrónimo de Visible Integral-Field Replicable Unit Spectrograph) mucho antes de la llegada del SARS-CoV-2.

Telescopios pequeños y robóticos, como el ZTF en Monte Palomar, los Catalina en el Monte Lemmon, los de Las Cumbres, los Pan-STARRS en Hawái ya citados y varios en el Roque de los Muchachos, pudieron permanecer activos. Pero sin la posibilidad de realizar observaciones de continuación, en el caso en que detectasen algún fenómeno transitorio, resultaron poco efectivos.

Otra de las pocas excepciones sucedió en la Antártida, donde el Telescopio del Polo Sur (dedicado a cartografiar el fondo de microondas) pudo seguir funcionando sin interrupción durante todo el período de crisis. El último vuelo hacia la Antártida despegó de allí el 15 de febrero y la larga noche polar de seis meses había comenzado el 20 de marzo. Allí no hubo necesidad de cuarentenas ni de distanciamiento social y, gracias a ello, el telescopio siguió observando sin pausa.

## Impacto en los proyectos espaciales

La pandemia también tuvo un impacto considerable en varios proyectos espaciales que sufrieron demoras por su causa. Una de las primeras misiones afectadas fue la ExoMars, que está siendo desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA), junto a la rusa Roscosmos. Esta misión tiene entre sus objetivos el emplazamiento en el planeta rojo de un vehículo todoterreno bautizado con el nombre de la insigne científica británica Rosalind Franklin. Es cierto que el proyecto venía sufriendo retrasos debido al desarrollo del paracaídas que debe ser utilizado por el todoterreno para descender sobre el suelo marciano, pero la pandemia acentuó los problemas y el 12 de marzo también se anunció que la misión retrasará su viaje un par de años, hasta la próxima ventana de lanzamientos a Marte que tendrá lugar en 2022.



Figura 5: Recreación del todoterreno 'Rosalind Franklin' en la superficie de Marte | ESA/Roscosmos.

Tras unos casos de coronavirus en su Centro de Investigación Ames, en California, NASA mandó a casa a sus trabajadores el 8 de marzo. Al menos tres misiones espaciales relacionadas con las ciencias de la Tierra fueron aplazadas sine die. El equipo que comandaba el rover Curiosity tuvo que comenzar a hacerlo desde casa, manteniendo por videoconferencia el contacto indispensable entre los diferentes miembros del grupo de trabajo.

La misión OSIRIS-Rex, que tenía planeado tomar muestras del asteroide Bennu en agosto, tuvo que retrasar sus planes hasta el 20 de octubre, cuando ha realizado su misión con éxito.

Los vuelos espaciales tripulados en apoyo de la Estación Espacial Internacional pudieron continuar, pero solo manteniendo las actividades esenciales. El 9 de abril se lanzó el Soyuz M-16 desde el cosmódromo de Baikonur, pero sin ningún periodista en el lanzamiento. A pesar de todo se supo una semana después que uno de los asistentes al lanzamiento, Evgeny Mikrin, subdirector ejecutivo y diseñador en jefe de la corporación rusa de cohetes espaciales Energía, dio positivo al realizarse el test por coronavirus. Roscosmos se apresuró a comunicar que la contaminación de la ISS es 'absolutamente imposible' gracias a las medidas estrictas de protección que se siguen para proteger a la tripulación. De hecho, los astronautas se someten a cuarentenas de dos semanas antes de cada lanzamiento. Desgraciadamente, debido a la covid-19, Mikrin, falleció el 5 de mayo cuando contaba con 65 años de edad.

Un acontecimiento histórico en la exploración espacial tuvo lugar el 30 de mayo, en plena expansión de la pandemia, cuando se lanzó con éxito la

nave Crew Dragon Endeavour de la empresa SpaceX con dos astronautas de la NASA a bordo. La nave se acopló a la Estación Espacial Internacional al día siguiente sin ningún incidente. Este fue el primer despegue tripulado desde los EE.UU. en un período de nueve años y la primera vez en la historia en que unos astronautas viajaron al espacio en una nave construida por una empresa privada.

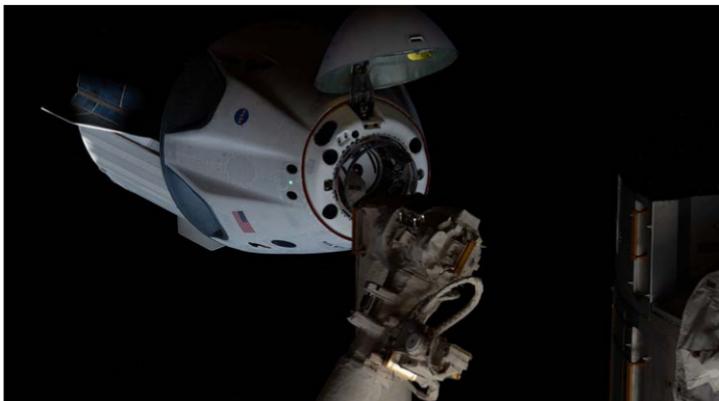


Figura 6: La nave Crew Dragon se acopla a la Estación espacial Internacional el 31 de mayo de 2020 | ESA/Roscosmos.

Las preparaciones de las observaciones con el telescopio espacial JWST, el sucesor del Hubble en el que colaboran NASA y ESA, también se retrasan. Afortunadamente se pudieron completar los test de plegado y desplegado del espejo a finales de marzo. Sin embargo, en el mes de agosto, NASA anunció que el lanzamiento, inicialmente previsto para el 30 de marzo de 2021, se retrasaría al menos hasta el 31 de octubre del mismo año. La fecha límite para enviar la primera tanda de propuestas de observación se retrasó desde el 1 de mayo hasta el 24 de noviembre de 2020.

## La astronomía ante la pandemia

Independiente de sus especializaciones, muchos científicos decidieron desarrollar actividades que pudiesen contribuir a comprender la expansión de la pandemia, a incrementar la capacidad de los hospitales y, en resumidas cuentas, a tratar de paliar sus efectos. Como muestran los siguientes ejemplos, los astrónomos e ingenieros de observatorios y otros centros de investigación contribuyeron a estas actividades de manera destacada.

Para dar respuesta a la escasez de ventiladores tradicionales para pacientes con covid-19 que padecían dificultades respiratorias, varias instituciones se embarcaron en proyectos para diseñar nuevos dispositivos que pudiesen ser fabricados rápidamente.

El Observatorio de Radioastronomía de Sudáfrica (SARAO), junto con otras organizaciones de astronomía de ese país, emprendió el denominado National Ventilators Project que tenía por objetivo el diseño de un nuevo ventilador que fuese capaz de bombear oxígeno a los pacientes sin utilizar electricidad. El diseño debía estar optimizado para poder fabricar rápidamente 10 000 unidades a nivel local (y hasta 50 000 si fuese necesario). El proyecto aprovechaba la experiencia tecnológica que el equipo de SARAO había conseguido mediante la construcción del interferómetro de 64 antenas MeerKAT, precursor del gran proyecto internacional SKA.

Los ingenieros de NASA trabajando en el Laboratorio de Propulsión (JPL) a Chorro en Pasadena también desarrollaron un nuevo ventilador, denominado VITAL, en un tiempo récord de 37 días. El ventilador era más fácil de construir y de mantener que los tradicionales y su diseño se ofreció para uso comercial libremente. La Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) dio la aprobación al ventilador el 30 de abril.

En Canadá, el profesor Art McDonald, Premio Nobel de Física de 2015 por el descubrimiento de las oscilaciones de los neutrinos, coordinó un proyecto para un nuevo ventilador que utilizase la tecnología de gestión de gases y de control electrónico de algunos sistemas desarrollados para las búsquedas de materia oscura.

En Francia, varios laboratorios utilizaron sus impresoras 3D para fabricar viseras. Además, el CNRS convocó a expertos en simulaciones numéricas para realizar modelos de la expansión de la epidemia. Los astrónomos que respondieron a la llamada trabajaron con epidemiólogos realizando simulaciones de la propagación de la contaminación.

La Oficina de Astronomía para el Desarrollo de la UAI realizó una convocatoria para financiar pequeños proyectos encaminados a colaborar en la lucha contra la covid-19. Entre estos proyectos, se encontraban iniciativas para dar apoyo a los profesores de ciencias que tuvieron que impartir sus clases por internet, utilización de medios de computación de los centros de astronomía para cálculos relativos a la pandemia, etc.

Las mayores agencias espaciales (NASA, ESA, JAXA, etc) convocaron el 'Desafío covid-19' un hackatón global cuyo objetivo era resolver los desafíos relacionados con la pandemia de covid-19. Los problemas abordados iban desde el estudio del coronavirus y su propagación utilizando datos espaciales hasta el impacto de la enfermedad en el sistema de la Tierra (procesos físicos, químicos y biológicos de la tierra).

Las simulaciones numéricas son importantes para comprender las

condiciones iniciales de la epidemia y para predecir la aparición de brotes. Dos astrónomos (Daddi & Giavalisco 2020, <https://arxiv.org/abs/2004.08365>) encontraron que la evolución temporal muestra patrones universales y puede ser modelada por la función de dos parámetros de Gumbel.

