

# Anuario del Real Observatorio Astronómico de Madrid 2025



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
NACIONAL





**ANUARIO  
DEL  
REAL OBSERVATORIO  
ASTRONÓMICO  
DE MADRID**

**2025**

**Título:**

Anuario del Real Observatorio Astronómico de Madrid

**Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:**

<https://cpage.mpr.gob.es/>

Editado en octubre de 2024.

**Publica:**

© De esta edición, O. A. Centro Nacional de Información Geográfica, 2024.

**Autoría:**

© Instituto Geográfico Nacional.

Observatorio Astronómico Nacional.

**Diseño y maquetación:**

Observatorio Astronómico Nacional, Instituto Geográfico Nacional.

**Cubierta:**

El quinteto de Stephan es un grupo compacto de cinco galaxias ubicadas en la constelación de Pegasus. Cuatro de las galaxias (NGC 7317, NGC 7318a, NGC 7318b y NGC 7319) se encuentran a unos 290 millones de años luz, interactuando y fusionándose entre ellas, mientras que la quinta galaxia (NGC 7320) está a unos 40 millones de años luz. Este mosaico de imágenes se captó con la Cámara de Infrarrojo Cercano (NIRCam) y el Instrumento de Infrarrojo Medio (MIRI) del Telescopio Espacial James Webb, permitiendo observar las regiones de formación estelar más directamente y examinar la emisión de polvo con mucho más detalle. Créditos: NASA, ESA, CSA, STScI.

**ISBN:** 978-84-416-8470-6

**ISSN:** 0373-5125

**ISSN-e:** 2660-5759

**NIPO:** 198-24-042-X

**NIPO DIGITAL:** 198-24-043-5

**DEPÓSITO LEGAL:** M-7390-1958

**DOI:** <https://doi.org/10.7419/162.29.2024>

Los derechos de la edición son del O. A. Centro Nacional de Información Geográfica como editorial.

Este Organismo agradece que la difusión electrónica masiva de la edición digital se realice a través de un enlace al apartado correspondiente de la página web oficial.

En esta publicación se ha utilizado papel certificado de acuerdo con los criterios medioambientales de la contratación pública vigente.

Impreso en los talleres del Instituto Geográfico Nacional.



Calle General Ibáñez de Ibero, 3

28003 - Madrid (España)

[ign.es](http://ign.es) / [cnig.es](http://cnig.es)

[consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es)

**ANUARIO  
DEL  
REAL OBSERVATORIO  
ASTRONÓMICO  
DE MADRID**

**2025**



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
NACIONAL



## Posiciones geográficas

REAL 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>	-03°41'16",5	-14 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> ,10
Altitud	655,36 m	

OBSERVATORIO DE YEBES  
(*Centro del radomo del radiotelescopio de 14 m*)

Latitud	+40°31'31",2	
Longitud	-03°05'17",3	-12m21 <sup>s</sup> ,15
Altitud	931 m	

ESTACIÓN DE OBSERVACIÓN DE CALAR ALTO  
(*Coordenadas del telescopio de 1,52 m*)

Latitud	+37°13'27",1	
Longitud	-02°32'53",9	-10m11 <sup>s</sup> ,59
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 Real 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

El cierre de la edición del Anuario es una buena ocasión para hacer balance de los trabajos realizados durante el año que termina y mirar hacia el futuro. Para el Observatorio, ha sido este año pasado muy fructífero en lo referente a la toma de datos en algunos de los mejores observatorios del mundo. Numerosas regiones de formación estelar, estrellas evolucionadas y galaxias de todo tipo han recibido la atención de nuestros astrónomos y astrónomas que, para sus estudios, además de utilizar nuestros radiotelescopios (Yebes, Pico Veleta y NOEMA) han tenido mucho éxito obteniendo tiempo de los telescopios espaciales Hubble y James Webb. Estos datos ya se están plasmando en resultados astrofísicos del mayor interés y de primer nivel.

Durante el año 2024, el Observatorio de Yebes ha continuado consagrándose como primer radiotelescopio del mundo en la detección de nuevas especies moleculares en el espacio. Gracias a la colaboración de astrónomos del Observatorio Astronómico Nacional (IGN) con científicos del CSIC son ya 90 las nuevas especies moleculares detectadas en el espacio desde que comenzaron estas observaciones en Yebes. Esto supone el 28 % del total de moléculas identificadas en el espacio a lo largo de la historia de la radioastronomía. Concretamente, en 2024 se han detectado dos grandes moléculas aromáticas con tres anillos fusionados: se trata de dos isómeros del cianoacenaftileno, formados por dos anillos de 6 átomos de carbono y otro de 5, con un grupo nitrilo sustituyendo a uno de los hidrógenos. Es este un resultado sorprendente, pues durante 40 años se había pensado que los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) solo contenían anillos de 6 carbonos.

Las instalaciones del Real Observatorio Astronómico de Madrid siguen manteniéndose impecablemente. Esto, junto a la calidad de las explicaciones impartidas por los monitores de las visitas, está haciendo que batamos récords en el número de visitantes (superan los 8000 este año). Como los grupos son pequeños (25 personas), hemos hecho el esfuerzo de ampliar la oferta de horarios. El nuevo libro guía del Observatorio, que ha tenido excelente acogida, se publicará próximamente también en inglés pues son numerosas las visitas de otros países que se interesan por nuestra institución.

**Rafael Bachiller**

Director del Observatorio Astronómico Nacional

Noviembre de 2024

## Cambios respecto de las ediciones precedentes

En esta edición se han incorporado unas breves introducciones en los capítulos 4, 5, 6 y 7, dedicados a: el Sol y la Luna, los planetas y satélites, los objetos menores del sistema solar y las estrellas y galaxias, respectivamente. Los nuevos textos han sido redactados por nuestra compañera Marina Rodríguez Baras.

Otra importante novedad es la incorporación del astrónomo Pedro Pablo Campo Díaz, que será el nuevo responsable de la elaboración del Anuario. Gracias a su esfuerzo se ha realizado la migración de los antiguos programas de generación del Anuario, escritos en Fortran, a una nueva versión utilizando Python. Además, se ha encargado de la actualización de la sección de estrellas dobles, dentro del capítulo dedicado a las estrellas.

La maquetación y las ilustraciones han sido confeccionadas por José Antonio Bolonio.

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 breves descripciones de las principales actividades y áreas de investigación científica del OAN, además de información al público relativa a efemérides astronómicas. También están disponibles para descargar gratuitamente las ediciones del Anuario desde el 2009 hasta el año actual y los artículos de divulgación desde el año 1994:

<http://astronomia.ign.es/web/guest/oan/anuario>

La correspondencia sobre este Anuario debe ser enviada a:

*Anuario del Real 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.

**Pedro Pablo Campo Díaz.**

Astrónomo.

**María Sánchez Ramos** (coordinadora).

Astrónoma.

## Observatorio Astronómico Nacional (IGN)

Astrónomos del OAN a fecha de 1 de octubre de 2024

Bachiller García, Rafael, *Director*

Alcolea Jiménez, Javier

Aller Egea, Alba

Alonso Albi, Tomás (excedencia temporal)

Baño Esplugues, Gisela

Campo Díaz, Pedro Pablo

Desmurs, Jean-François

Díaz Luis, José Jairo

Fuente Juan, María Asunción (excedencia temporal)

Gallardo Cava, Iván

García Burillo, Santiago

García Miró, Cristina

Gómez Garrido, Miguel

Jiménez Donaire, María Jesús

Marcelino Lluch, Nuria

Pérez Díez, Víctor

Querejeta Pérez, Miguel

Rioja Capellán, María José (servicios especiales)

Rivière Marichalar, Pablo

Rodríguez Baras, Marina

Sánchez Ramos, María

Santander García, Miguel

Tafalla García, Mario

Tarrío Alonso, Paula

Tercero Martínez, Belén

Usero Villanueva, Antonio

Vidal García, Alba

## 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

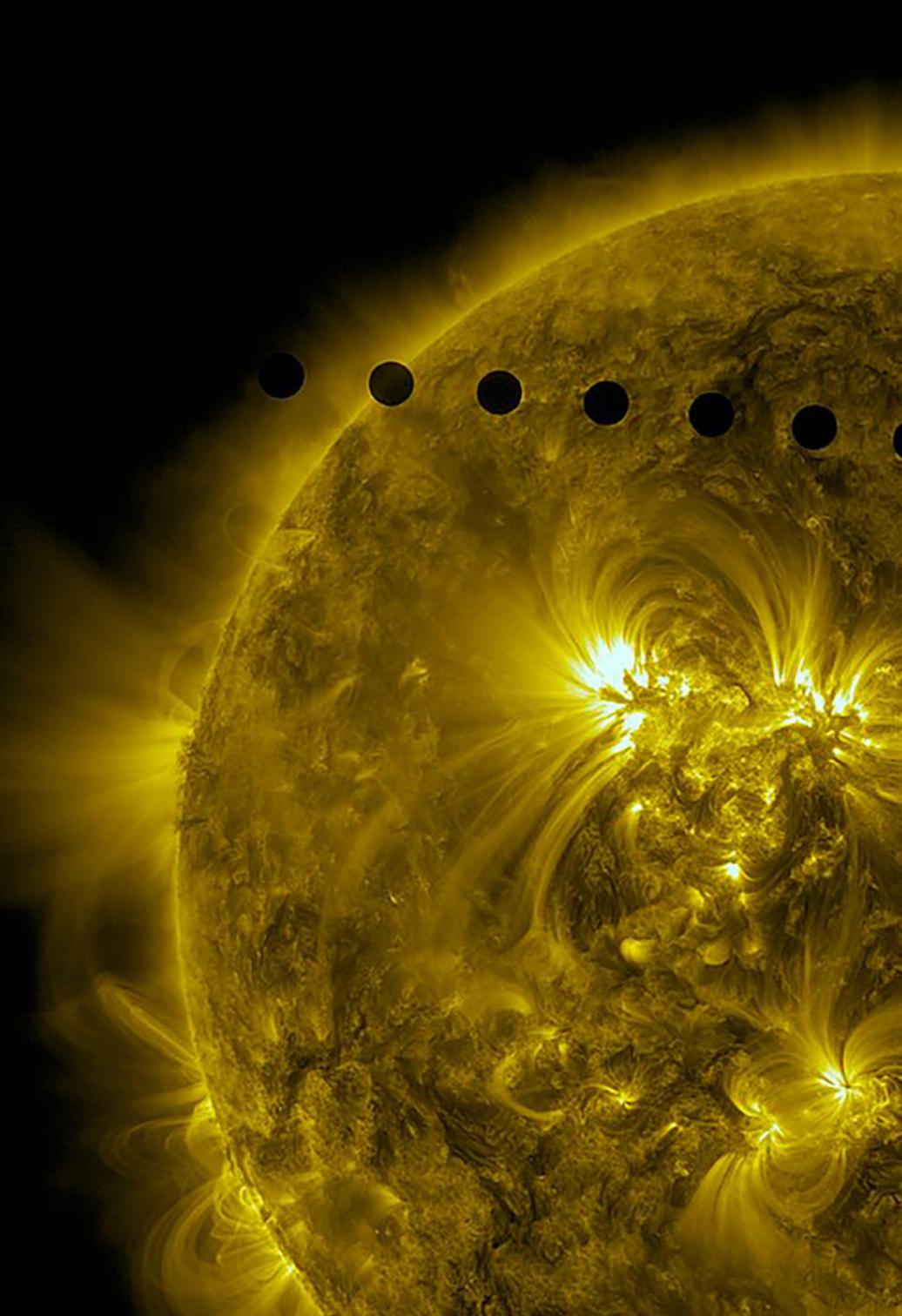
<b>1. Fenómenos celestes del año</b> . . . . .	<b>17</b>
1.1. El cielo de 2025. . . . .	19
Convenios . . . . .	19
Inicio de las estaciones . . . . .	19
Perihelio y afelio . . . . .	20
Fases de la Luna . . . . .	20
Eclipses . . . . .	21
Órbitas de los planetas . . . . .	22
Entrada del Sol en los signos del zodiaco. . . . .	24
1.2. Visibilidad de los planetas en 2025 . . . . .	24
1.3. Ocultaciones por la Luna o el Sol en 2025 . . . . .	40
Ocultaciones de planetas por la Luna . . . . .	40
Ocultaciones de planetas por el Sol . . . . .	41
Ocultaciones de grandes asteroides por la Luna . . . . .	41
Ocultaciones de estrellas brillantes por la Luna . . . . .	41
Características de las ocultaciones fuera de Madrid . . . . .	44
1.4. Fenómenos astronómicos día a día . . . . .	45
1.5. Eclipses de Sol . . . . .	70
Magnitud de los eclipses de Sol. . . . .	70
Mapas y tablas de los eclipses de Sol . . . . .	71
Eclipses de Sol en 2025. . . . .	71
Eclipses de Sol en los próximos años . . . . .	78
Eclipses de Sol visibles en España en los próximos años . . . . .	78
1.6. Eclipses de Luna . . . . .	80
Magnitud de los eclipses de Luna. . . . .	81
Mapas y tablas de los eclipses de Luna . . . . .	81
Eclipses de Luna en 2025. . . . .	81
Eclipses de Luna en los próximos años . . . . .	86
1.7. Tránsitos . . . . .	86
<b>2. La medida del tiempo.</b> . . . .	<b>89</b>
2.1. Escalas de tiempo . . . . .	91
Escala atómica: TAI . . . . .	91
Escalas dinámicas: $TE \approx TDT \approx TT, TDB$ . . . . .	91
Escala ligada a la rotación de la Tierra: TU (UT1) . . . . .	92
Escala de difusión mundial: UTC . . . . .	93
Tiempo sidéreo: $\theta_v, \theta_m$ . . . . .	95
Tiempos solares . . . . .	97
Emisores de señales de tiempo . . . . .	98
Relaciones válidas en el año . . . . .	100
2.2. Tiempo oficial y husos horarios . . . . .	101
La hora en España . . . . .	107