Bruce Bassett, jefe del área de datos del ya mencionado SARAO, publicó varios artículos sobre el desarrollo e impacto de la pandemia desde un punto de vista estadístico (<https://za.linkedin.com/in/bruce-bassett-32698229>). Otro grupo de astrónomos (Harko et al. 2020, [arxiv.org/abs/1403.2160](https://arxiv.org/abs/1403.2160)), experto en relatividad general y cosmología, encontró una solución analítica para la describir la expansión de la pandemia. Estos resultados pueden ser utilizados por biólogos para simular la propagación de enfermedades infecciosas introduciendo condiciones iniciales reales.

En España, un caso notable fue el del astrofísico y sacerdote Javier Igea López, quien había desarrollado un método para estudiar los discos de polvo y gas donde se forman los planetas. Tras doctorarse en astrofísica en la Universidad de Nueva York y trabajar en el Observatorio Vaticano, había aparcado la investigación científica, pero la retomó durante su confinamiento para intentar ayudar en esta crisis y se lanzó a calcular los contagios de un modo análogo a como se calculan las ionizaciones en el medio interestelar, utilizando un método de Montecarlo. La ionización en el espacio se modela generando números aleatorios con determinadas probabilidades para replicar por ejemplo, los electrones expulsados de unos átomos por un paquete de rayos X o la dirección en la que se dispersan. Igea mostró que este fenómeno es parecido a lo que ocurre en una pandemia. Un individuo que contrae el coronavirus puede contagiar a varias personas, que pueden fallecer, entrar en la UCI, curarse, etc. Cada posible evento tiene una determinada probabilidad que se puede modelar con números aleatorios y así calcular el desarrollo de la epidemia y de sus efectos. Igea se hizo miembro del comité Acción Matemática contra el Coronavirus, una iniciativa del Comité Español de Matemáticas (CEmat) para encontrar soluciones desde el ámbito de las matemáticas.

## Parón en España

En Canarias se encuentra el mayor telescopio óptico del mundo, el GTC, concretamente sobre el Roque de los Muchachos en la isla de La Palma. En este y algún otro telescopio del observatorio, se decidió en un principio operar con un número reducido de instrumentos y trabajar en modo remoto en la medida de lo posible. Pero no se permitió a los astrónomos que acudiesen a los telescopios a realizar las observaciones, intentando mantener la actividad mediante operación a distancia. El Telescopio Isaac Newton (INT), dotado con un espejo de 2,5 metros paró su actividad. Se

dio la circunstancia de que el Telescopio William Herschel (WHT), con su espejo de 4,2 m, ya estaba parado por labores de mantenimiento técnico.



Figura 7: El Gran Telescopio Canarias (GTC) | IAC/GTC.

La batería de casi una docena de telescopios robóticos, acostumbrados a este tipo de funcionamiento, siguió operando con normalidad en el Roque de los Muchachos. En el Observatorio del Teide, en Tenerife, casi todos los telescopios son robóticos y siguieron funcionando.

Al igual que en Canarias, todos los otros observatorios en España (Calar Alto, Pico Veleta, Yebes, Javalambre) suspendieron las visitas, pero trataron desesperadamente de mantener los telescopios en operación y, cuando era posible, de hacer observaciones en modo robótico o con equipos mínimos de personal. En este modo reducido de operaciones, la máxima prioridad era mantener la seguridad de los trabajadores, y a continuación de las instalaciones de alta tecnología. Se realizaban observaciones científicas solo dentro de las posibilidades de este modo restringido de funcionamiento. Si un telescopio requería una intervención técnica, el problema trataba de resolverse con el desplazamiento al observatorio de una única persona. Cuando se producía un problema en el que sea precisaba la intervención de varias personas, incluso las observaciones remotas tenían que parar.

El Observatorio de Yebes redujo drásticamente el trabajo presencial, pero manteniendo la operatividad de los radiotelescopios. Su operación quedó garantizada mediante un procedimiento seguro de observación remota y desde la declaración del estado de alarma el 13 de marzo se llevaron a cabo las observaciones programadas tanto con el radiotelescopio de 40 metros como con el radiotelescopio de 13.2 metros, no cancelándose ninguna. El Observatorio mantuvo un retén de personal con disponibilidad inmediata en el caso de extrema necesidad. Las actividades en los laboratorios de desarrollo se detuvieron hasta el 21 de junio, fecha en que concluyó el estado de alarma.



Figura 8: 4 de junio. La bandera ondea a media asta en Yeves durante el luto nacional. Mientras, el radiotelescopio de 40-m sigue realizando observaciones astronómicas | P. de Vicente.

## Reuniones virtuales y huella de carbono

Tal y como requirió el gobierno español para todas las instituciones públicas, todos los centros de investigación en astronomía hicimos un uso muy amplio del teletrabajo. Todas las actividades que requerían viajes fueron canceladas, todos los congresos científicos fueron convertidos en virtuales, postpuestos o anulados. Se multiplicaron las videoconferencias. El día 17 de marzo, el uso del sistema de videoconferencias Webex era tan intenso que colapsó en Europa. El uso del sistema Zoom experimentó un incremento espectacular en todo el mundo.

La crisis ofreció una oportunidad para desarrollar todo el potencial del teletrabajo y de las reuniones virtuales. La reunión científica de la Sociedad Española de Astronomía tuvo lugar entre el 13 y el 15 de julio de manera virtual. La Sociedad Americana de Astronomía (AAS) también había organizado su reunión científica periódica de manera telemática entre el 1 y 3 de junio.

Curiosamente, la organización de congresos virtuales era algo de lo que se venía hablando insistentemente en el mundo de la astronomía en los meses que precedieron a la pandemia. El objetivo hasta entonces era la disminución de los viajes para reducir la huella de carbono. Y es cierto que los astrónomos tenemos fama de viajar demasiado, somos una comunidad muy global y muy interconectada. Estamos acostumbrados a trabajar en grandes

colaboraciones internacionales que no conocen fronteras. De repente, la motivación para reducir los viajes es otra mucho más justificada y urgente.

## En el OAN

Durante la cuarentena impuesta por la covid-19, el Observatorio Astronómico Nacional, con todos los astrónomos y astrónomas trabajando en modo de teletrabajo, pasó a ser una organización en cierto modo 'virtual', pero la actividad científica no se ha detenido en ningún momento.

Ciertamente algunas campañas de observación fueron canceladas y los trabajos más pesados de reducción de datos que necesitan realizarse presencialmente en el Observatorio tuvieron que ser aplazados, pero los trabajos de análisis y publicaciones de resultados se redoblaron. También se trabajó en la planificación de nuevas campañas de observación con los instrumentos a los que tiene acceso el personal del Observatorio (radiotelescopios de Yebes, EVN, IRAM y ALMA).



Figura 9: Seminario del OAN durante el confinamiento | OAN.

Las videoconferencias de coordinación de proyectos y de puesta en común de resultados se multiplicaron y los seminarios científicos se retomaron desde momentos tempranos de la cuarentena, incrementando su periodicidad para hacerlos semanales. En la imagen se muestra una captura de pantalla realizada durante uno de estos seminarios a los que asisten todos los astrónomos, incluso los de nuevo ingreso que, al principio de la pandemia, se encontraban pendientes de su nombramiento, además de investigadores postdoctorales y estudiantes en curso de realización de una tesis doctoral.

Durante el confinamiento también se redobló el esfuerzo realizado por el Observatorio para la divulgación de la astronomía al gran público. Se reforzaron los contenidos ofrecidos en las redes sociales y se ofrecieron gratuitamente algunos recursos astronómicos, como el atlas celeste, una compilación de artículos de divulgación publicados previamente en este mismo Anuario. Con la colaboración de alto porcentaje de los astrónomos del OAN se redactó el libro “Panorama del universo. Viaje por el mundo de la astronomía” (actualmente en prensa) que también se ofreció gratuitamente por internet.



Figura 10: 14 de abril de 2020: a pesar de que las instalaciones estaban desiertas, la primavera llegó puntualmente al Real Observatorio | OAN.

Todas las visitas guiadas al Real Observatorio de Madrid se suspendieron sine die cuando comenzó el estado de alarma, pero las labores esenciales para el mantenimiento de las instalaciones no se interrumpieron en ningún momento.

Al terminar el estado de alarma, el 21 de junio, se tomaron todas las medidas precisas para que los astrónomos pudiesen regresar al puesto de trabajo paulatinamente y en seguridad. Se distribuyeron mascarillas y gel hidroalcohólico, y los despachos no se ocuparon por más de una persona. No obstante, siguiendo las directrices del Gobierno, el modo de teletrabajo continuó durante meses, sobre todo para el personal más vulnerable, o con niños o ancianos a su cargo. Las visitas al Real Observatorio se reanudaron el 7 de octubre, aunque con grupos reducidos.

En el momento de redactar estas líneas (octubre de 2020), lo peor de la pandemia parecía haber pasado, pero los contagios continúan causando brotes en diferentes puntos de la geografía nacional. Con el fin de contribuir a la reducción de los contagios, el teletrabajo se sigue manteniendo en cierto grado en el Observatorio. Cuando se disponga de la perspectiva imprescindible, habrá que evaluar el efecto del confinamiento y el teletrabajo sobre la productividad científica de la institución.

## **Reflexiones finales**

Obviamente, la pandemia de covid-19 va a tener un impacto en nuestra manera de trabajar y de vivir. Nada será igual a poder verse cara a cara para discutir en persona, trabajar codo con codo ante el mismo ordenador, e incluso compartir esos ratos de ocio juntos en los que las 'tormentas de ideas' se desatan y la inspiración parece que llega más fácilmente. Pero quizás obtengamos algo positivo si conseguimos que una parte de las colaboraciones se desarrollen telemáticamente contribuyendo así a reducir la contaminación atmosférica a largo plazo.