2.3. Tablas de tiempos . . . . .	108
2.4. Los calendarios . . . . .	120
Escritura numérica de fechas . . . . .	120
Numeración de las semanas . . . . .	121
2.5. Día juliano . . . . .	121
2.6. Calendarios del mundo . . . . .	124
Calendario gregoriano . . . . .	124
Calendario católico para 2025 . . . . .	124
Calendario juliano . . . . .	126
Cronología . . . . .	127
Calendario musulmán . . . . .	127
Calendario israelita . . . . .	129
Calendario perpetuo . . . . .	131
<b>3. Tierra . . . . .</b>	<b>135</b>
3.1. Parámetros físicos de la Tierra . . . . .	139
Forma y tamaño . . . . .	139
Luminosidad . . . . .	141
Masa y momento de inercia . . . . .	142
Gravedad . . . . .	142
Campo magnético . . . . .	143
3.2. Atmósfera . . . . .	145
Estructura y composición . . . . .	145
Refracción atmosférica . . . . .	147
3.3. Rotación terrestre . . . . .	150
Datos generales . . . . .	150
Precesión y nutación . . . . .	150
Variaciones irregulares de la rotación terrestre . . . . .	156
3.4. Traslación terrestre . . . . .	157
Parámetros orbitales medios J2000 . . . . .	157
Distancias al Sol . . . . .	158
Tiempos . . . . .	158
Velocidades . . . . .	158
Corrección de las coordenadas por aberración ánuia . . . . .	158
3.5. Satélites artificiales . . . . .	159
3.6. Posiciones geográficas . . . . .	161
Ciudades españolas . . . . .	161
Observatorios astronómicos profesionales españoles . . . . .	163
Observatorios astronómicos profesionales internacionales . . . . .	164
<b>4. Sol y Luna . . . . .</b>	<b>167</b>
4.1. Datos solares . . . . .	171
Elementos medios de la órbita para 2025 . . . . .	171
Longitud verdadera (error < 30'') . . . . .	171

Duración de los años . . . . .	171
Distancia media . . . . .	171
Datos físicos . . . . .	171
Rotación . . . . .	172
Luminosidad . . . . .	172
Fotosfera solar . . . . .	173
Campo magnético solar . . . . .	173
Viento solar . . . . .	173
Movimiento del Sol . . . . .	173
Elementos químicos en el sistema solar . . . . .	174
Constantes para la época J2000.0 . . . . .	174
4.2. Efemérides solares diarias para el año 2025 . . . . .	175
Cálculos aproximados . . . . .	176
4.3. Fórmulas para cálculos aproximados . . . . .	189
4.4. Ortos, ocasos y pasos del Sol por el meridiano . . . . .	191
Cálculo de orto y ocaso del Sol . . . . .	191
Paso del Sol por el meridiano . . . . .	197
Crepúsculos . . . . .	197
Tiempo de insolación (o duración del día) . . . . .	199
4.5. Rotaciones sinódicas y manchas solares . . . . .	201
Rotaciones sinódicas del Sol . . . . .	201
Manchas solares . . . . .	201
4.6. Datos lunares . . . . .	203
Elementos medios de la órbita para 2025 . . . . .	203
Coordenadas eclípticas verdaderas . . . . .	203
Distancia . . . . .	203
Otros datos orbitales . . . . .	203
Traslación y rotación . . . . .	204
Datos físicos . . . . .	204
Datos fotométricos . . . . .	205
Distancia, semidiámetro y paralaje horizontal de la Luna . . . . .	205
4.7. Coordenadas topocéntricas de la Luna . . . . .	207
4.8. Efemérides de la Luna para 2025 . . . . .	208
4.9. Ortos, ocasos y pasos de la Luna por el meridiano . . . . .	221
Cálculo del orto y ocaso de la Luna . . . . .	221
Paso de la Luna por el meridiano . . . . .	224
4.10. Fases de la Luna . . . . .	225
4.11. Perigeos y apogeos . . . . .	226
Valores extremos en los siglos XX y XXI . . . . .	227
<b>5. Planetas y satélites . . . . .</b>	<b>229</b>
5.1. Datos planetarios . . . . .	233
Sistema planetario . . . . .	233
Elementos orbitales . . . . .	233

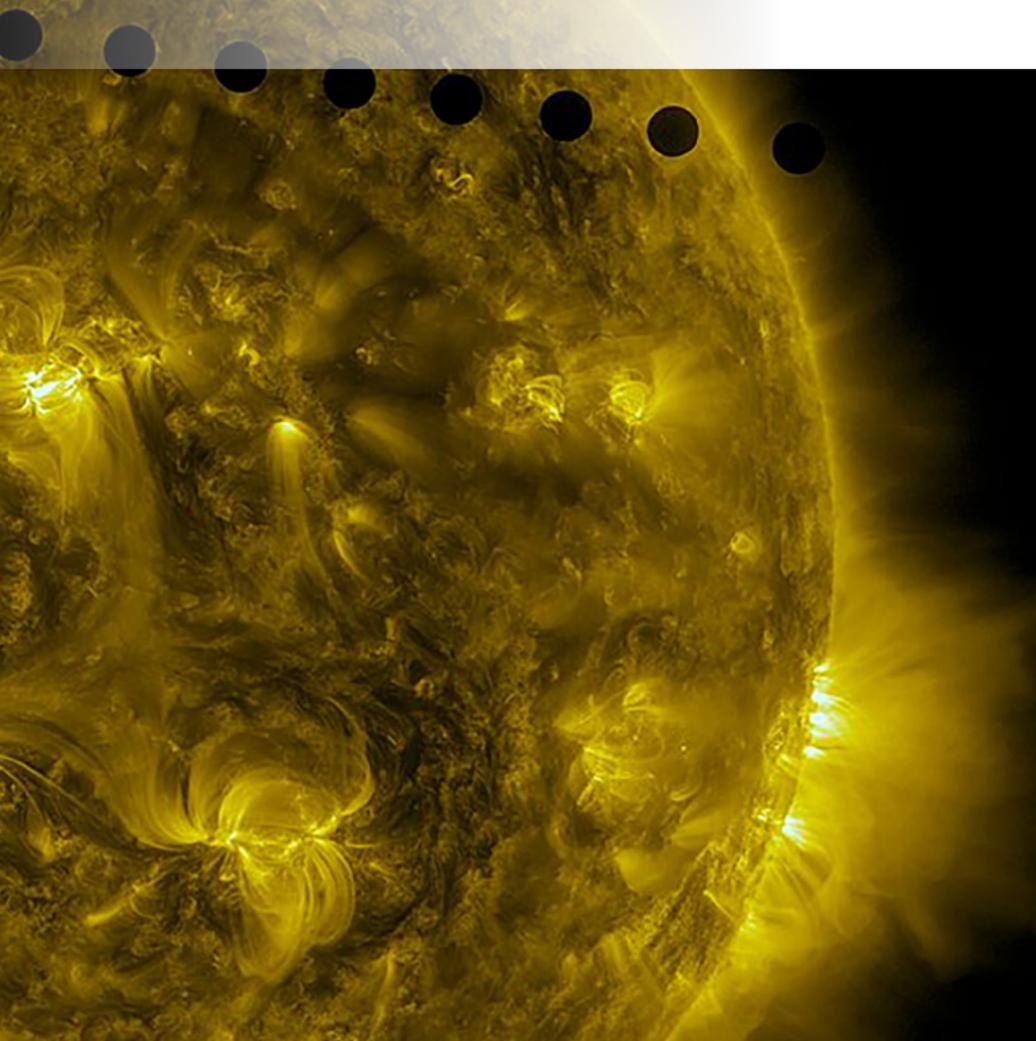
Datos físicos . . . . .	237
Fórmulas . . . . .	239
5.2. Efemérides planetarias para el año . . . . .	240
Brillo. . . . .	241
Iluminación . . . . .	241
Orientación . . . . .	241
5.3. Ortos, ocasos y pasos de los planetas por el meridiano. . . . .	256
Cálculo del orto y ocaso de los planetas. . . . .	256
Paso de los planetas por el meridiano. . . . .	257
5.4. Situación y apariencia de los planetas . . . . .	258
Posición heliocéntrica de los planetas. . . . .	258
Orientaciones y tamaños de los planetas. . . . .	259
Trayectorias de los planetas a lo largo del año . . . . .	260
5.5. Satélites naturales . . . . .	262
Nombres de los satélites . . . . .	262
Elementos orbitales y datos físicos de los satélites . . . . .	265
Posiciones relativas de los satélites galileanos de Júpiter . . . . .	272
Posiciones relativas de los satélites de Saturno. . . . .	278
<b>6. Objetos menores del sistema solar . . . . .</b>	<b>285</b>
6.1. Estadísticas de objetos menores . . . . .	289
6.2. Planetas enanos . . . . .	289
Elementos orbitales y físicos de los planetas enanos . . . . .	290
Efemérides de los planetas enanos. . . . .	293
6.3. Asteroides . . . . .	298
Asteroides cercanos a la Tierra . . . . .	301
Efemérides de los asteroides . . . . .	302
6.4. Cometas . . . . .	310
Cometas periódicos que pasan por su perihelio . . . . .	310
Cometas de largo periodo . . . . .	311
Cometas de corto periodo . . . . .	312
6.5. Meteoros y lluvias de meteoros. . . . .	316
<b>7. Estrellas y galaxias . . . . .</b>	<b>319</b>
7.1. Constelaciones . . . . .	323
7.2. Estrellas con nombre propio . . . . .	332
Estrellas con nombre propio ordenadas por constelación . . . . .	335
7.3. Estrellas más cercanas . . . . .	337
7.4. Estrellas con mayor movimiento propio . . . . .	338
7.5. Estrellas brillantes. . . . .	339
7.6. Estrellas dobles. . . . .	346
7.7. Estrellas variables . . . . .	350
Variables eruptivas. . . . .	350

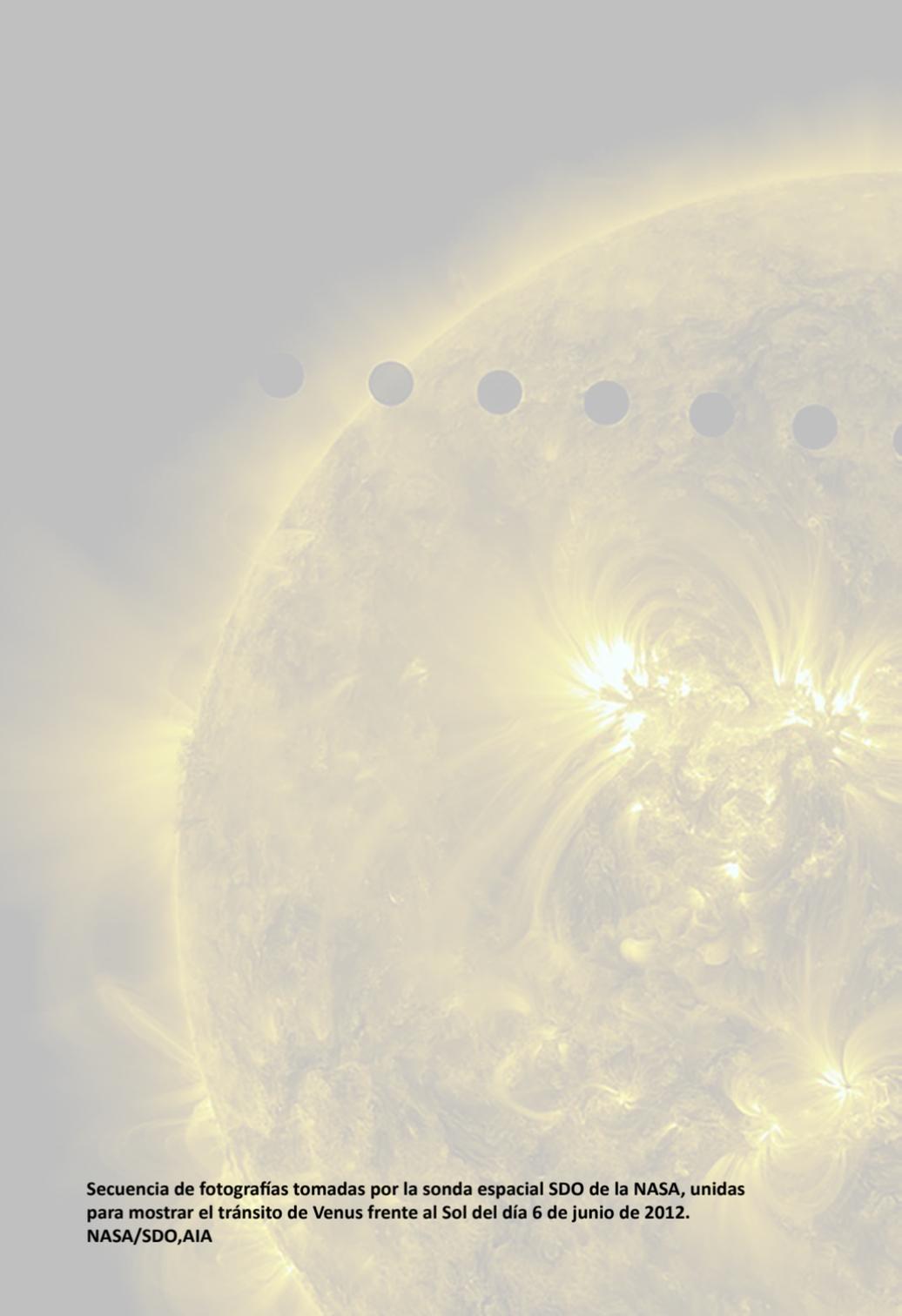
Variables pulsantes . . . . .	350
Variables rotantes . . . . .	350
Variables cataclísmicas . . . . .	351
Variables eclipsantes . . . . .	351
Variables emisoras de rayos X. . . . .	351
Efemérides $\beta$ Lyrae, $\beta$ Persei y estrellas Mira . . . . .	352
7.8. Estrella Polar . . . . .	357
Consideraciones previas . . . . .	357
Predicción de las coordenadas horizontales de la Polar . . . . .	358
Determinación de la latitud . . . . .	358
Determinación de la meridiana . . . . .	358
Coordenadas Hipparcos y otros parámetros. . . . .	359
Posiciones aparentes de la Polar . . . . .	359
7.9. La Vía Láctea . . . . .	362
Características de la Vía Láctea . . . . .	362
Cúmulos estelares . . . . .	364
Nebulosas . . . . .	366
Nubes moleculares. . . . .	369
Épocas de observación . . . . .	370
Catálogo Messier de objetos difusos. . . . .	370
7.10. Objetos extragalácticos . . . . .	374
Galaxias. . . . .	374
Cuásares y otros objetos lejanos . . . . .	381
Cúmulos y supercúmulos de galaxias . . . . .	382
Tabla comparativa de distancias extragalácticas . . . . .	384
Los objetos más lejanos. . . . .	386
7.11. Moléculas en el medio interestelar y circunestelar. . . . .	387
<b>8. Artículos de divulgación . . . . .</b>	<b>393</b>
Un viaje por el universo de la mano de los cúmulos de galaxias . . . . .	395
20 años del Observatorio Virtual Español. . . . .	421
El Matemático Rodríguez, director del Real Observatorio. . . . .	444
<b>Datos astronómicos . . . . .</b>	<b>467</b>
Constantes físicas y astronómicas . . . . .	468
Factores de conversión de interés práctico . . . . .	469
Relación entre diferencia de magnitud y razón de brillo . . . . .	470
Prefijos del Sistema Internacional de Unidades. . . . .	470
Equivalencias de distancias . . . . .	471
Interpolación . . . . .	473
<b>In Memoriam. . . . .</b>	<b>477</b>
<b>Índice alfabético de materias . . . . .</b>	<b>481</b>