Figura 11: La traza dejada por un avión en una imagen del cielo nocturno | SpaceTelescope/Bob King.

Los astrónomos profesionales maldecían por los numerosos aviones de línea que solían dejar sus trazas brillantes, creadas por sus luces y por la condensación, en las imágenes profundas del cielo que tanto trabajo cuesta conseguir. Resulta paradójico que, durante la pandemia, cuando el tráfico aéreo disminuyó radicalmente, apenas quedaban telescopios operativos para aprovechar los cielos libres de esas trazas.

Se perdieron meses de observaciones astronómicas, pero los astros seguirán en su sitio y las observaciones acabarán de reanudarse completamente, en todos los observatorios del mundo, en cuanto sea posible. Mucho más preocupante es el efecto que pueda tener a medio y largo plazo la crisis económica derivada de la pandemia sobre la investigación científica, en particular en astronomía. Es muy posible que en nuestro país (y en general en todo el mundo) surjan prioridades mucho más perentorias que las de construir nuevos telescopios o emprender nuevas misiones espaciales. No obstante, a principios del pasado mes de julio, el Gobierno español presentó un plan de choque para estimular la ciencia y la innovación que va encaminado a que España lidere soluciones frente a la crisis de la covid-19, posibilitando también que se generen industrias y empresas competitivas de alto valor añadido. Por otro lado, se está elaborando la nueva estrategia estatal de I+D+i en la que la astronomía y las ciencias del espacio deberían jugar un papel importante.

Evidentemente esta crisis sanitaria trajo a la primera línea de la actualidad tanto la importancia de la ciencia como las graves deficiencias que el sistema científico sufre en nuestro país. Ojalá que, a pesar de la gravísima crisis económica a la que nos enfrentamos, nuestra sociedad sepa conjugar la satisfacción de las necesidades más urgentes con la atención a los desarrollos científicos que necesitan de inversiones continuadas durante largos plazos.

# MIDIENDO EL TAMAÑO DEL UNIVERSO

**Miguel Querejeta**

*Observatorio Astronómico Nacional*

Cuando miramos el firmamento en una noche despejada, tenemos la sensación de que las estrellas son puntos luminosos situados sobre una esfera. Podemos describir la posición de cada punto mediante dos ángulos, al igual que la latitud y la longitud nos permiten describir nuestra posición sobre la Tierra. Sin embargo, algunos de esos puntos de la “esfera celeste” están miles o millones de veces más alejados de nosotros que otros. Uno podría pensar que las estrellas más brillantes son las más cercanas, pero no siempre es así: por ejemplo, Betelgeuse está a 640 años-luz de nosotros y, sin embargo, es mucho más brillante que  $\epsilon$  Eridani, que está a tan solo 10 años-luz de nosotros. Esto desencadena una de las preguntas más fundamentales en astrofísica: ¿cómo podemos medir la distancia a las estrellas?

Desvelar la distancia que nos separa de los astros es notablemente difícil, pero es un paso fundamental para conocer sus propiedades físicas, como la luminosidad, la masa o el tamaño, y juega un papel clave para entender la evolución del universo. Cuando observamos objetos lejanos, inevitablemente estamos mirando al pasado como consecuencia de la velocidad finita con la que se propaga la luz. Las galaxias más lejanas emitieron los fotones que hoy recogen nuestros telescopios hace más de diez mil millones de años, cuando el universo aún estaba en su más tierna juventud.

En este artículo nos proponemos hacer un pequeño recorrido por la aventura histórica de desarrollar estrategias para medir distancias en el universo. A lo largo de este viaje, descubriremos que el cosmos está compuesto por un sinnúmero de estructuras jerárquicas, con unos asombrosos rangos de tamaños. Este viaje comienza en Alejandría, hace más de dos mil años.

## 250 000 estadios para rodear la Tierra

Estamos en el siglo III a.C. y Eratóstenes de Cirene, uno de los grandes sabios de la Antigüedad, era el tercer director de la Biblioteca de Alejandría. Fundada por Alejandro Magno, Alejandría era parte del mundo helenístico y uno de los mayores centros de saber del momento. Por aquel entonces, los sabios como Eratóstenes ya tenían claro que la Tierra no es plana, sino esférica. Para ello, no tenían más que observar la sombra circular de la Tierra proyectada sobre la Luna durante un eclipse. O bien un experimento más cercano: al mirar atentamente las embarcaciones que se alejaban por el Mediterráneo, los griegos habían observado que las velas eran lo último que desaparecía, poniendo de manifiesto la curvatura de la Tierra.

Al parecer, Eratóstenes había oído que, durante el solsticio de verano, los rayos de sol alcanzaban el fondo de un pozo en Siena (actual Asuán), al sur de Egipto, lo cual quería decir que esos rayos incidían de forma perpendicular a la superficie de la Tierra. Sin embargo, Eratóstenes había observado que, ese mismo día, un obelisco en Alejandría creaba una pequeña sombra, por lo que a esa latitud los rayos no incidían perpendicularmente, sino con un cierto ángulo, tal y como se esperaría por la curvatura de la Tierra esférica. La genial idea de Eratóstenes consistió en medir ese ángulo y darse cuenta de que era exactamente el mismo ángulo que separaba Alejandría de Siena visto desde el centro de la Tierra (ver figura 1). Midiendo la sombra y el tamaño del obelisco, determinó que ese ángulo era  $1/50$  de círculo, lo cual implicaba que el perímetro de la Tierra debía de contener 50 veces la distancia que separaba a ambas ciudades.

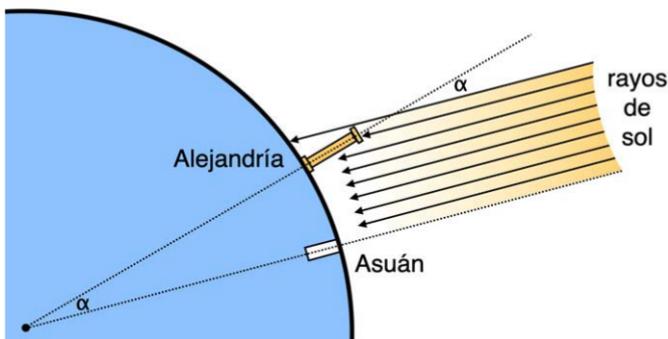


Figura 1: Diagrama que ilustra el método de Eratóstenes para medir la circunferencia de la Tierra.

Por suerte, la distancia entre Alejandría y Siena era conocida, ya que había sido medida cuidadosamente con fines administrativos (¡contando pasos!): la separación era de 5 000 estadios. Así, pues, era inmediato derivar a partir de ese experimento el tamaño de la Tierra. Este método asume que Siena está en el trópico de Cáncer, de manera que el Sol incide perpendicularmente en el solsticio de verano, lo cual es aproximadamente cierto; también asume que ambas ciudades están sobre el mismo meridiano, lo cual no es totalmente exacto, pero es una aproximación suficiente como para obtener una estimación más que razonable del tamaño de la Tierra. El resultado de Eratóstenes de 250 000 estadios para la circunferencia terrestre corresponde a unos 39 000 km, mientras que el valor real es unos 40 000 km. Es una precisión impresionante para tratarse de un cálculo realizado hace más de dos mil años contando pasos y midiendo sombras.

## La distancia al Sol

Una vez conocido el tamaño de la Tierra, es natural preguntarse cómo de lejos están el Sol o la Luna y, por lo tanto, cuáles son sus tamaños. Los antiguos griegos ya habían deducido, de forma correcta, que el Sol estaba mucho más lejos de nosotros que la Luna, por lo que debía de ser también mucho más grande. Aristarco de Samos fue un adelantado a su tiempo por proponer casi dos milenios antes que Copérnico que la Tierra gira alrededor del Sol, entre otras cosas. Intentó medir el ángulo que forman el Sol y la Luna en el momento de cuarto creciente (o menguante), puesto que en ese precioso momento, argumentaba Aristarco, la Tierra y el Sol vistos desde la Luna forman ángulo recto (ver figura 2). El ángulo Sol-Luna visto desde la Tierra será mayor cuanto mayor sea la distancia de la Tierra al Sol respecto a la distancia a la Luna. Así, Aristarco dedujo que el Sol debía de estar 19 veces más lejos de nosotros que la Luna. Esto implicaría de forma automática que el Sol es 19 veces mayor que la Luna, ya que ambos tienen un tamaño angular similar (pensemos en los eclipses totales de Sol, donde la Luna cubre por completo el disco solar).

Una vez conocida la proporción de distancias y tamaños entre la Luna y el Sol, ¿cómo determinar cuál es la relación con el tamaño de la Tierra, para obtener así las distancias absolutas? Aristarco utilizó otro procedimiento geométrico, basado en el tamaño de la sombra de la Tierra durante un eclipse de Luna. Los eclipses lunares ocurren porque la Luna cruza la sombra que la Tierra proyecta en el espacio, y así lo reconocían ya los sabios de la Antigüedad. Según Aristarco, la sombra de la Tierra durante un eclipse de Luna parece dos veces mayor que el disco lunar a esa distancia. A partir de esos datos, y utilizando argumentos puramente geométricos, Aristarco pudo resolver todas las incógnitas del problema y obtener las distancias y tamaños del Sol y la Luna: estimó que la Tierra era unas tres veces más grande que la Luna y el Sol, casi siete veces mayor que

la Tierra. Su estimación del tamaño de la Luna es bastante correcta (la Luna es unas 3,7 veces más pequeña que la Tierra), pero subestimó el tamaño del Sol notablemente (es más de 100 veces mayor que la Tierra). Este último error se debe a que la determinación del ángulo entre el Sol y Luna en cuarto creciente es extraordinariamente difícil. Por eso, a pesar de numerosos intentos de medir ese ángulo con precisión en los siglos siguientes, la distancia al Sol estuvo fuertemente subestimada hasta bien entrado el siglo XVIII, incluso a pesar de la invención del telescopio.

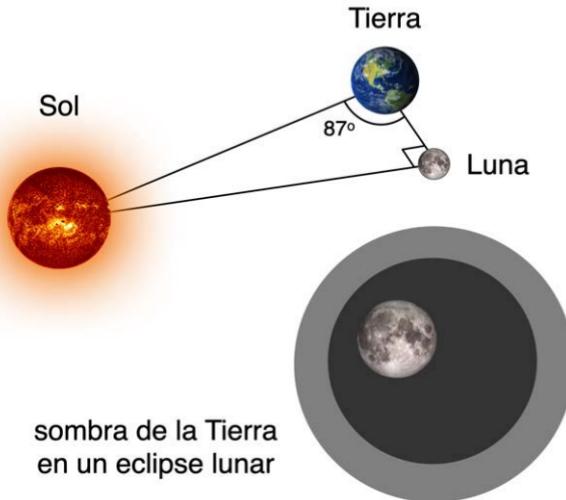


Figura 2: Aristarco de Samos estimó la distancia a la Luna y al Sol midiendo el ángulo entre ambos astros cuando la Luna está en fase de cuarto, y considerando también el tamaño relativo de la Luna respecto a la sombra de la Tierra durante un eclipse lunar.

Otro ingenioso método debería acudir en socorro de la difícilísima tarea de estimar la distancia al Sol. Había buenas razones que, ya en el siglo XVII, hacían sospechar que el Sol se encuentra mucho más lejos de nosotros que lo deducido por Aristarco de Samos y sus sucesores. El gran astrónomo inglés Edmund Halley fue uno de los grandes impulsores de un nuevo método para determinar la distancia al Sol: la observación de tránsitos de Mercurio y Venus. Por la inclinación de las órbitas de esos dos planetas interiores, es relativamente infrecuente que Mercurio o Venus pasen por delante del disco solar, lo que se conoce como un tránsito. Pero, cuando ocurre, ofrece una clave esencial para medir distancias a partir de medidas de tiempo. Si el mismo tránsito se observa desde distintas latitudes, su duración será diferente en cada lugar, ya que Mercurio o Venus

realizarán un recorrido mayor o menor al cruzar el Sol (por la mayor o menor elevación aparente sobre el disco solar). Por su mayor cercanía, la diferencia es más pronunciada en el caso de Venus, lo que hace preferible observar este tipo de tránsitos: los intentos de medir la distancia al Sol mediante tránsitos de Mercurio resultaron infructuosos. La propuesta de Edmund Halley creó una gran expectación de cara al tránsito de 1761; el propio Halley se encargó de planificar las observaciones a modo de testamento, ya que era seguro que el anciano astrónomo no viviría para ver el tránsito. Se llevaron a cabo numerosas expediciones internacionales para observar el tránsito desde los confines del mundo, con grandes odiseas marinas para ir y volver y con astrónomos que arriesgaron su vida por realizar estas observaciones en un contexto de guerra entre las principales potencias europeas. Es lo que podría considerarse el primer gran proyecto de colaboración internacional de la historia. Todas estas dificultades, unidas a las incertidumbres en la medida de la longitud geográfica de los puntos de observación, hicieron que los resultados del tránsito de 1761 fueran relativamente pobres. Pero, por suerte, un segundo tránsito tan solo ocho años después hizo que muchas de estas dificultades pudieran superarse y obtener así el primer valor acertado y razonablemente preciso de la distancia que separa la Tierra del Sol: unos 153 millones de kilómetros.

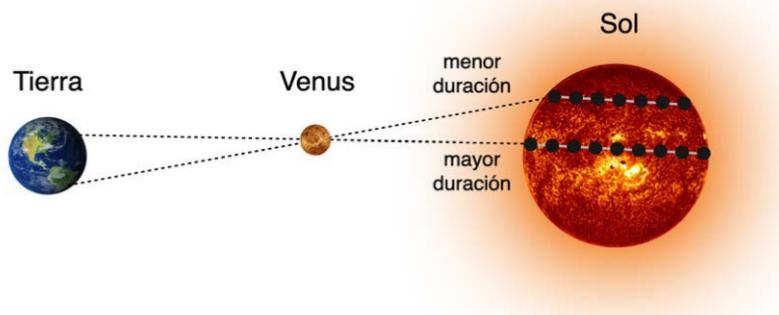


Figura 3: La duración de un tránsito de Venus varía en función de la latitud desde la que se observa, y esto permite estimar distancias a partir de la medida de tiempos.

### El tamaño del sistema solar

El siglo XVII vivió una auténtica revolución científica: las observaciones que Galileo realizó al apuntar por primera vez el telescopio a los cielos permitió demostrar que no todo gira alrededor de la Tierra,

sino que nuestro planeta se mueve alrededor del Sol, tal y como había conjeturado Copérnico. Un apasionado admirador de Galileo y de la teoría copernicana, Johannes Kepler, se encargaría de deducir la forma matemática de esos recorridos alrededor del Sol: se trataba de elipses, y no círculos, como se pensaba hasta entonces. De pronto, esta nueva posibilidad hacía que todo encajara: las observaciones del movimiento planetario, incluso los caprichosos vaivenes de Marte, se volvían meridianamente claras a la luz de la nueva teoría del gran astrónomo alemán. Las dos primeras leyes de Kepler nos indican que las órbitas de los planetas son elípticas y que, en su recorrido, los planetas barren áreas iguales en tiempos iguales (de manera que, al acercarse al Sol, los planetas se desplazan más rápidamente). La tercera ley de Kepler, de capital importancia para la ciencia moderna, establece una proporcionalidad entre el cubo de las distancias de los planetas al Sol y el cuadrado del período orbital. Por supuesto, la formulación de estas leyes no fue carente de esfuerzo, ya que Kepler empleó largos años de trabajo para desvelar esta regularidad a partir de las meticulosas observaciones que Tycho Brahe había acumulado a lo largo de su vida.

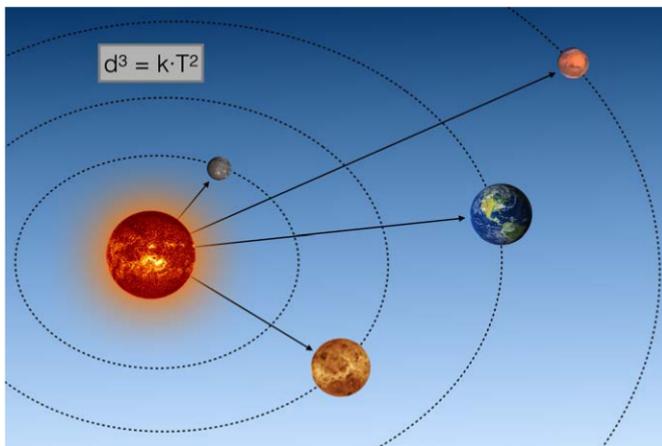


Figura 4: Según la tercera ley de Kepler, el cubo de la distancia media de un planeta al Sol es directamente proporcional al cuadrado del tiempo que tarda en completar una órbita.

La tercera ley de Kepler, al relacionar el tiempo que un planeta necesita para dar una vuelta alrededor del Sol con la distancia que lo separa del mismo, nos da la clave para deducir, inmediatamente, la distancia a cada uno de los planetas, sus satélites y, en definitiva, el tamaño del sistema solar. Los períodos orbitales de los planetas eran bien conocidos, ya que

bastaba con observar cómo se movían en el cielo y anotar las fechas correspondientes. Lo único que faltaba para conocer las distancias era la calibración inicial, una única distancia de separación para poder deducir a partir de esa todas las demás. De ahí la importancia de medir la separación Tierra-Sol de forma correcta, ya que acarrearía la implicación de conocer la distancia a todos los planetas. Las medidas de los tránsitos de Venus de 1761 y 1769 permitieron, por fin, contar con una calibración adecuada de esa distancia; así, un siglo y medio después de que Kepler enunciara sus leyes, fue posible deducir que el planeta más externo del sistema solar conocido entonces, Saturno, estaba situado ni más ni menos que a 1 340 millones de kilómetros del Sol. Poco después le seguiría el descubrimiento de Urano por parte de William Herschel, para el cual la tercera ley de Kepler implicaría una distancia de casi 3 000 millones de kilómetros. Y, en 1846, se anunciaría el descubrimiento de un nuevo planeta, Neptuno, a más de 4 000 millones de kilómetros del Sol. Nuestro hogar, el sistema solar, no paraba de crecer.

## **La distancia a las estrellas próximas: la paralaje**

Si algunas estrellas se encuentran lo suficientemente cerca de nosotros, su posición aparente respecto a las estrellas más lejanas debería cambiar a lo largo del año, ya que nuestro punto de observación en la Tierra varía su posición como resultado de la traslación alrededor del Sol. Es algo similar a lo que ocurre cuando levantamos un dedo ante nosotros, cerrando alternativamente un ojo y después el otro: el dedo parece moverse respecto al fondo. En el caso de una estrella, la máxima separación se esperaría cuando se observa con seis meses de diferencia, de manera que la Tierra se encuentre en puntos diametralmente opuestos en su órbita en torno al Sol, tal y como se ilustra en la figura 5.