CAPÍTULO 1

# Fenómenos celestes del año





**Secuencia de fotografías tomadas por la sonda espacial SDO de la NASA, unidas para mostrar el tránsito de Venus frente al Sol del día 6 de junio de 2012.**  
**NASA/SDO,AIA**

## 1.1. El cielo de 2025

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:

$$\text{día juliano} = 2\,460\,675,5 + \text{día del año} + \text{TU}/24^h$$

### 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, respectivamente) y a cuando las duraciones del día y de la noche coinciden, salvo efectos de refracción (equinoccios de primavera y de otoño). El día del mes en que se inicia una determinada estación puede encontrarse, a lo sumo, en cuatro fechas distintas. En la tabla siguiente se indican los inicios de las estaciones más prematuros y más tardíos en este siglo y el anterior.

### Fechas extremas de inicio de las estaciones

Siglo	Año	Primavera Marzo	Verano Junio	Otoño Setiembre	Invierno Diciembre
XX	2000	20 <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>
(1901-2000)	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	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>
(2001-2100)	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>

### Inicio de las estaciones 2025

Hemisferio boreal	Fecha y hora en Tiempo Universal (TU)	Hemisferio austral	duración en días
Primavera	20 de marzo a las 09 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	Otoño	92,74
Verano	21 de junio a las 02 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	Invierno	93,65
Otoño	22 de setiembre a las 18 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>	Primavera	89,86
Invierno	21 de diciembre a las 15 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	Verano	88,99

La duración de las estaciones apenas varía de un año a otro. En la tabla anterior 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 dio 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 dio el 4 de julio de 2019.

### Órbita de la Tierra 2025

Perihelio (distan. mínima)	4 de enero a las 14 <sup>h</sup> TU	0,983327 ua
Afelio (distan. máxima)	3 de julio a las 20 <sup>h</sup> TU	1,016644 ua

ua = unidad astronómica = 149 597 870 km

## 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.

**Fases de la Luna 2025**

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	29 12 36	Feb	05 08 02	Feb	12 13 53	Feb	20 17 33
Feb	28 00 45	Mar	06 16 32	Mar	14 06 55	Mar	22 11 29
Mar	29 10 58	Abr	05 02 15	Abr	13 00 22	Abr	21 01 36
Abr	27 19 31	May	04 13 52	May	12 16 56	May	20 11 59
May	27 03 02	Jun	03 03 41	Jun	11 07 44	Jun	18 19 19
Jun	25 10 32	Jul	02 19 30	Jul	10 20 37	Jul	18 00 38
Jul	24 19 11	Ago	01 12 41	Ago	09 07 55	Ago	16 05 12
Ago	23 06 06	Ago	31 06 25	Set	07 18 09	Set	14 10 33
Set	21 19 54	Set	29 23 54	Oct	07 03 48	Oct	13 18 13
Oct	21 12 25	Oct	29 16 21	Nov	05 13 19	Nov	12 05 28
Nov	20 06 47	Nov	28 06 59	Dic	04 23 14	Dic	11 20 52
Dic	20 01 43	Dic	27 19 10				

**Eclipses**

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 2025**

Fecha	Astro	Tipo	Visibilidad
Mar 14	Luna	total	América, oeste de Europa, oeste de África, este de Asia y este de Oceanía.
Mar 29	Sol	parcial	Europa, noroeste de África y norte de Rusia.
Set 07	Luna	total	Europa, África, Asia y Oceanía.
Set 21	Sol	parcial	Nueva Zelanda, Antártida y Pacífico sur.

El eclipse parcial de Sol del 29 de marzo será visible en toda España con magnitud baja-media.

Los eclipses de Luna serán visibles en España, aunque no completos. En el de marzo la Luna se pondrá antes de finalizar el eclipse, mientras que en el de setiembre la Luna saldrá con el eclipse ya iniciado.

Estos eclipses se describen en detalle en las secciones dedicadas a los eclipses de Sol y de Luna.

## Órbitas de los planetas

### Mercurio

Máximas elongaciones											
Este			Oeste			Este			Oeste		
Mar	8	18°2	Abr	21	27°4	Jul	4	25°9	Ago	19	18°6
Oct	29	23°9	Dic	7	20°7						

Órbita			Brillo máximo (magnitud V)		
Conjunción superior	Feb 9, May 30, Set 13		Feb	10	-1,6
Estacionario	Mar 14, Jul 17, Nov 9		May	30	-2,4
Conjunción inferior	Mar 24, Jul 31, Nov 20		Set	12	-1,8
Estacionario	Abr 6, Ago 10, Nov 29				

Afelio Ene 19, Abr 17, Jul 14, Oct 10

Perihelio Mar 4, May 31, Ago 27, Nov 23

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

### Venus

Órbita			Brillo máximo (magnitud V)		
Máxima elongación Este	Ene 10	47°2	Feb	19	-4,9
Estacionario	Feb 28		Abr	22	-4,8
Máximo acercamiento a la Tierra	Mar 22	0,28060 ua			
Conjunción inferior	Mar 23	0,266 ua			
Estacionario	Abr 10				
Máxima elongación Oeste	Jun 1	45°9			
Perihelio	Feb 19, Oct 2				
Afelio	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)	
Máximo acercamiento a la Tierra	Ene 12	0,64228 ua	Ene 15	-1,4
Oposición	Ene 16	0,644 ua		
Estacionario	Feb 24			
En nodo descendente	Set 23			
Afelio	Abr 16	1,666 ua		
Estaciones en el hemisferio Norte:				
Solsticio de verano	May 29			
Equinoccio de otoño	Nov 29			

**Planetas exteriores**

Planeta	Estacionario	Conjunción	Estacionario	Oposición	Estacionario
Júpiter	Feb 04 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup>	Jun 24 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup>	Nov 11 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup>		
Saturno		Mar 12 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>	Jul 14 <sup>d</sup> 08 <sup>h</sup>	Set 21 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>	Nov 29 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup>
Urano	Ene 30 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup>	May 17 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup>	Set 06 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>	Nov 21 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup>	
Neptuno		Mar 20 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup>	Jul 05 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup>	Set 23 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup>	Dic 11 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup>

Planeta	Distancia media al Sol (ua)	Brillo medio en magnitudes	Constelaciones recorridas
Júpiter	5,1	-2,2	Tauro/Géminis
Saturno	9,6	+0,9	Acuario/Piscis
Urano	19,5	+5,7	Tauro
Neptuno	29,9	+7,8	Piscis

Saturno, Neptuno y Venus serán ocultados por la Luna los días 4 y 5 de enero y 19 de setiembre, respectivamente.

Júpiter y Urano serán ocultados por el Sol en sus conjunciones, que tendrán lugar el 24 de junio para el primero y el 17 de mayo para el segundo.

El día 21 de setiembre se producirá el máximo acercamiento anual de Saturno a la Tierra, alcanzando un diámetro de 19",5.

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 2025 de  $-1^\circ$ .

## Entrada del Sol en los signos del zodiaco

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.

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

Acuario	Ene	19 <sup>d</sup>	20 <sup>h</sup>	00 <sup>m</sup>	Leo	Jul	22 <sup>d</sup>	13 <sup>h</sup>	29 <sup>m</sup>
Piscis	Feb	18 <sup>d</sup>	10 <sup>h</sup>	07 <sup>m</sup>	Virgo	Ago	22 <sup>d</sup>	20 <sup>h</sup>	34 <sup>m</sup>
Aries	Mar	20 <sup>d</sup>	09 <sup>h</sup>	02 <sup>m</sup>	Libra	Set	22 <sup>d</sup>	18 <sup>h</sup>	19 <sup>m</sup>
Tauro	Abr	19 <sup>d</sup>	19 <sup>h</sup>	56 <sup>m</sup>	Escorpio	Oct	23 <sup>d</sup>	03 <sup>h</sup>	51 <sup>m</sup>
Géminis	May	20 <sup>d</sup>	18 <sup>h</sup>	55 <sup>m</sup>	Sagitario	Nov	22 <sup>d</sup>	01 <sup>h</sup>	36 <sup>m</sup>
Cáncer	Jun	21 <sup>d</sup>	02 <sup>h</sup>	42 <sup>m</sup>	Capricornio	Dic	21 <sup>d</sup>	15 <sup>h</sup>	03 <sup>m</sup>

## 1.2. Visibilidad de los planetas en 2025

Planeta	En el crepúsculo matutino	En el crepúsculo vespertino
Mercurio	Ene 1 – Ene 25	Feb 20 – Mar 18
	Abr 7 – May 22	Jun 6 – Jul 22
	Ago 10 – Set 5	Set 25 – Nov 13
	Nov 26 – Dic 31	
Venus		Ene 1 – Mar 19
	Mar 27 – Nov 27	
Marte	Ene 1 – Ene 23	Ene 12 – Nov 14
Júpiter		Ene 1 – Jun 11
	Jul 8 – Dic 13	
Saturno		Ene 1 – Feb 23
	Abr 7 – Set 28	Set 10 – Dic 31
Urano		Ene 1 – Abr 20
	Jun 20 – Nov 27	Oct 13 – 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 aquellas 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.

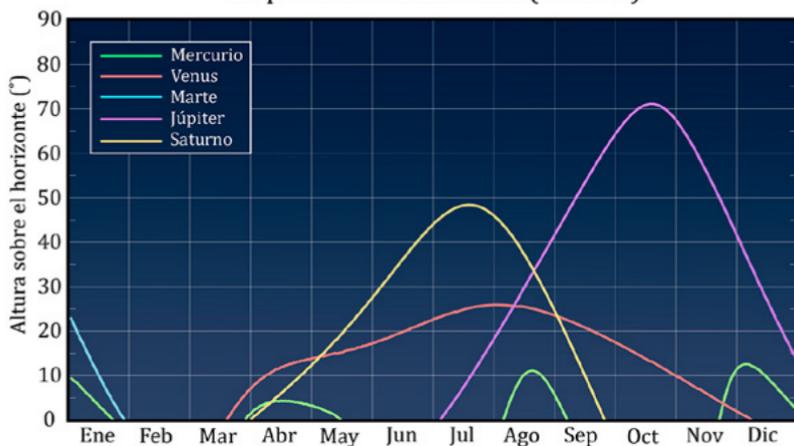
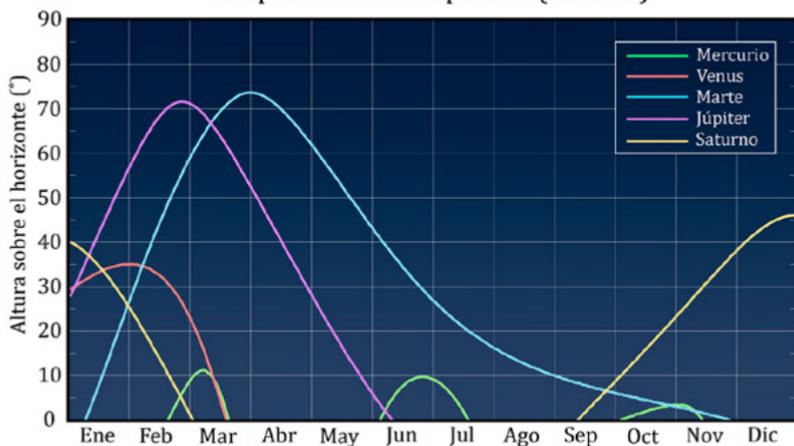
En el año 2025 Mercurio será visible en diversas ocasiones antes de amanecer, como se indica en la tabla y en las ilustraciones siguientes. El brillo es mayor hacia el final de cada uno de los periodos, lo que hace más favorable la observación. Será también visible en varias épocas en el crepúsculo vespertino, siendo su brillo mayor al principio de cada periodo.