Durante siglos, este movimiento que conocemos como paralaje no pudo medirse, y, de hecho, esa falta de paralaje llegó a utilizarse como argumento en contra del modelo heliocéntrico. Por ejemplo, según Tycho Brahe, la ausencia de paralaje observable implicaría una distancia inconcebiblemente grande a las estrellas más próximas, y esto parecía apoyar la teoría geocéntrica que situaba a las estrellas en una esfera perfecta que giraba alrededor de la Tierra. En efecto, las distancias estelares son tan grandes que el ángulo de paralaje es muy pequeño y, por lo tanto, difícil de medir. Sin ir más lejos, Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol, solo se desplaza como máximo 0,77 segundos de arco respecto a su posición central cuando la Tierra ha completado media órbita alrededor del Sol. Este desplazamiento es menor que una millonésima de círculo y equivale al tamaño de una pelota de tenis vista desde 18 km de distancia, lo que explica la dificultad de poder medirlo.

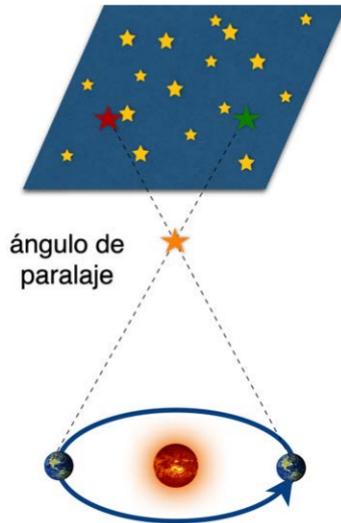


Figura 5: El método de la paralaje permite determinar la distancia a una estrella próxima midiendo su desplazamiento respecto a las estrellas más lejanas observado desde dos puntos diferentes de la órbita de la Tierra alrededor del Sol; por ejemplo, con seis meses de diferencia.

En definitiva, la paralaje anual era muy difícil de medir como consecuencia de las ingentes distancias que nos separan de las estrellas. Tras varios intentos infructuosos, Friedrich Bessel consiguió por primera vez en 1838 medir la paralaje a una estrella, 61 Cygni. En los albores del siglo XX se habían podido medir menos de un centenar de paralajes; durante el siglo XX, las placas fotográficas y, después, los detectores digitales permitieron acelerar el proceso, pero siempre con dificultad. Hoy en día, misiones especiales como Hipparcos, y más recientemente Gaia, son capaces de determinar con precisión exquisita la paralaje de más de mil millones de estrellas en nuestra galaxia. Además de ser una hazaña impresionante que nos ayuda a comprender mejor la estructura de nuestra Vía Láctea, la determinación de paralajes con precisión tiene grandes implicaciones a mayores escalas, ya que los métodos para determinar distancias a otras galaxias se basan, indirectamente, en la calibración que realicemos primero mediante la paralaje a estrellas próximas.

Como curiosidad, y quizá como recordatorio de la fundamental importancia de la paralaje, los astrónomos habitualmente medimos las distancias en pársec: un pársec (pc) es la distancia a la cual un objeto presenta una paralaje de un segundo de arco y corresponde a 3,27 años-luz. La distancia a la estrella más próxima al Sol es de 4,2 años-luz; el

centro de nuestra galaxia se encuentra a unos 28 000 años-luz (8 500 pc). Como referencia, esta última escala es casi 2 000 millones de veces mayor que la distancia que separa la Tierra al Sol, lo que nos puede dar una idea del descomunal tamaño de la galaxia en la que vivimos.

## Un puente a otras galaxias: las variables cefeidas

A finales del siglo XVIII, John Goodricke había observado que una estrella relativamente insignificante,  $\delta$  Cephei, cambiaba su brillo de forma periódica. No era la primera estrella variable que se descubría, pero sí que fue el prototipo de un nuevo grupo de estrellas pulsantes conocido como “variables cefeidas” en honor a aquella. Este tipo de estrellas muestran un aumento pronunciado de luminosidad seguido por una atenuación más lenta del brillo; este patrón se repite regularmente, con períodos típicos de varios días.

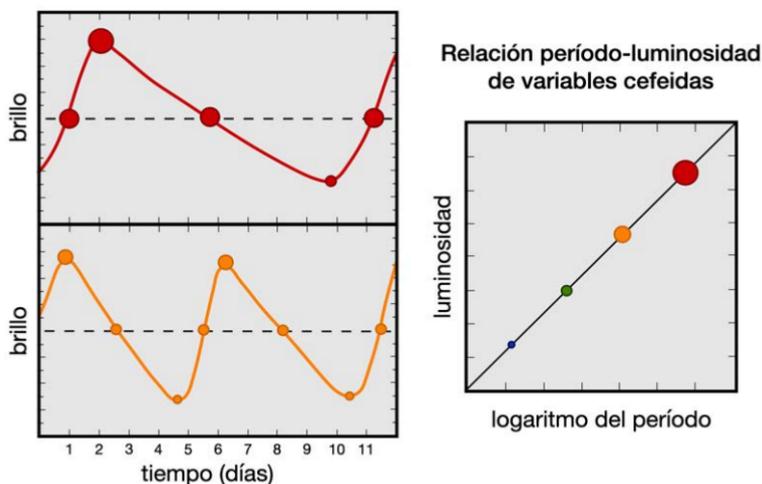


Figura 6: Estudiando estrellas variables cefeidas, Henrietta Leavitt descubrió que existe una estrecha relación entre el período y la luminosidad, de forma que las cefeidas más luminosas son las que presentan una variación de brillo más lenta.

Henrietta Swan Leavitt, una de las astrónomas más brillantes de la historia, dedicó gran parte de su vida a clasificar estrellas y a medir cuidadosamente sus propiedades. Así, a partir de sus observaciones de un grupo de variables cefeidas en la Pequeña Nube de Magallanes, llegó a una conclusión con implicaciones de enorme trascendencia para nuestro

conocimiento del cosmos: las magnitudes aparentes de esas estrellas variables parecían proporcionales al logaritmo del período con el que cambiaban su brillo. Como todas las estrellas de este grupo se encontraban en la misma región, la Pequeña Nube de Magallanes, podía suponerse que estaban aproximadamente a la misma distancia de nosotros; eso quería decir que las estrellas intrínsecamente más luminosas presentaban períodos de oscilación de luminosidad más prolongados. Dándole la vuelta a esto, si fuéramos capaces de calibrar esta relación con la distancia conocida a alguna cefeida concreta, podríamos estimar la luminosidad intrínseca de cualquier otra simplemente a partir de la medida de su período. Finalmente, conociendo su luminosidad intrínseca y su brillo al observarla desde la Tierra, sería posible deducir la distancia a la que se encuentra.

Como las cefeidas son estrellas muy brillantes, la gran ventaja de este método es que permite calcular distancias no solo dentro de nuestra Vía Láctea, sino también a otras galaxias próximas. En 1924, Edwin Hubble consiguió resolver mediante un telescopio estrellas individuales en la galaxia de Andrómeda (M31), y varias de esas estrellas resultaron ser variables cefeidas. Así, Edwin Hubble pudo determinar la distancia a la galaxia de Andrómeda y demostrar de forma concluyente que se encuentra mucho más lejos de nosotros que las estrellas individuales que podemos ver en una noche despejada. Hasta ese momento, y sobre todo en las primeras décadas del siglo XX, existió un acalorado debate en la comunidad astronómica sobre si las “nebulosas espirales” que se venían observando con distintos telescopios formaban o no parte de nuestra galaxia. Había quienes defendían que eran pequeñas nubecillas con forma espiral que flotaban en el medio interestelar, mientras que otros argumentaban que se trataba de verdaderos “universos isla”, galaxias similares a nuestra Vía Láctea que se encontraban a enormes distancias de nosotros. Gracias a Henrietta Leavitt y las variables cefeidas, supimos que esta segunda opción era la correcta: de pronto, el universo conocido pasaba de tener unas decenas de miles de años-luz a extenderse al menos un millón de años-luz. Como veremos a continuación, el universo conocido seguiría creciendo vertiginosamente según avanzaba el siglo XX.

## **El universo en expansión: galaxias cada vez más lejanas**

Cuando un coche de bomberos se nos acerca por la calle, notamos un cambio de tono en la sirena en el momento en que pasa junto a nosotros y empieza a alejarse. Este cambio de tono se debe al llamado efecto Doppler: las ondas sonoras tienden a acumularse y parecer de una frecuencia mayor cuando el objeto que las emite se acerca y, por el contrario, los frentes de onda tienden a estar más separados unos de otros cuando el emisor se aleja de nosotros, resultando en una frecuencia percibida menor. Lo mismo ocurre con la luz, y midiendo el efecto

Doppler de cierta galaxia podemos determinar la velocidad con la que se acerca o aleja de nosotros. Las observaciones revelaron que las galaxias se alejan sistemáticamente, y lo hacen con una velocidad relativa mayor cuanto más lejos se encuentran. Esto es algo que Edwin Hubble pudo determinar combinando la información de velocidades de las galaxias con las distancias a ellas cuidadosamente medidas gracias a las variables cefeidas y otros métodos. Según lo que hoy conocemos como ley de Hubble, la velocidad aparente a una galaxia es directamente proporcional a su distancia. La espectacular conclusión de esto es que el universo se está expandiendo. Estas nociones revolucionarias, junto a la teoría de la relatividad general de Einstein, llevó a desarrollar el modelo cosmológico del Big Bang, según el cual el universo tuvo su origen en una colosal explosión que ocurrió hace unos 13 800 millones de años.