Venus se verá como lucero vespertino desde primeros de año hasta mediados de marzo, alcanzando brillo máximo el 19 de febrero (magnitud  $-4,9$ ). Y como lucero matutino desde finales de marzo hasta finales de noviembre, con brillo máximo el 22 de abril (magnitud  $-4,8$ ).

Marte será visible casi toda la noche hasta el amanecer desde el 1 de enero, con máximo brillo el día 15 de enero (magnitud  $-1,4$ ). A mediados de enero se verá a lo largo de toda la noche, pasando a verse solo al atardecer hasta mediados de setiembre.

Júpiter será visible al atardecer desde enero hasta primeros de junio. Se verá al amanecer desde julio hasta fin de año, pudiendo observarse casi toda la noche desde finales de setiembre.

Saturno será visible al atardecer de enero a finales de febrero. Se verá al amanecer desde primeros de abril a comienzos de setiembre, momento en que será visible toda la noche. Pasará a ser visible solo al atardecer de mediados de setiembre a finales de año. La inclinación media de sus anillos será de  $-1^\circ$ , ocurriendo el paso de la Tierra por el plano de los anillos el 23 de marzo.

Crepúsculo civil matutino (Sol a  $-6^\circ$ )Crepúsculo civil vespertino (Sol a  $-6^\circ$ )

## Visibilidad de los planetas mes a mes

Enero	Al amanecer serán visibles Mercurio y Marte. Éste último será visible toda la noche desde mediados de mes. Al atardecer se verán Venus, Júpiter, Saturno y Urano.
Febrero	No habrá visible ningún planeta al amanecer. Marte será visible hasta casi el amanecer. Venus, Júpiter, Saturno y Urano serán visibles al atardecer, al igual que Mercurio desde finales de mes.

### Visibilidad de los planetas mes a mes

Marzo	Marte, Júpiter y Urano serán visibles en el cielo vespertino, al igual que Mercurio y Venus hasta mediados de mes. Venus pasará al cielo matutino a finales de mes.
Abril	Mercurio, Venus y Saturno serán los luceros matutinos y Marte, Júpiter y, hasta mediados de mes, Urano serán los vespertinos.
Mayo	Al amanecer serán visibles Mercurio, Venus y Saturno, al atardecer lo serán Marte y Júpiter.
Junio	Venus, Saturno y, desde mediados de mes, Urano, se podrán observar al amanecer. En el atardecer se podrán ver Mercurio, Marte, y Júpiter al comienzo del mes.
Julio	En el cielo matutino podremos contemplar a Venus, Júpiter, Saturno y Urano. En el vespertino Mercurio y Marte. Saturno será visible casi toda la noche, desde después del atardecer.
Agosto	Al amanecer serán visibles Mercurio, Venus, Júpiter, Saturno y Urano. Estos dos últimos serán visibles desde poco después del ocaso. En el atardecer será visible Marte.
Septiembre	Venus, Júpiter, y Urano se podrán ver al amanecer. Saturno se podrá observar durante toda la noche, y Marte al atardecer.
Octubre	Venus será visible al amanecer, Júpiter casi toda la noche hasta el amanecer y Urano toda la noche desde mediados de mes. Mercurio, Marte y Saturno serán visibles al atardecer.
Noviembre	Venus y Júpiter se podrán contemplar al amanecer. Saturno se verá al atardecer, al igual que Mercurio y Marte hasta mediados de mes. Urano será visible toda la noche.
Diciembre	Mercurio y Júpiter serán visibles al amanecer. Saturno lo será al atardecer, y Urano se podrá ver toda la noche hasta mediados de mes, poniéndose antes de la salida del Sol desde entonces.

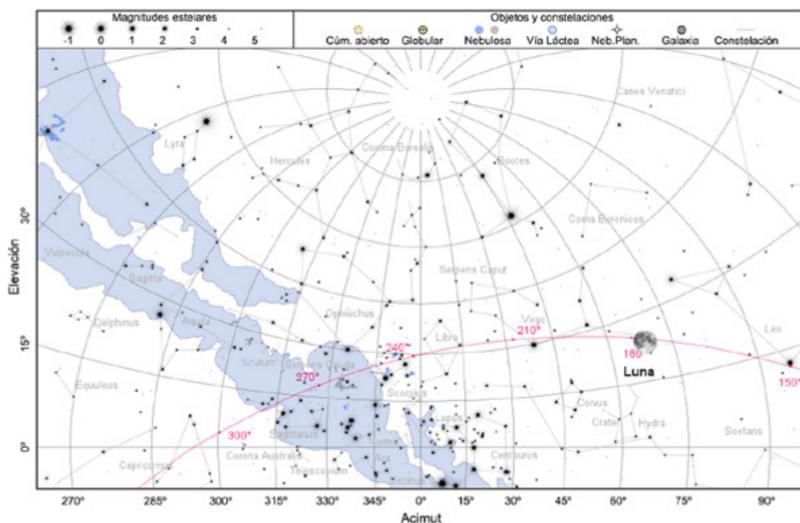
Urano en general solo es visible con ayuda de instrumentos, como unos prismáticos o un pequeño telescopio.

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.

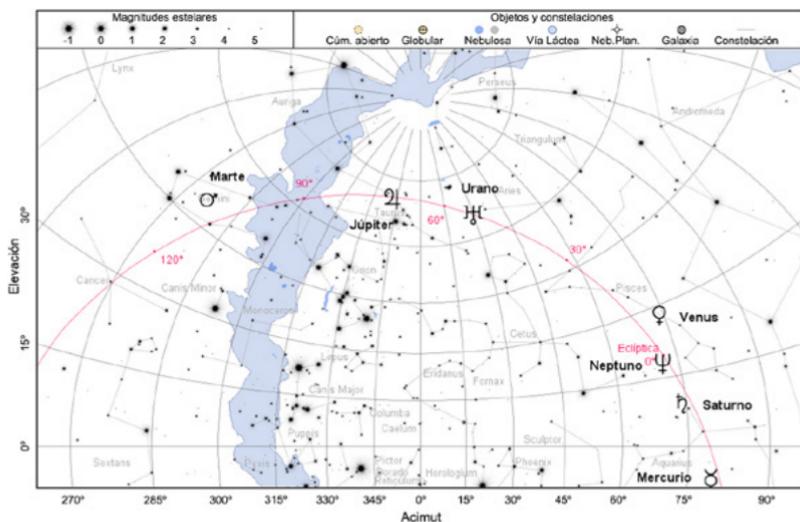
La proyección utilizada es la estereográfica y el área del cielo mostrada corresponde a la mitad meridional, cubriendo 180° en acimut. El acimut 0° (centro de la figura) corresponde al Sur, el acimut 270° (izquierda) al Este y el acimut 90° (derecha) al Oeste.