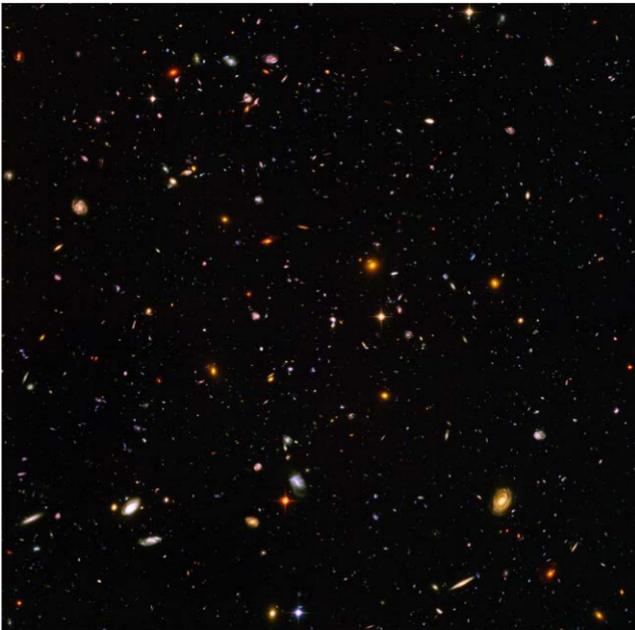


Figura 7: Esta es la imagen más profunda del universo obtenida hasta hoy en luz visible, y se conoce como “campo ultra profundo del Hubble” (Hubble Ultra Deep Field). Combina observaciones del telescopio espacial Hubble entre 2003 y 2004; la luz de algunas de las estructuras que se aprecian fue emitida hace más de 13 000 millones de años, durante la infancia del universo | NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), HUDF Team.

A lo largo del siglo XX, hemos podido medir el efecto Doppler de objetos cada vez más distantes. Gracias a los espectaculares avances técnicos de las últimas décadas, los astrónomos observamos hoy en día de forma relativamente rutinaria galaxias que presentan desplazamientos al rojo en torno a 4 o incluso superiores; esto quiere decir que dichos objetos emitieron la radiación que hoy reciben nuestros detectores hace más de 12 mil millones de años, cuando el universo tenía tan solo un 10% de su edad actual. Observando galaxias situadas en un amplio rango de distancias de nosotros y comparando sus propiedades podemos inferir cuáles han sido los procesos que han determinado la evolución de esas galaxias.



Figura 8: Imagen artística que recrea la explosión de una supernova de tipo Ia, donde un sistema binario cuenta con una enana blanca que transfiere masa a una compañera gigante | Agencia Espacial Europea (ESA) y Justyn R. Maund (Universidad de Cambridge).

## Explosiones de estrellas como candelas estándares

Cuando las estrellas suficientemente masivas llegan al final de su vida y agotan su combustible nuclear, dan lugar a una explosión de supernova. Las supernovas son uno de los fenómenos más energéticos que conocemos en el universo, y en este rápido y espectacular proceso se sintetizan algunos de los elementos químicos característicos de la Tierra. Una supernova también puede producirse en un sistema binario de estrellas cuando existe transferencia de materia de una a otra. Las estrellas binarias son muy

comunes en el universo; cuando en esta especie de danza cósmica una de las participantes es una estrella de neutrones y recibe de la otra suficiente materia, se produce una explosión como supernova. Lo interesante de estas explosiones, conocidas como supernovas de tipo Ia, es que por las propiedades cuánticas de sus constituyentes, siempre ocurren cuando la enana de neutrones alcanza una masa específica y, consecuentemente, estas supernovas siempre presentan la misma luminosidad intrínseca. Esto quiere decir que, si observamos una supernova Ia en una galaxia lejana y medimos su brillo, inmediatamente podemos deducir cuál es la distancia a la que se encuentra. Podríamos decir que se trata de poderosos faros cósmicos que nos permiten desvelar la estructura del universo a gran escala.

## **Distancias cósmicas en la astrofísica actual**

La medida de distancias precisas a un número cada vez mayor de estrellas y galaxias juega un papel fundamental en la astrofísica contemporánea. Tal y como comentábamos, hoy en día se siguen calibrando y refinando medidas de la paralaje gracias a misiones espaciales como Gaia. El estudio de variables cefeidas también es un área activa de investigación, y estos resultados sirven para calibrar otros indicadores de distancias a objetos más lejanos, como si de una escalera se tratara: es necesario recorrer los peldaños inferiores para poder alcanzar los niveles más elevados. Por eso, a menudo nos referimos a esta sucesión de métodos interdependientes como la “escalera cósmica de distancias”.

Las últimas fases de la evolución estelar también proporcionan una llave útil para determinar distancias. En concreto, las estrellas de masa similar al Sol aumentan su tamaño y se vuelven rojas al final de su vida, poblando lo que conocemos como “rama de gigante roja”. Esta rama presenta un pico característico justo antes de que la estrella empiece a quemar helio en su núcleo, y es posible calibrar su luminosidad absoluta conociendo algunas propiedades básicas de la estrella, como su metalicidad.

Varios astrónomos del Observatorio Astronómico Nacional (IGN) estamos fuertemente involucrados en la colaboración internacional PHANGS, donde se estudia en gran detalle el proceso de formación estelar a partir de gas molecular en varias decenas de galaxias cercanas. Para ello, combinamos observaciones en diferentes rangos de longitud de onda de los telescopios ALMA y VLT, en Chile, y el telescopio espacial Hubble. En concreto, como parte de las observaciones con Hubble, hemos podido determinar la distancia a algunas galaxias con la precisión más alta alcanzada hasta ahora, usando para ello el método del pico de la rama de gigante roja que acabamos de describir. Desvelar las estructuras del universo y sus tamaños reales depende críticamente de este sucesivo refinamiento de medidas a diferentes escalas, afianzando cada uno de los peldaños de la escalera cósmica.

Uno de los resultados más espectaculares de los últimos años como consecuencia directa de la medida de distancias astronómicas es la presencia de una gran cantidad de materia oscura en el universo. Mediante mediciones de supernovas de tipo Ia ha sido posible determinar que el universo no solo está expandiéndose, sino que lo hace de forma acelerada: esta es la prueba más sólida de la existencia de energía oscura, una forma misteriosa de energía que, al contrario que la gravedad, produce la repulsión de la materia. Hoy en día, nuestras estimaciones apuntan a que el 70% del universo está compuesto por energía oscura. Sumando a esto la materia oscura, llegamos a la asombrosa conclusión de que todos los protones, neutrones y electrones de los que están compuestos los átomos y moléculas que conocemos cuentan solo el 5%.

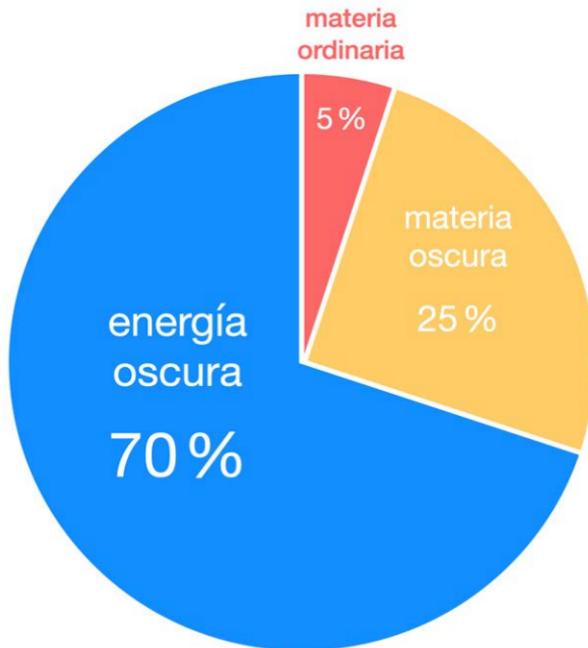


Figura 9: Distribución de materia y energía en el universo según nuestro conocimiento actual.

En definitiva, como hemos visto a lo largo de este artículo, la escalera cósmica de distancias es una conquista intelectual que se prolonga a lo largo de varios milenios. Sin embargo, en muchos sentidos constituye un emocionante punto de partida, ya que la determinación de distancias cada vez más precisas no para de arrojar nuevas preguntas. Por ejemplo, en

el caso de la expansión acelerada del universo que desvelan las medidas mediante supernovas de tipo Ia, podemos preguntarnos: ¿qué es la energía oscura y cuál es su origen? La ciencia es una aventura sin fin.

## **Bibliografía**

- [1] M. Hoskin, 2016, “Breve historia de la astronomía”, Madrid: Alianza.
- [2] J. D. North, 2001, “Historia Fontana de la astronomía y la cosmología”, México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- [3] A. Pannekoek, 1989, “A History of Astronomy”, Nueva York: Dover Publications.
- [4] P. Planesas Bigas, 2019, “Tránsitos. La medida del Sistema solar y de otros sistemas planetarios”, Madrid: CNIG-IGN.