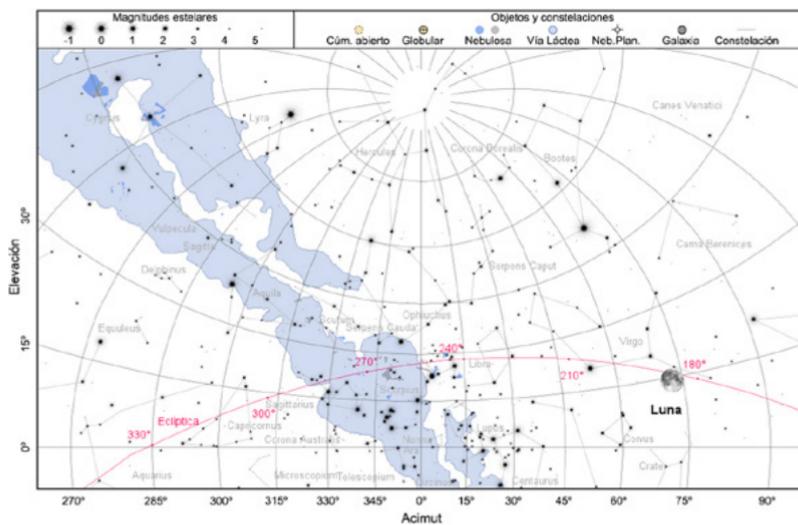
15 de febrero de 2025, a las 6:15 TU



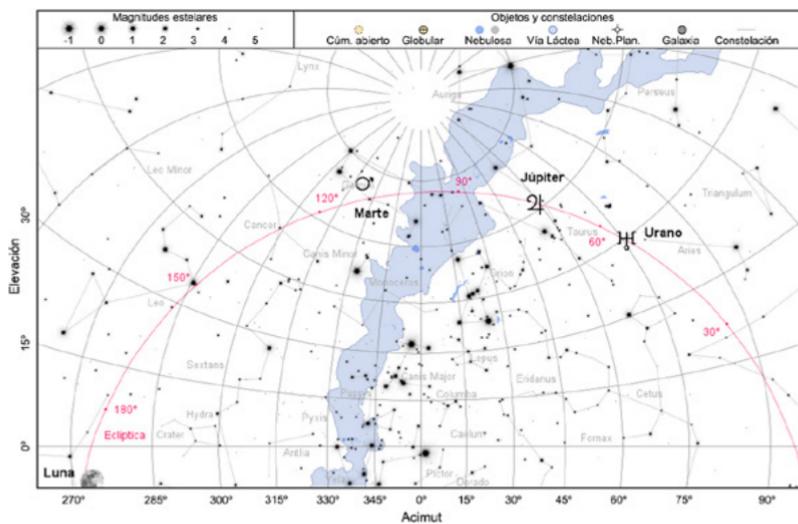
15 de febrero de 2025, a las 18:45 TU



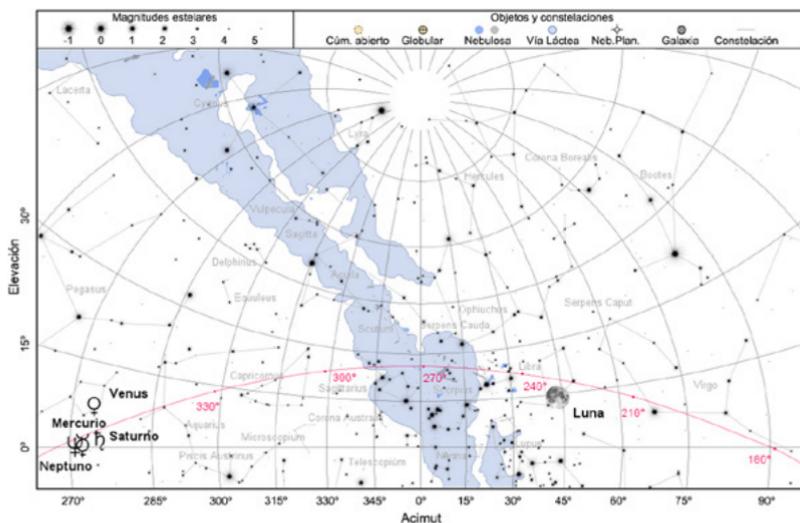
15 de marzo de 2025, a las 5:30 TU



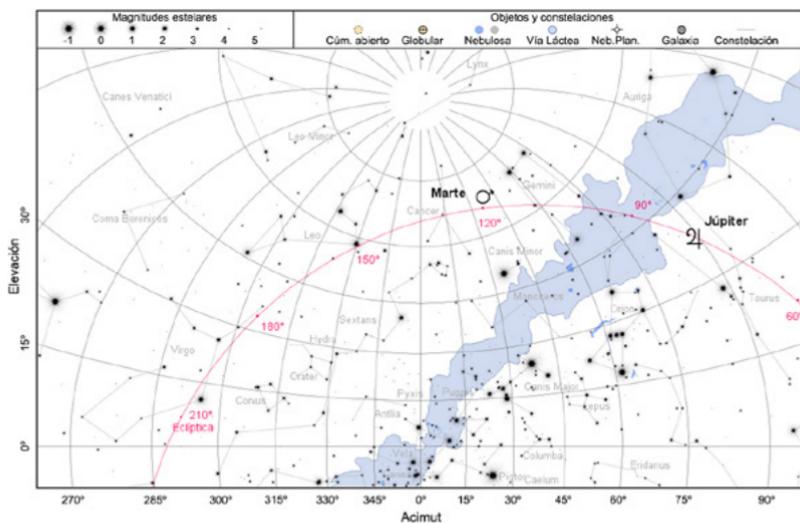
15 de marzo de 2025, a las 19:15 TU



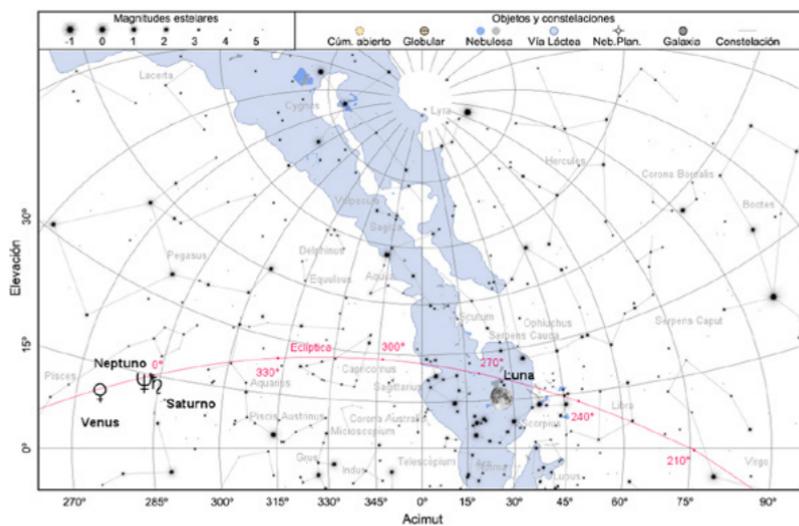
15 de abril de 2025, a las 4:45 TU



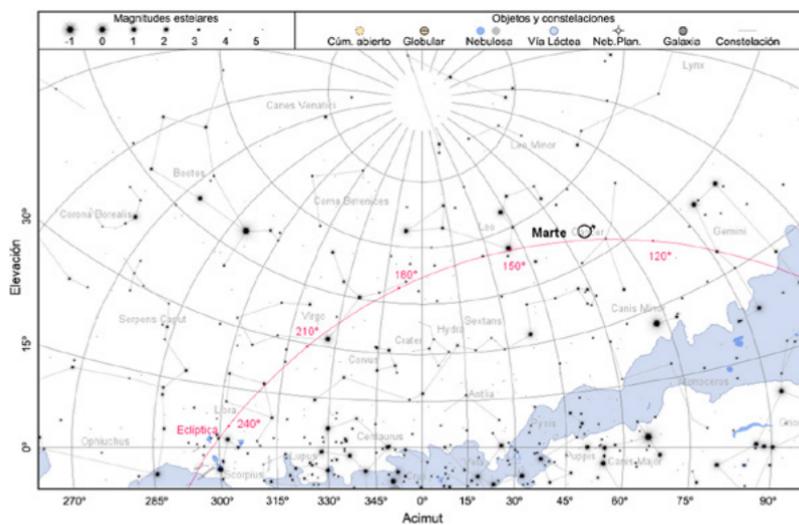
15 de abril de 2025, a las 19:45 TU



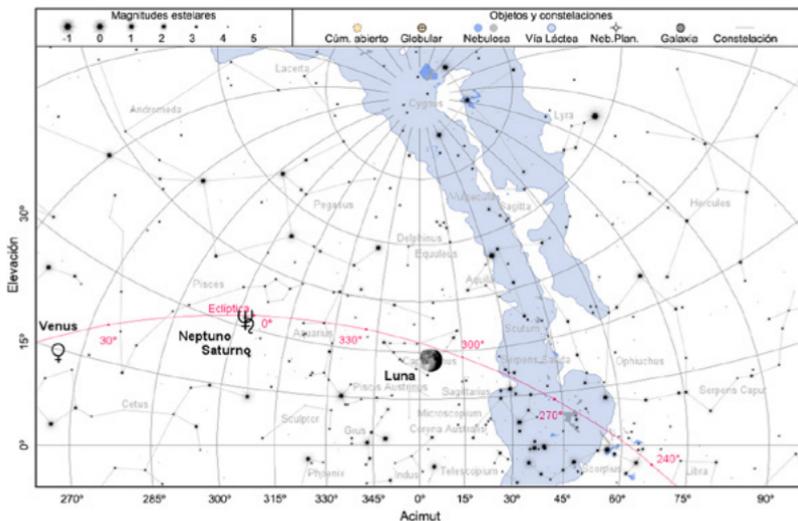
15 de mayo de 2025, a las 4:00 TU



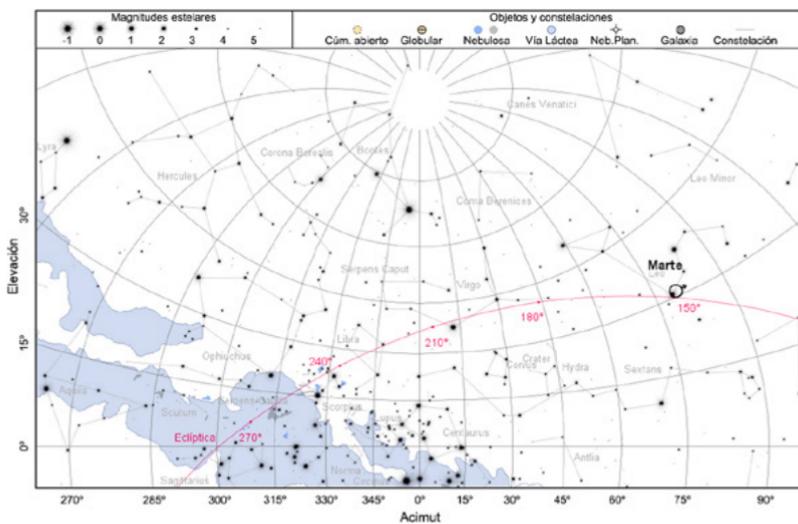
15 de mayo de 2025, a las 20:15 TU



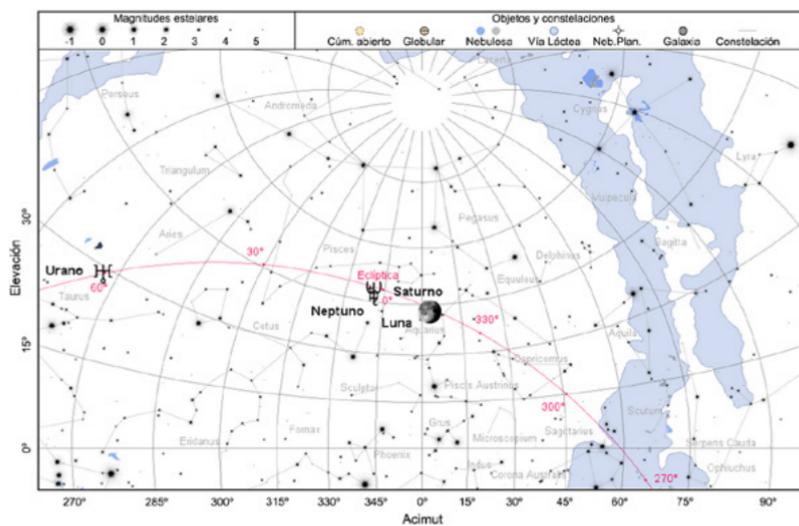
15 de junio de 2025, a las 3:45 TU



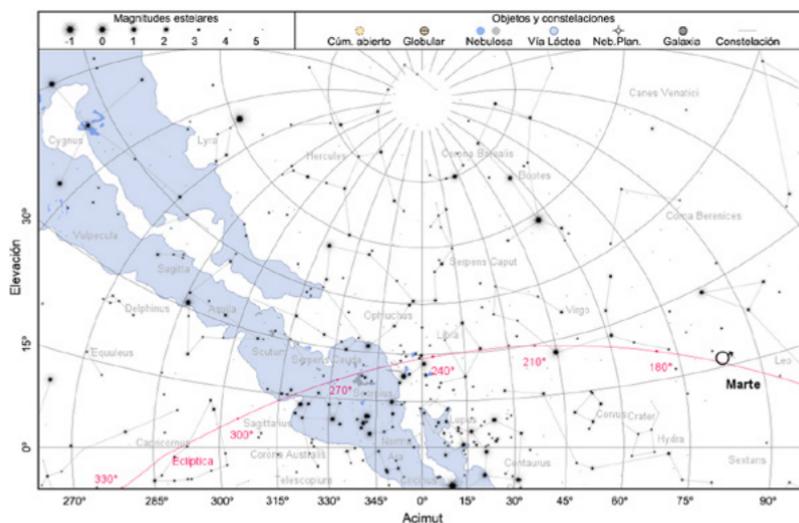
15 de junio de 2025, a las 20:45 TU



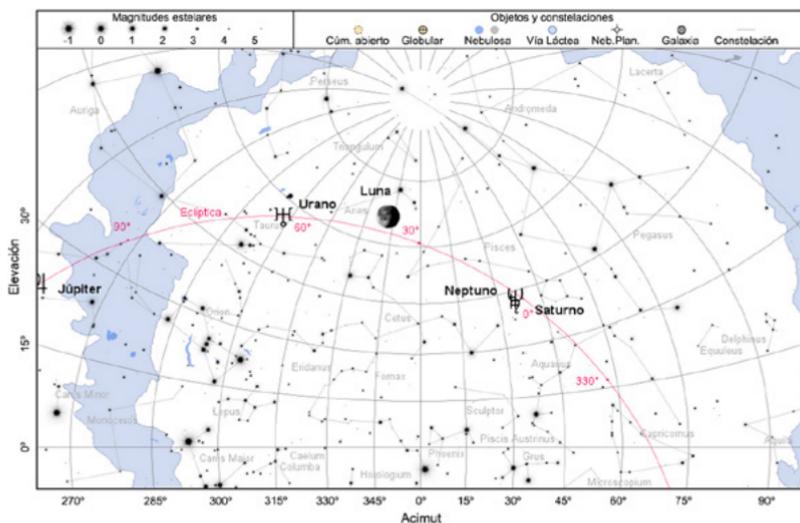
15 de julio de 2025, a las 4:00 TU



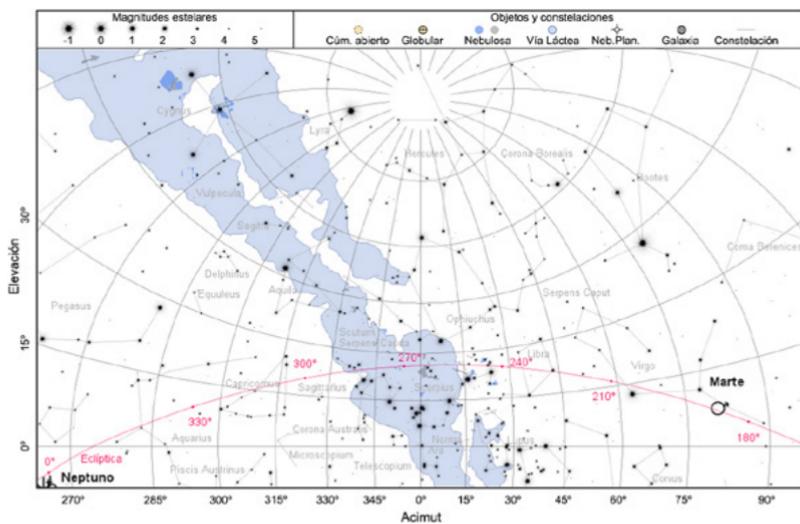
15 de julio de 2025, a las 20:45 TU



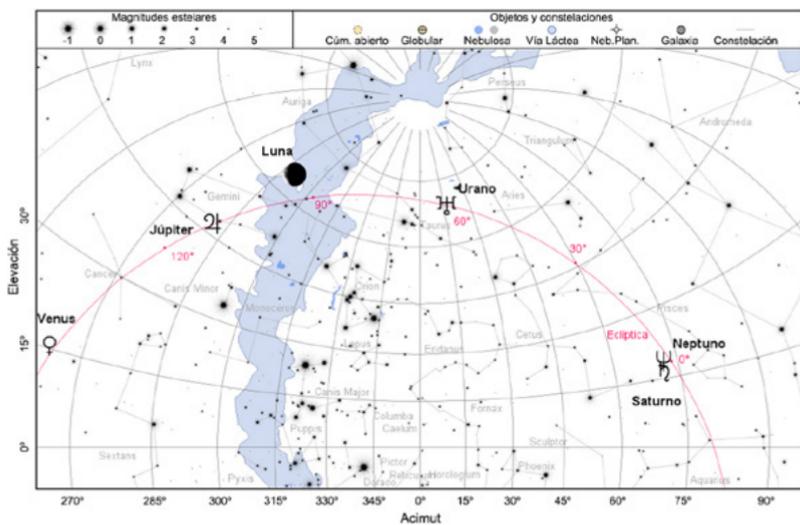
15 de agosto de 2025, a las 4:30 TU



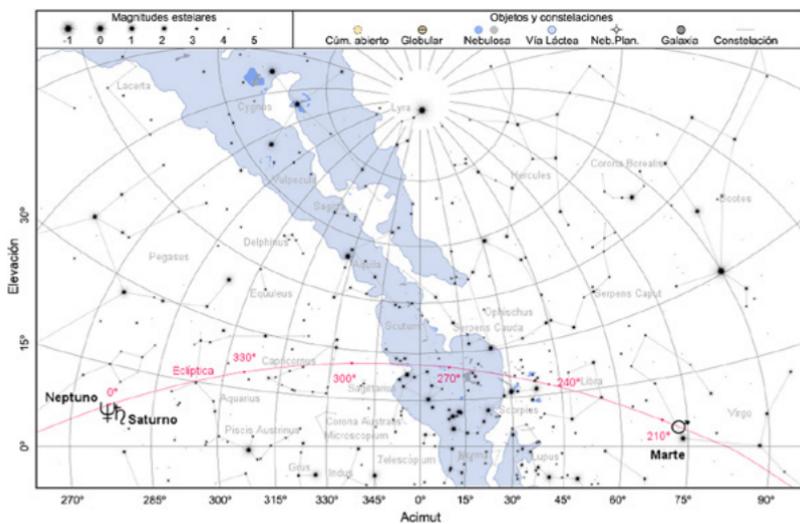
15 de agosto de 2025, a las 20:15 TU



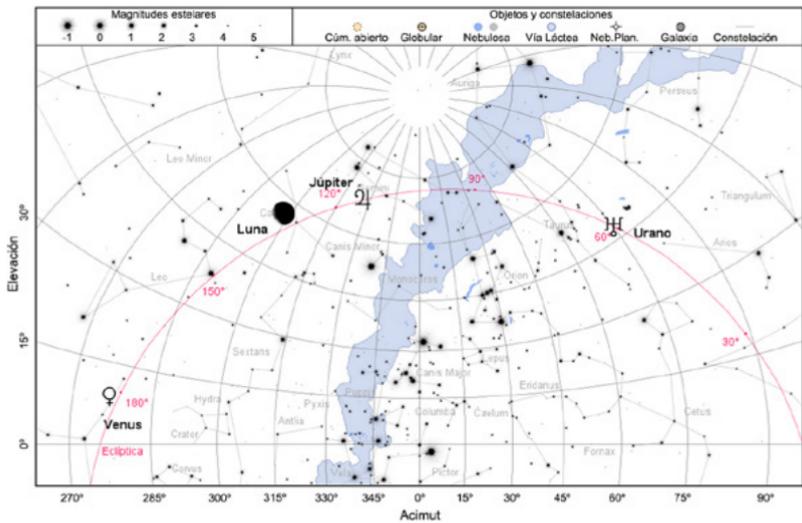
15 de setiembre de 2025, a las 5:00 TU



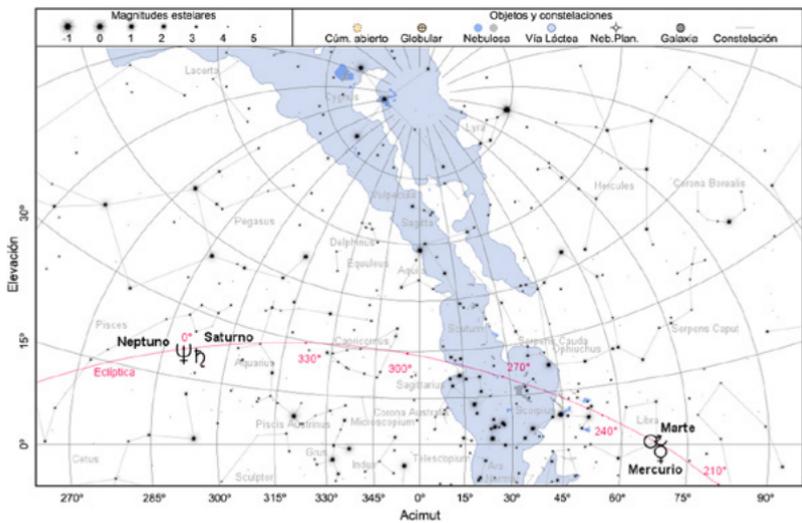
15 de setiembre de 2025, a las 19:15 TU



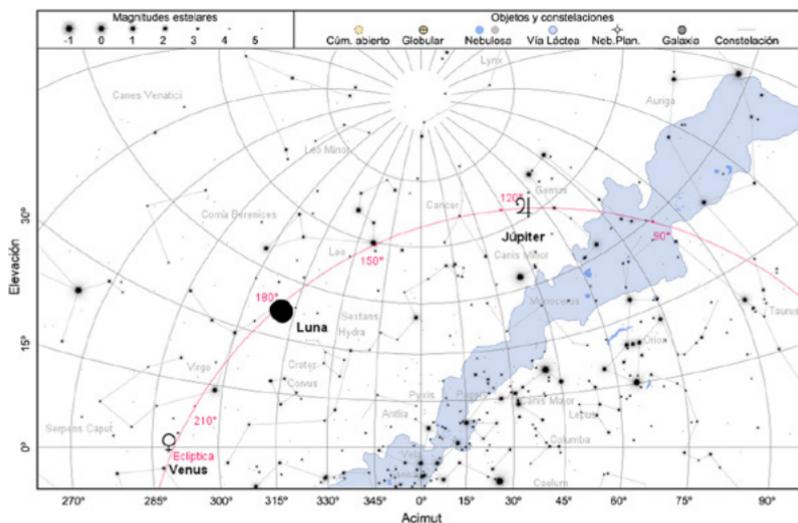
15 de octubre de 2025, a las 5:30 TU



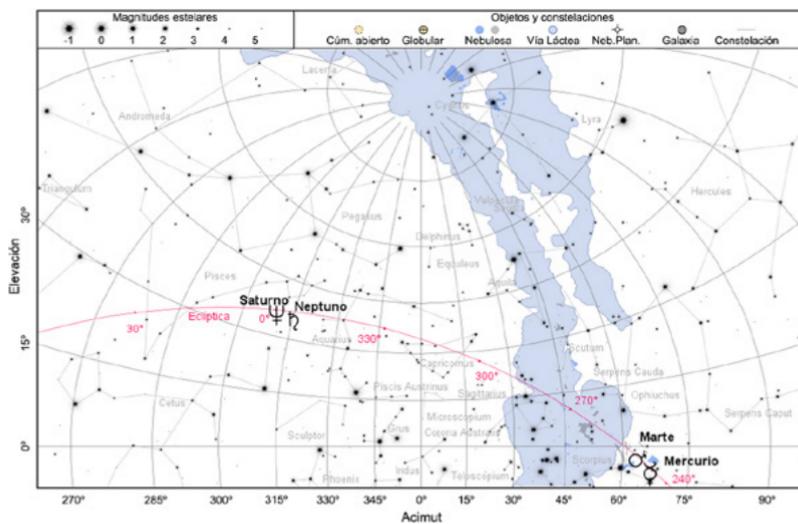
15 de octubre de 2025, a las 18:30 TU



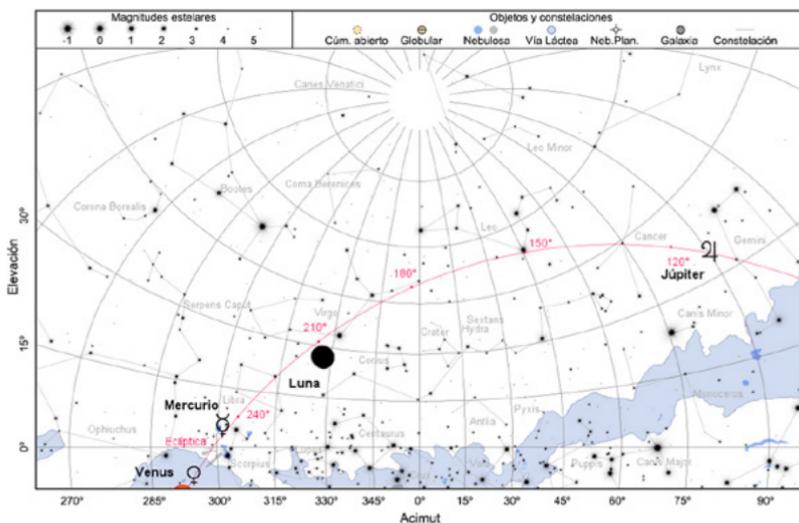
15 de noviembre de 2025, a las 6:00 TU



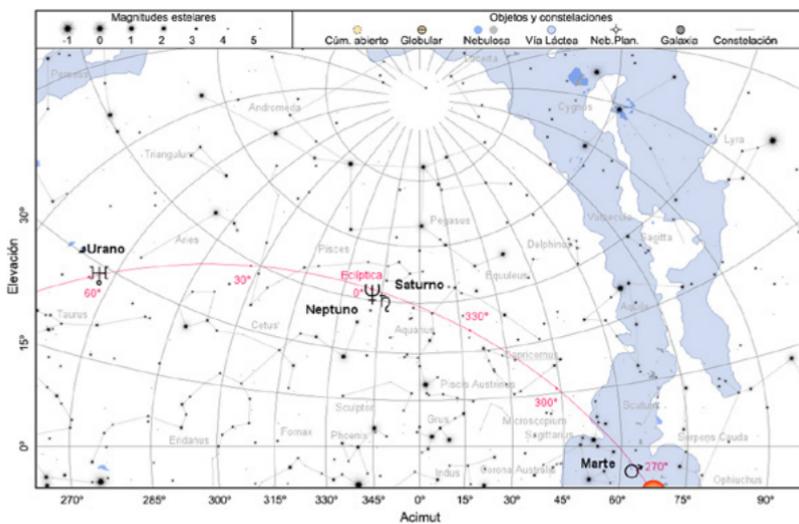
15 de noviembre de 2025, a las 18:00 TU



15 de diciembre de 2025, a las 6:30 TU



15 de diciembre de 2025, a las 17:45 TU



### 1.3. Ocultaciones por la Luna o el Sol en 2025

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

#### Ocultaciones de planetas por la Luna

Durante el año 2025 habrá 10 ocultaciones de planetas por la Luna, sus fechas se indican en la siguiente tabla. De ellas, se podrán observar desde Madrid la de Saturno, el día 4 de enero, la de Neptuno al día siguiente, y la de Venus el 19 de setiembre. La ocultación de Marte del día 14 de enero podrá verse desde las Islas Canarias. El 1 de febrero finalizará una serie de ocultaciones de Neptuno que comenzó en 2013.

Mercurio es ocultado por la Luna: Mar 1

Venus es ocultado por la Luna: Set 19\*

Marte es ocultado por la Luna: Ene 14, Feb 9, Jun 30

Saturno es ocultado por la Luna: Ene 4\*, Feb 1

Neptuno es ocultado por la Luna: Ene 5\*, Feb 1, Jul 28

La ocultación de Saturno del 4 de enero se producirá justo en el oca del Sol, y será visible en toda España, salvo en las Islas Canarias, donde se producirá antes de la puesta del Sol. La Luna estará a tres días del cuarto creciente, con una iluminación del 23 %. La inmersión de Saturno se producirá por el lado no iluminado y la emersión por el iluminado.