# **ÍNDICE ALFABÉTICO DE MATERIAS**



# Index

- Año
  - duración, 124
- Aberración
  - ánua, 353
- Achatamiento
  - de la Tierra, 339
  - de los planetas, 184
- Acimut
  - de la estrella Polar, 270–271
- Albedo
  - de satélites naturales, 222–226
  - geométrico y de Bond, 183
- Año
  - duración del año juliano, 116
  - duración media de distintos tipos de año, 115
- Asteroides
  - datos físicos, 246
  - datos fotométricos, 246
  - efemérides, 249–259
  - elementos orbitales, 245
  - magnitud, V, 247
  - número de conocidos, 245
  - oposición, 248
  - rotación, 246
- Calendario
  - católico, 84–85
  - domingo de Pascua, 84
  - escritura numérica de fechas, 80
  - explicación general, 80
  - gregoriano, 83
  - israelita, 88
  - juliano, 85–86
  - musulmán, 86–88
  - perpetuo, 90–91
  - reforma gregoriana, 83
- Ceres
  - datos fotométricos, 238
  - descubrimiento, 239
  - efemérides, 240
  - elementos orbitales, 237
  - masa, tamaño, 239
  - traslación, 238
- Cometas
  - de corto periodo, 262–265
  - de largo periodo, 261
  - elementos orbitales, 261–264
  - que pasan por el perihelio este año, 36, 260
- Composición
  - abundancia solar de elementos químicos, 127
  - moléculas en el medio interestelar, 362
- Constantes
  - astronómicas, 357
  - astronómicas para J2000, 127
  - atómicas y espectroscópicas, 356
  - cosmológicas, 357
  - electromagnéticas, 356
  - equivalencias útiles, 180, 306, 357
  - factores de conversión, 357
  - fundamentales, 356
  - prefijos del SI, 358
- Constelaciones

- del cielo mes a mes, 38–61
- esquemas, 282–287
- posición y tamaño, 279–281
- Coordenadas
  - aparentes (aberración), 353
  - geográficas, *see* Posiciones geográficas
  - medias (precesión), 350–352
  - verdaderas (nutación), 353
- Corrección de las coordenadas
  - por aberración ánuva, 353
  - por nutación, 353
  - por precesión, 350–352
  - por refracción atmosférica, 354–355
- Crepúsculo
  - civil, náutico y astron., 150
  - visibilidad de los planetas, 18–20
- Cúmulos estelares
  - abiertos o galácticos, 312
  - cerrados o globulares, 310
- Día juliano, *DJ*
  - fórmula para este año, 13
- Día
  - día de la semana, 83, 90–91
  - de la semana, 108–119
  - definición, 80, 94
  - del año, 108–119
  - durac. media del día sidéreo, 114
  - durac. media del día solar, 114
  - duración del día, 152
  - solar medio en los planetas, 183
- Día juliano, *DJ*
  - DJ* y día de la semana, 83
  - día a día, 108–119
  - día juliano modificado, 110
  - días julianos notables, 82, 109
  - descripción, 81, 110
  - durante una década, 82
  - mes a mes, 81
  - modificado, 83
  - para diversas épocas, 82
  - para una fecha gregoriana, 82
- Distancia
  - angular y luminosa, 333
  - en el sistema solar, 234
  - en la Vía Láctea, 306
  - ley de Hubble, 333
- Eclipses
  - de Luna durante el año, 70–74
  - de Luna futuros, 76
  - de Sol durante este año, 66–69
  - de Sol futuros, 75
  - durante el año próximo, 64, 65
  - durante este año, 15, 63
  - durante este siglo, 64
  - interpretación de las tablas, 74
- Ecuación de los equinoccios
  - día a día, 108–119
  - definición, 98, 113
  - fórmula aproximada, 93, 99, 113
- Ecuación de tiempo
  - día a día, 108–119
  - definición, 100, 117
  - fórmula aproximada, 100, 118
  - figura, 100
  - valores extremos y nulos, 119
- Elipsoide terrestre, *see* Tierra
- Enanos, planetas
  - datos fotométricos, 238
  - descubrimiento, 239
  - efemérides, 240
  - elementos orbitales, 237
  - masa, tamaño, 239
  - satélites, 239
  - traslación, 238

- Equinoccios  
 de primavera y de otoño, 14  
 ecuación de los equinoccios,  
*see id. id.*  
 para este año, 15
- Eris  
 datos fotométricos, 238  
 descubrimiento, 239  
 efemérides, 244  
 elementos orbitales, 237  
 masa, tamaño, 239  
 satélites, 239  
 traslación, 238
- Escalas de tiempos, *see* Tiempo  
 convenio para el ANUARIO,  
 13
- Estaciones  
 duración, 14, 15  
 fechas extremas de inicio, 14  
 inicio para este año, 15
- Estrellas  
 brillantes, 293–298  
 cálculo de coordenadas apa-  
 rentes, 350–355  
 cercanas, 293  
 constelaciones, *see* Constela-  
 ciones  
 de gran mov. propio, 293  
 dobles, 298–300  
 equivalencias en distancias,  
 306  
 magnitud y brillo, 304  
 nombres usuales, 289–290  
 ocultación por la Luna, 34  
 Pléyades, 290  
 Polar, *see* Polar  
 variables, 301–304  
 variables tipo Mira, 274
- Fases de la Luna, 14
- Fecha  
 escritura normalizada, 80  
 juliana, 81
- Fenómenos astronómicos  
 día a día, 37–61  
 resumen anual, 14–36
- Galaxias  
 brillantes, 329  
 cúmulos de galaxias, 330  
 cuásares, 329  
 del Grupo Local, 325  
 en catálogo de Messier, 317–  
 319  
 infrarrojas, 330  
 ley de Hubble, 333  
 nombres usuales, 325–327  
 radiogalaxias, 329  
 tabla de distancias, 333
- Haumea  
 datos fotométricos, 238  
 descubrimiento, 239  
 efemérides, 242  
 elementos orbitales, 237  
 masa, tamaño, 239  
 satélites, 239  
 traslación, 238
- Interpolación  
 directa, 358–360  
 inversa, 360
- Júpiter  
 conjunción y oposición, 17  
 constelaciones recorridas, 17  
 datos orbitales, físicos y foto-  
 métricos, 181–185  
 efemérides, 194  
 efemérides orbitales, 17  
 efemérides para observacio-  
 nes físicas, 195  
 posición de los satélites gali-  
 leanos, 228–233  
 satélites, 212–226  
 visibilidad (en 2021), 18–20
- Luna  
 apogeo y perigeo, 178  
 comparación con otros satélites,  
 212–226

- coord. topocéntricas, 158
  - datos físicos, 157
  - distancia a la Tierra, 156, 177
  - eclipses, *see* Eclipses
  - edad, 177
  - elementos medios de la órbita, 156
  - fases
    - definición, 14, 177
    - en este año, 15, 177
  - libraciones, 157
  - meses, 157
  - ocultaciones, 33–35
  - órbita, 156
  - orto y ocaso en cualquier lugar, 173–175
  - paralaje, 176–177
  - paso por el meridiano, 175
  - semidiámetro, 175–177
  - unidades lunares, 155
- Magnitud**
- de asteroides brillantes, 246
  - de cúmulos estelares, 310–312
  - de estrellas, 289–306
  - de galaxias brillantes, 329
  - de galaxias del Grupo Local, 325
  - de los planetas cada 20 días, 189–201
  - de objetos Messier, 317–319
  - de planetas en oposición, 183
  - de satélites en oposición, 222–226
  - definición, 304
  - del Sol: absolutas, aparentes, 125
  - diferencia de magnitudes y razón de brillos, 304
  - máxima de Mercurio, Venus y Marte, 16
  - media de Júpiter, . . . Neptuno, 17
- Makemake**
- datos fotométricos, 238
  - descubrimiento, 239
  - efemérides, 243
  - elementos orbitales, 237
  - masa, tamaño, 239
  - traslación, 238
- Marte**
- datos orbitales, físicos y fotométricos, 181–185
  - efemérides, 192
  - efemérides orbitales, 16
  - efemérides para observaciones físicas, 193
  - fenómenos en este año, 16
  - satélites, 212–226
  - visibilidad (en 2021), 18–20
- Mercurio**
- datos orbitales, físicos y fotométricos, 181–185
  - efemérides, 188
  - efemérides orbitales, 16
  - efemérides para observaciones físicas, 189
  - fenómenos para este año, 16
  - tránsito, 16
  - visibilidad (en 2021), 18–20
- Meteoroides**
- lluvias de meteoros, 266
  - meteoros, 265
- Nebulosas, *see* Vía Láctea**
- de emisión, 315
  - de reflexión, 315
  - en catálogo de Messier, 317–319
  - observación, 314–316
  - planetarias, 316
  - restos de supernova, 316
  - tipos, 312–314
- Neptuno**
- conjunción y oposición, 17
  - constelaciones recorridas, 17
  - datos orbitales, físicos y fotométricos, 181–185