Ocultación de **Saturno** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde ☽	altura	A	B
4 de enero:						
Inmersión	17 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> ,1	70°	oscuro	40°	1,8 <sup>m</sup> /°	0,3 <sup>m</sup> /°
Emersión	18 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> ,7	210°	iluminado	35°	0,7 <sup>m</sup> /°	1,0 <sup>m</sup> /°

Las ocultaciones de Neptuno del 5 de enero y de Venus del 19 de setiembre se producirán durante el día. En las siguientes tablas se muestran los datos de las ocultaciones para Madrid.

Ocultación de **Neptuno** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde ☽	altura	A	B
5 de enero:						
Inmersión	13 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> ,0	96°	oscuro	26°	1,4 <sup>m</sup> /°	1,2 <sup>m</sup> /°
Emersión	14 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> ,2	192°	iluminado	34°	0,4 <sup>m</sup> /°	2,4 <sup>m</sup> /°

En el momento de la ocultación de Neptuno, la fase de la Luna será casi cuarto menguante y estará iluminada en un 33%.

#### Ocultación de **Venus** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde ☾	altura	A	B
19 de setiembre:						
Inmersión	12 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> ,8	160°	iluminado	53°	0,5 <sup>m</sup> /°	-2,8 <sup>m</sup> /°
Emersión	13 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> ,4	280°	oscuro	41°	1,4 <sup>m</sup> /°	-1,7 <sup>m</sup> /°

La ocultación de Venus tendrá lugar dos días antes de la Luna nueva y la Luna estará iluminada en un 7 %.

## Ocultaciones de planetas por el Sol

Este año se producirán ocultaciones de Júpiter y Urano por el Sol.

Júpiter será ocultado por el Sol el día 24 de junio. El primer contacto se producirá a las 7<sup>h</sup>47<sup>m</sup>,0 TU, la distancia mínima de 8',4 se dará a las 15<sup>h</sup>17<sup>m</sup>,9 y el último contacto será a las 22<sup>h</sup>48<sup>m</sup>,7.

Urano será ocultado por el Sol el día 17 de mayo. El primer contacto se producirá a las 19<sup>h</sup>22<sup>m</sup>,9 TU, la distancia mínima de 12',8 se dará a las 23<sup>h</sup>31<sup>m</sup>,8 y el último contacto el día 18 a las 3<sup>h</sup>40<sup>m</sup>,7.

## Ocultaciones de grandes asteroides por la Luna

Hebe es ocultado por la Luna:	Jun 14
Iris es ocultado por la Luna:	Mar 30
Hygiea es ocultado por la Luna:	Feb 4, Mar 3

Ninguna de estas ocultaciones de asteroides por la Luna será visible desde Madrid.

## Ocultaciones de estrellas brillantes por la Luna

Continúa la serie de ocultaciones de Antares comenzada el 25 de agosto de 2023 y que terminará el 27 de agosto de 2028.

- Serie de ocultaciones de Antares ( $\alpha$  Sco,  $V=+1,06$ ), NZC 2366:

Ene 25	Feb 21	Mar 20	Abr 26
May 14	Jun 10	Jul 7	Ago 4
Set 27	Oct 25	Nov 21	Dic 18

El 17 de noviembre de 2025 finaliza la serie de ocultaciones de Espiga comenzada el 27 de diciembre de 2013.

- Serie de ocultaciones de Espiga ( $\alpha$  Vir,  $V=+0,98$ ), NZC 1925:

Ene 21	Feb 17	Mar 16	Abr 13
May 10	Jun 6	Jul 3	Jul 31
Ago 27	Set 23		

Ninguna de estas ocultaciones será visible desde España.

El 26 de julio comenzará una serie de ocultaciones de Régulo que finalizará el 27 de diciembre de 2026.

- Serie de ocultaciones de Régulo ( $\alpha$  Leo,  $V=+1,36$ ), NZC 1487:

Jul 26	Ago 23	Set 19	Oct 16
Nov 13	Dic 10*		

La ocultación del 10 de diciembre será visible desde España, pero en Madrid la inmersión se producirá justo al amanecer y la emersión durante el día.

Ocultación de **Régulo** en Madrid

Fase	TU	A.P.	borde (l)	altura	A	B
10 de diciembre:						
Inmersión	7 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> ,5	121°	iluminado	46°	1,1 <sup>m</sup> /°	-1,8 <sup>m</sup> /°
Emersión	8 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup> ,2	311°	oscuro	34°	0,5 <sup>m</sup> /°	-2,0 <sup>m</sup> /°

Durante el año 2025 no se producirán ocultaciones de Aldebarán ( $\alpha$  Tau); su próxima serie de ocultaciones comenzarán el 18 de agosto de 2033.

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

17 Tau, NZC 537, ( $V=+3,7$ )	Ene 10*, Abr 1*
$\eta$ Tau, NZC 552, ( $V=+2,9$ )	Ene 10*, Abr 1*, Jun 23*, Set 12*
27 Tau, NZC 560, ( $V=+3,6$ )	Ene 10*, Jun 23*
$\pi$ Sco, NZC 2287, ( $V=+2,9$ )	Mar 20*, Jun 9*
$\gamma$ Cap, NZC 3171, ( $V=+3,8$ )	Set 6*, Oct 30*

Las ocultaciones precedentes son visibles en Madrid. No se han considerado las ocultaciones que tienen lugar de día o muy cerca del horizonte y solo se indica el fenómeno (inmersión o emersión) que tiene lugar por el borde oscuro de la Luna.

Durante el año 2025 se producirán una serie de ocultaciones de las Pléyades. En las siguientes tablas se muestran las de las estrellas de magnitud cercana a 4 que serán visibles desde Madrid.

Características de las ocultaciones de las **Pléyades**

Fase	TU	A.P.	borde(	altura	A	B
Enero 10						
17 Tau, (V = +3,7)						
Inmersión	1 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> ,9	44°	oscuro	26°	0,9 <sup>m</sup> /°	0,4 <sup>m</sup> /°
η Tau, (V = +2,9)						
Inmersión	2 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> ,2	66°	oscuro	16°	0,3 <sup>m</sup> /°	-0,6 <sup>m</sup> /°
27 Tau, (V = +3,6)						
Inmersión	3 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> ,9	87°	oscuro	9°	-0,2 <sup>m</sup> /°	-1,0 <sup>m</sup> /°
Abril 1						
17 Tau, (V = +3,7)						
Inmersión	21 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> ,8	104°	oscuro	18°	-0,1 <sup>m</sup> /°	-0,5 <sup>m</sup> /°
η Tau, (V = +2,9)						
Inmersión	22 <sup>h</sup> 7 <sup>m</sup> ,0	124°	oscuro	7°	-0,7 <sup>m</sup> /°	-1,9 <sup>m</sup> /°
Junio 23						
η Tau, (V = +2,9)						
Emersión	2 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> ,4	314°	oscuro	4°	0,2 <sup>m</sup> /°	0,0 <sup>m</sup> /°
27 Tau, (V = +3,6)						
Emersión	3 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> ,4	264°	oscuro	11°	-0,2 <sup>m</sup> /°	1,2 <sup>m</sup> /°
Setiembre 12						
η Tau, (V = +2,9)						
Emersión	21 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> ,9	222°	oscuro	5°	-0,6 <sup>m</sup> /°	1,6 <sup>m</sup> /°

Características de la ocultación de otras estrellas brillantes

Fase	TU	A.P.	borde(	altura	A	B
Marzo 20: π Sco, (V = +2,9)						
Emersión	2 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> ,5	293°	oscuro	18°	1,4 <sup>m</sup> /°	0,3 <sup>m</sup> /°
Junio 9: π Sco, (V = +2,9)						
Emersión	19 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> ,6	151°	oscuro	10°	0,2 <sup>m</sup> /°	-0,5 <sup>m</sup> /°
Setiembre 6: γ Cap, (V = +3,7)						
Inmersión	3 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> ,5	38°	oscuro	6°	0,1 <sup>m</sup> /°	0,4 <sup>m</sup> /°
Octubre 30: γ Cap, (V = +3,7)						
Inmersión	22 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> ,3	53°	oscuro	18°	0,7 <sup>m</sup> /°	-0,0 <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 Saturno en su ocultación del 4 de enero para un observador situado en Toledo se procede como sigue:

$$\Delta\lambda = \lambda_{Toledo} - \lambda_{Madrid} = (-4^{\circ}0) - (-3^{\circ}7) = -0^{\circ}3$$

$$\Delta\phi = \phi_{Toledo} - \phi_{Madrid} = 39^{\circ}9 - 40^{\circ}4 = -0^{\circ}5$$

Emersión:

$$\begin{aligned} TU &= 18^{\text{h}} 22^{\text{m}};7 + (0,7)^{\text{m}/^{\circ}} \times (-0,3^{\circ}) + (1,0)^{\text{m}/^{\circ}} \times (-0^{\circ}5) \\ &= 18^{\text{h}} 22^{\text{m}};0 \end{aligned}$$

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.

La ocultación de Marte por la Luna del 14 de enero será visible desde las Islas Canarias. La Luna estará llena en ese momento, por lo que tanto la inmersión como la emersión tendrán lugar en el lado iluminado.

### Ocultación de **Marte** en Tenerife

Fase	TU	A.P.	borde ☾	altura	A	B
14 de enero:						
Inmersión	4 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> ;9	92°	iluminado	53°	1,6 <sup>m</sup> /°	-0,8 <sup>m</sup> /°
Emersión	5 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> ;5	321°	iluminado	40°	0,1 <sup>m</sup> /°	-2,2 <sup>m</sup> /°

## 1.4. 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), 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 Mercurio, 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 este, 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  $1,3$  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.

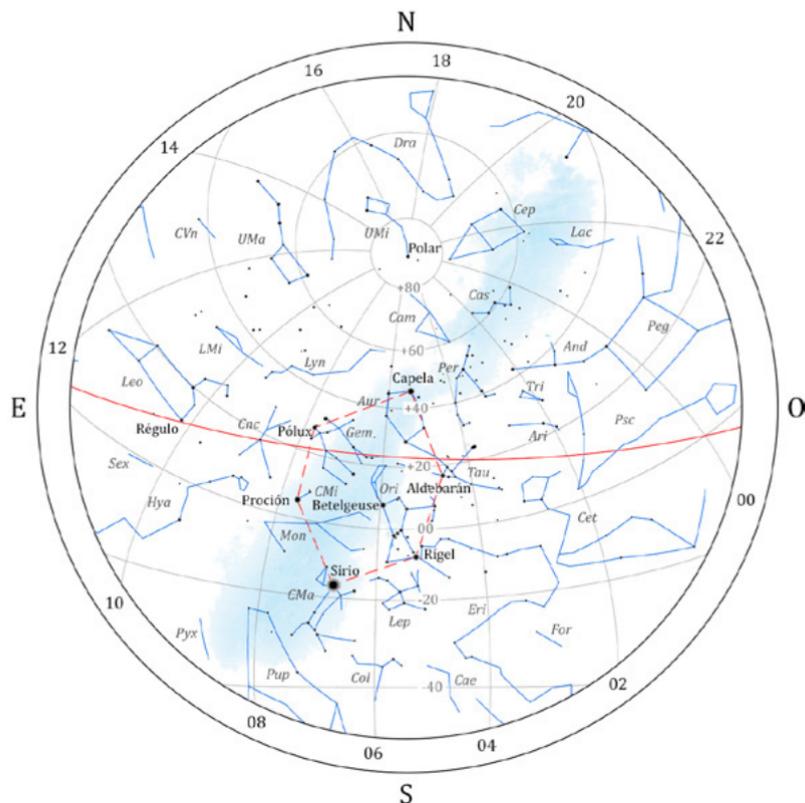
Se incluye para cada mes un mapa celeste que representa el aspecto del cielo, proyectado sobre un plano, tal como lo vería tras anoecer a mediados de mes un observador situado en la península. En tales mapas se han representado las estrellas más significativas de las constelaciones, así como trazos que ayudan a identificar a estas. 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 2025

- 3 Irene en oposición
- 3 La Luna 1°3' al S de Venus
- 3 Máximo de las Cuadrántidas
- 4 La Luna 0°7' al N de Saturno (Ocultación)
- 4 Tierra en el perihelio
- 5 La Luna 1°2' al N de Neptuno (Ocultación)
- 6 Cuarto creciente (día 7 hora oficial)
- 6 Mercurio en afelio
- 7 La Luna 2° al S de Hygiea
- 7 Victoria en conjunción con el Sol
- 8 Luna en perigeo
- 9 La Luna 4° al N de Urano
- 10 La Luna 0°3' al N de Alcóne (Ocultación)
- 10 La Luna 5° al N de Júpiter
- 10 Máxima elongación Este de Venus ( 47;2 )
- 11 La Luna 0°6' al S de Elnath (Ocultación)
- 12 Máximo acercamiento de Marte a la Tierra
- 13 Luna llena
- 14 La Luna 0°1' al N de Marte (Ocultación)
- 15 Brillo máximo de Marte
- 16 Marte en oposición
- 17 Mercurio 3° al N de Nunki
- 19 Mercurio en afelio
- 20 Venus 3° al N de Saturno
- 21 Cuarto menguante
- 21 La Luna 0°1' al S de Espiga (Ocultación)
- 21 Luna en apogeo
- 21 Marte 2° al S de Pólux
- 25 La Luna 0°3' al S de Antares (Ocultación)
- 29 Luna nueva
- 30 Urano estacionario en ascensión recta

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	18	41,9	-23	47	-0,4
Venus	22	54,5	-7	11	-4,4
Marte	7	58,3	25	1	-1,4
Júpiter	4	42,2	21	41	-2,5
Saturno	23	10,4	-7	26	1,1



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

31 de Diciembre a las 23h de TU

15 de Enero a las 22h de TU

30 de Enero a las 21 h de TU

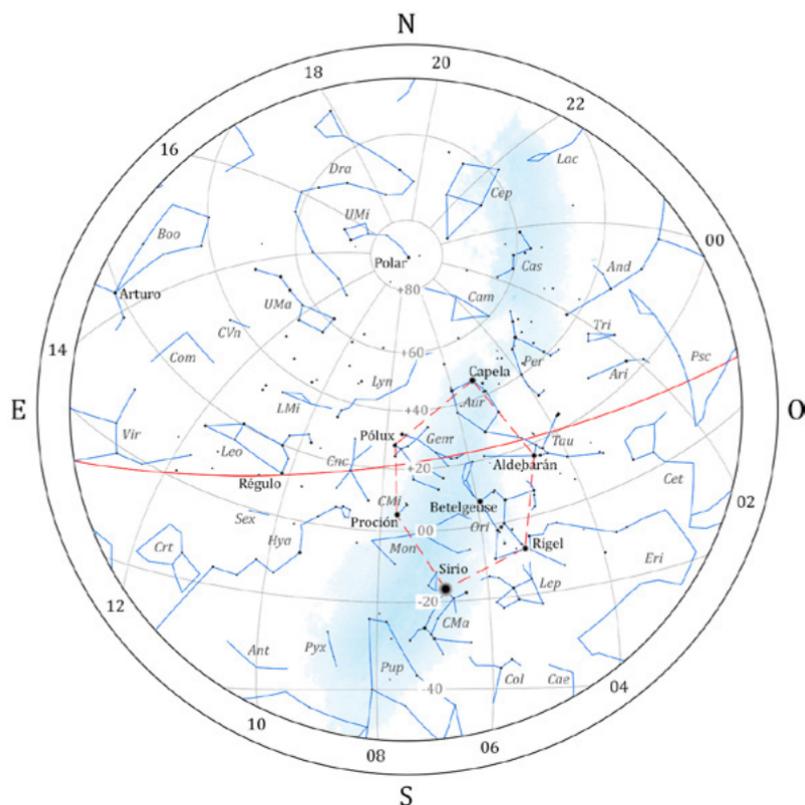
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del hexágono de invierno. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Febrero 2025