- descubrimiento, 186
- efemérides, 200
- efemérides orbitales, 17
- efemérides para observaciones físicas, 201
- satélites, 212–226
- Nutación
  - paso de coordenadas medias a verdaderas, 353
- Oblicuidad de la eclíptica
  - durante el año, 124
- Observaciones físicas
  - de los planetas, 189–201
  - del Sol, 130–141
- Observatorios
  - en el mundo, 345
  - en España, 344
- Ocultaciones
  - de asteroides por la Luna, 33–34
  - de estrellas por la Luna, 34
  - de planetas por el Sol, 33
  - de planetas por la Luna, 33
- Orbita de la Tierra
  - afelio y perihelio extremos, 14
  - afelio y perihelio para este año, 15
  - datos orbitales, 181–183, 203
- Ortos y ocasos
  - de la Luna, 173–175
  - de los planetas, 202
  - del Sol, 130–141, 144–147
- Parsec, año luz, Unidad Astronómica
  - equival., múltiplos, 306, 357
- Planetas
  - órbita, 180–182, 203
  - atmósfera, 185
  - datos físicos, 184
  - declinación durante el año, 186
  - descubrimiento, 186
  - efemérides, 188–202
  - elementos orbitales, 182, 203
  - fórmulas, 203
  - fenómenos en este año, 16–17
  - fotometría, albedo, 183
  - magnetosfera, 185
  - masa, tamaño, 184
  - ocultación por la Luna, 33
  - ortos y ocasos en cualquier lugar, 202
  - paso por el meridiano, 203
  - posiciones geocéntricas y heliocéntricas, 203–205
  - rotación, 183
  - satélites, *see* Satélites
  - sistema planetario, *see* Sistema solar
  - traslación, 182
  - visibilidad en este año, 18–20
- Plutón
  - datos fotométricos, 238
  - descubrimiento, 239
  - efemérides, 241
  - elementos orbitales, 237
  - masa, tamaño, 239
  - satélites, 239
  - traslación, 238
- Polar (estrella)
  - coord. ecuat. aparentes, 270–271
  - coord. ecuatoriales J2000, 267, 269
  - coord. horizontales, 268
  - determinación de la latitud, 268
- Polo Norte
  - de la Vía Láctea, 308
  - del sistema solar, 180
  - del Sol, 125
- Posiciones geográficas
  - ciudades españolas, 342–343
  - convenios, 13
  - observatorios españoles, 344
  - observatorios mundiales, 345

## Precesión

- cálculo aproximado, 350
- cálculo exacto, 352
- efecto sobre las coordenadas ecuatoriales, 350–352

## Refracción

- corrección de la altura observada, 354–355
- fórmula aproximada, 354

## Satélites

- datos físicos, 222–226
- descubrimiento, 217–221
- elementos orbitales, 212–216
- fotometría, 222–226
- nombres, 212–216
- periodos, 217–221
- posición de los satélites galileanos, 228–233

## Saturno

- conjunción y oposición, 17
- constelaciones recorridas, 17
- datos orbitales, físicos y fotométricos, 181–185
- efemérides, 196
- efemérides orbitales, 17
- efemérides para observaciones físicas, 197
- inclinación de los anillos, 17
- satélites, 212–226
- visibilidad (en 2021), 18–20

## Semana

- día de la semana corresp. a un día juliano, 83
- día de la semana corresp. a una fecha, 90–91
- numeración, 80

## Sistema solar

- asteroides, *see* Asteroides, *see* Asteroides
- cometas, *see* Cometas
- equivalencia en distancias, 234
- meteoroides, *see* Meteoroides

- sistema planetario, 180, 236
- unidades, 180

## Sol

- abundancia de elementos químicos, 127
- afelio y perihelio, 15
- azimut de orto y ocaso, 148
- cálculos aproximados, 142
- coord. ecuatoriales, 130–141
- coord. ecuatoriales aprox., 143
- coord. heliográficas, 130–141
- crepúsculos, 150–151
- culminación, orto y ocaso en Madrid, 130–141
- datos físicos, 124
- distancia a la Tierra, 142–143
- duración del día, 151–152
- eclipses, *see* Eclipses
- eje de rotación, *P*, 130–141
- entrada en signos del zodiaco, 17
- luminosidad, 125
- manchas solares, 154
- movimiento diario, 142–143
- movimiento en el espacio, 126
- ocultaciones, 33
- órbita, 124
- orto y ocaso en otro lugar, 144–146
- ortos y ocasos extremos en Madrid, 152
- paralaje horizontal, 142–143
- paso por el meridiano, 153
- paso por el primer vertical, 149
- rotación, 125
- rotaciones sinódicas, 153
- semidiámetro, 142–143
- tiempo de paso del semidiámetro, 142–143
- unidades solares, 123
- viento solar, 126

## Solsticios

- de verano y de invierno, 14
- para este año, 15

## Tiempo

- DUTI*, 97
- civil, 100
- de efemérides, *TE*, 94
- ecuación de los equinoccios, *see id. id.*
- ecuación de tiempo, *see id. id.*
- emisores de señales de tiempo, 101–102
- escala atómica, *TAI*, 94
- escalas de tiempo, 94–100
- horario adelantado, 103–104, 107
- husos horarios, 102
- meses (calendario), 108–119
- meses (Luna), 157
- oficial
  - en los países del mundo, 102–106
  - explicación, 102
  - oficial en España, 107
- sidéreo, 98–99, 112
- sidéreo local, fórmula, 93, 99
- sidéreo verdadero en Greenwich
  - día a día, 108–119
- siglo, milenio, 81
- solar medio y verdadero, 99–100, 111
- Tiempo Atómico Internacional, 94
- tiempos dinámicos, 94–95
- Universal Coordinado, *UTC*, 96–97, 101–102
- Universal, *TU*, *UTI*, 95

## Tierra

- comparación con otros planetas, *see Planetas*
- distancia al Sol, 142–143
- elipsoides de referencia, 339–341

masa, tamaño, 338

- órbita, *see* Órbita de la Tierra
- periodo de rotación, 114
- rotación, 339
- satélites, 212–226
- unidades terrestres, 337

## Unidades

- astronómicas, 306, 357
- día, 94
- equivalencias útiles, 180, 306
- factores de conversión, 357
- segundo, 94

## Urano

- conjunción y oposición, 17
- constelaciones recorridas, 17
- datos orbitales, físicos y fotométricos, 181–185
- descubrimiento, 186
- efemérides, 198
- efemérides orbitales, 17
- efemérides para observaciones físicas, 199
- satélites, 212–226
- visibilidad (en 2021), 18

## Vía Láctea

- cúmulos, *see* Cúmulos estelares
- características cerca del Sol, 309
- características globales, 308
- nebulosas, *see* Nebulosas
- nubes moleculares, 314

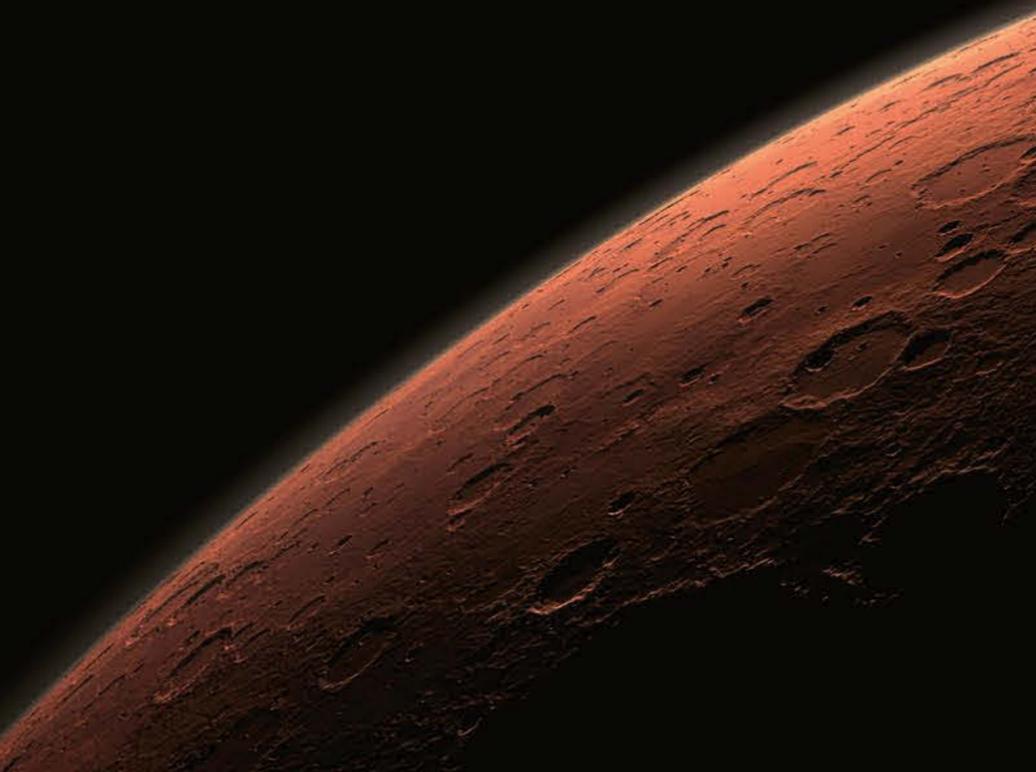
## Venus

- datos orbitales, físicos y fotométricos, 181–185
- efemérides, 190
- efemérides orbitales, 16
- efemérides para observaciones físicas, 191
- fenómenos en este año, 16
- tránsitos, 16
- visibilidad (en 2021), 18–20

## Zodíaco

definición, 17

entrada del Sol en signos, 17



**EDITA:**  
Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)  
General Ibáñez de Ibero, 3 - 28003 Madrid \*  
Teléfono: + 34 91 597 94 53 - FAX: + 34 91 553 29 13  
e-mail: [consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es)

**Precio (incluido IVA): 10 euros**

[www.ign.es](http://www.ign.es) — [www.cnig.es](http://www.cnig.es) — [www.oan.es](http://www.oan.es)