- 1 La Luna 1°1 al N de Saturno (Ocultación)
- 1 La Luna 1°4 al N de Neptuno
- 1 La Luna 2° al S de Venus
- 2 Luna en perigeo
- 3 Venus 4° al N de Neptuno
- 4 Júpiter estacionario en ascensión recta
- 4 La Luna 0°6 al S de Hygiea (Ocultación)
- 5 Cuarto creciente
- 5 La Luna 5° al N de Urano
- 6 La Luna 0°4 al N de Alcíone (Ocultación)
- 7 La Luna 0°3 al S de Elnath (Ocultación)
- 7 La Luna 5° al N de Júpiter
- 9 La Luna 0°7 al N de Marte (Ocultación)
- 9 Mercurio en conjunción superior con el Sol
- 10 Brillo máximo de Mercurio
- 12 Amphitrite en oposición
- 12 Luna llena
- 14 Ceres en conjunción con el Sol
- 17 La Luna 0°3 al S de Espiga (Ocultación)
- 18 Luna en apogeo
- 19 Brillo máximo de Venus
- 19 Venus en perihelio
- 20 Cuarto menguante
- 21 La Luna 0°3 al S de Antares (Ocultación)
- 21 Venus 2° al N de Iris
- 24 Marte estacionario en ascensión recta
- 28 Luna nueva
- 28 Venus estacionario en ascensión recta

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	<sup>h</sup>	<sup>m</sup>	<sup>°</sup>	<sup>'</sup>	
Mercurio	22	14,4	-12	49	-1,3
Venus	0	18,1	6	33	-4,5
Marte	7	18,3	26	12	-0,7
Júpiter	4	40,0	21	43	-2,3
Saturno	23	22,6	-6	7	1,2



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

31 de Enero a las 23h de TU

15 de Febrero a las 22h de TU

2 de Marzo a las 21 h de TU

En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del hexágono de invierno. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Marzo 2025

- 1 La Luna 2° al N de Neptuno y 0°4 al S de Mercurio (Ocultación)
- 1 Luna en perigeo
- 2 La Luna 2° al S de Iris
- 2 La Luna 6° al S de Venus
- 3 La Luna 0°4 al N de Hygiea (Ocultación)
- 3 Mercurio 2° al N de Neptuno
- 4 Mercurio en perihelio
- 5 La Luna 5° al N de Urano y 0°5 al N de Alcíone (Ocultación)
- 6 Cuarto creciente
- 6 La Luna 5° al N de Júpiter
- 7 La Luna 0°2 al S de Elnath (Ocultación)
- 8 Máxima elongación Este de Mercurio ( 18°2 )
- 9 La Luna 2° al N de Marte
- 9 Mercurio 6° al S de Venus
- 12 Flora en oposición
- 12 Saturno en conjunción con el Sol
- 14 Eclipse total de Luna
- 14 Luna llena
- 14 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 16 La Luna 0°3 al S de Espiga (Ocultación)
- 17 Luna en apogeo
- 20 Inicio de la primavera en el hemisferio boreal
- 20 La Luna 0°4 al S de Antares (Ocultación)
- 20 Neptuno en conjunción con el Sol
- 22 Cuarto menguante
- 22 Máximo acercamiento de Venus a la Tierra
- 23 Venus en conjunción inferior con el Sol
- 24 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
- 28 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
- 29 Eclipse parcial de Sol
- 29 Luna nueva
- 30 La Luna 0°8 al N de Iris (Ocultación)
- 30 Luna en perigeo
- 31 La Luna 1°3 al N de Hygiea

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	<sup>h</sup>	<sup>m</sup>	(°	')	
Mercurio	0	30,2	6	43	1,4
Venus	0	13,6	10	42	-4,1
Marte	7	24,4	25	11	0,1
Júpiter	4	49,3	22	5	-2,1
Saturno	23	35,2	-4	46	1,2

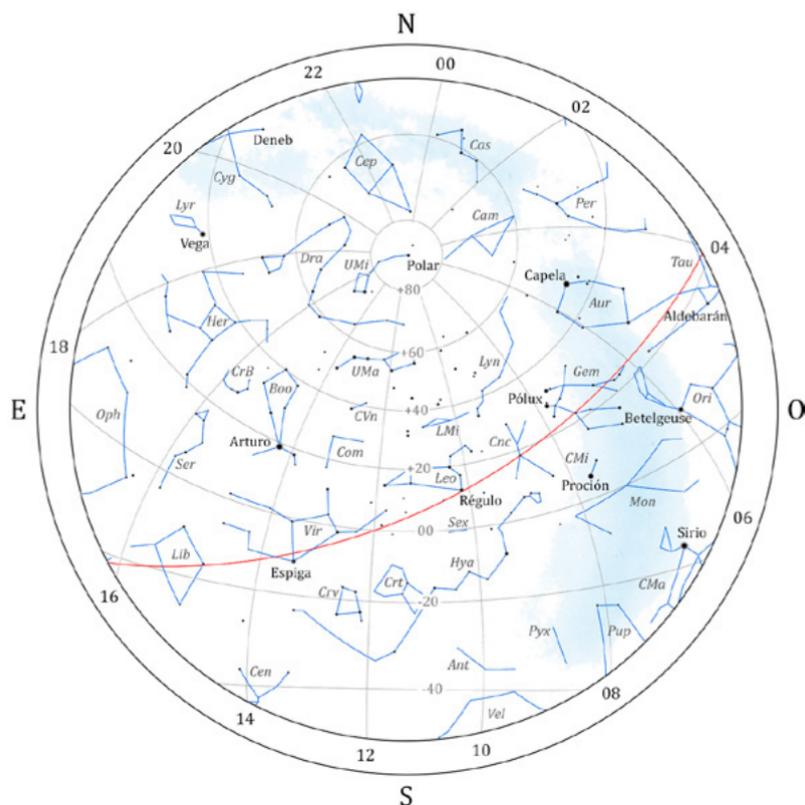


### Abril 2025

- 1 La Luna 0°6 al N de Alcóne (Ocultación)
- 1 La Luna 5° al N de Urano
- 2 Marte 4° al S de Pólux
- 2 Psyche en conjunción con el Sol
- 3 La Luna 0°4 al S de Elnath (Ocultación)
- 3 La Luna 5° al N de Júpiter
- 5 Cuarto creciente
- 5 La Luna 2° al N de Marte
- 6 Mercurio estacionario en ascension recta
- 10 Venus estacionario en ascension recta
- 11 Harmonia en conjunción con el Sol
- 13 La Luna 0°3 al S de Espiga (Ocultación)
- 13 Luna en apogeo
- 13 Luna llena
- 16 La Luna 0°4 al S de Antares (Ocultación)
- 16 Marte en afelio
- 16 Mercurio 0°7 al S de Neptuno
- 17 Mercurio en afelio
- 21 Cuarto menguante
- 21 Máxima elongación Oeste de Mercurio ( 27°4 )
- 22 Brillo máximo de Venus
- 22 Máximo de las Líridas
- 25 La Luna 2° al N de Saturno
- 25 La Luna 2° al S de Venus
- 26 La Luna 4° al N de Mercurio
- 27 Luna en perigeo
- 27 Luna nueva
- 28 La Luna 2° al N de Hygiea
- 28 La Luna 3° al N de Iris
- 29 La Luna 0°4 al N de Alcóne (Ocultación)
- 29 La Luna 5° al N de Urano
- 29 Venus 4° al N de Saturno
- 30 La Luna 0°4 al S de Elnath (Ocultación)
- 30 La Luna 5° al N de Júpiter

#### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	23	59,6	-1	49	0,8
Venus	23	33,9	1	46	-4,4
Marte	8	5,4	22	42	0,7
Júpiter	5	9,3	22	39	-1,9
Saturno	23	48,9	-3	20	1,2



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

31 de Marzo a las 23h de TU

15 de Abril a las 22h de TU

30 de Abril a las 21 h de TU

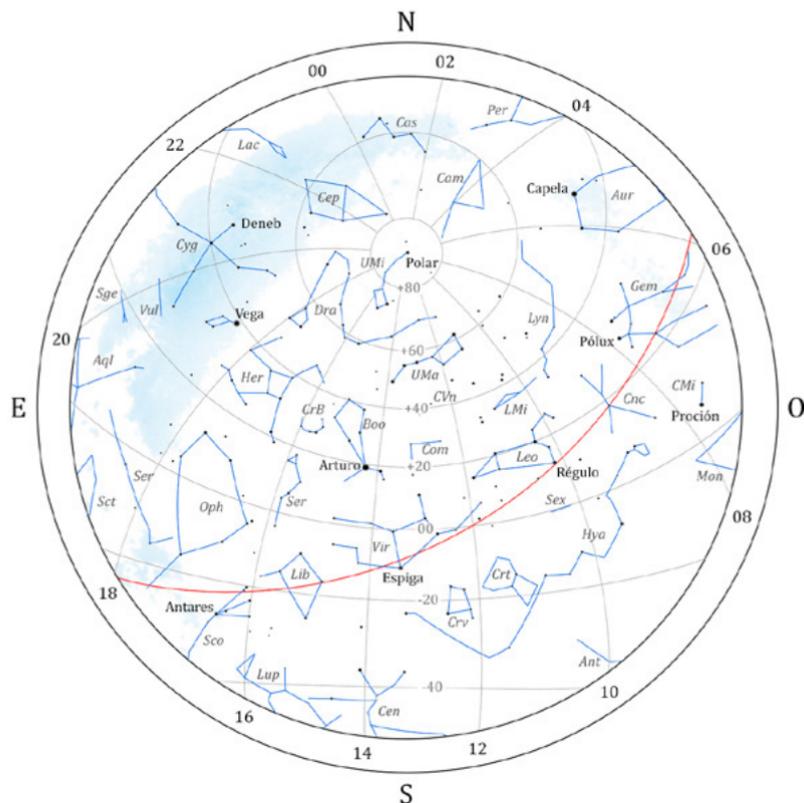
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Mayo 2025

- 2 Vesta en oposición
- 3 La Luna 2° al N de Marte
- 4 Cuarto creciente
- 4 Venus 2° al N de Neptuno
- 6 Máximo de las  $\eta$  Acuáridas
- 7 Júpiter 6° al S de Elnath
- 9 Metis en oposición
- 10 La Luna 0°3 al S de Espiga (Ocultación)
- 11 Luna en apogeo
- 12 Luna llena
- 14 Juno en oposición
- 14 La Luna 0°2 al S de Antares (Ocultación)
- 17 Urano en conjunción con el Sol (Ocultación)
- 18 El Sol 0°2 al N de Urano (Ocultación)
- 20 Cuarto menguante
- 20 Hygiea en conjunción con el Sol
- 23 La Luna 4° al N de Venus
- 26 Luna en perigeo
- 27 Luna nueva
- 28 La Luna 0°5 al S de Elnath (Ocultación)
- 28 La Luna 5° al N de Júpiter
- 30 Brillo máximo de Mercurio
- 30 Mercurio en conjunción superior con el Sol
- 31 Iris en conjunción con el Sol
- 31 Mercurio en perihelio

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	2	24,6	12	20	-0,7
Venus	0	37,4	3	9	-4,3
Marte	9	1,1	18	47	1,1
Júpiter	5	35,1	23	6	-1,8
Saturno	0	0,2	-2	12	1,2



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

30 de Abril a las 23h de TU

15 de Mayo a las 22h de TU

30 de Mayo a las 21 h de TU

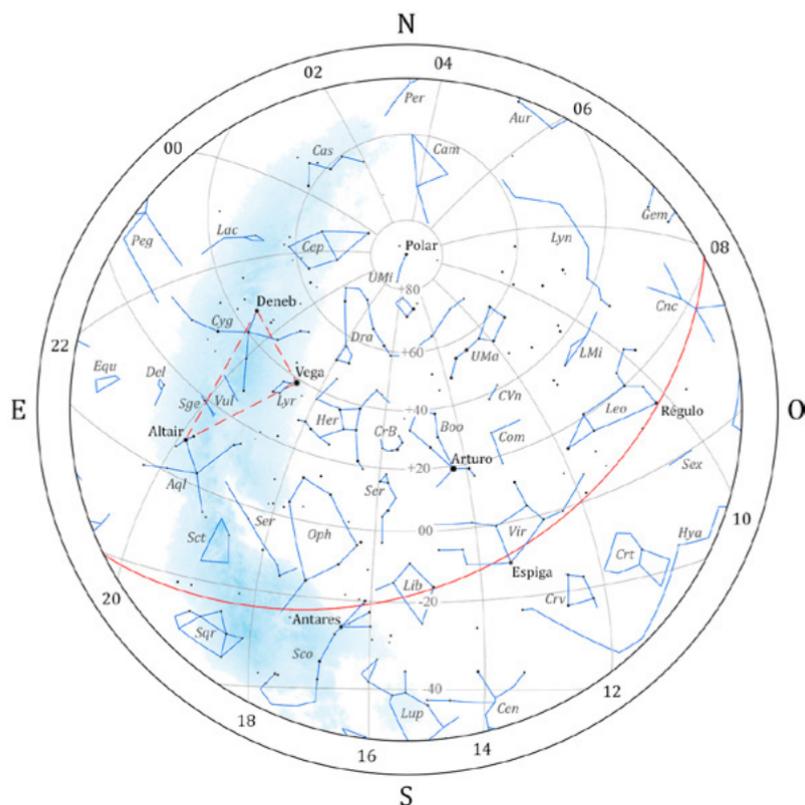
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Junio 2025

- 1 La Luna 1°3 al N de Marte
- 1 Máxima elongación Oeste de Venus ( 45°9 )
- 2 Palas estacionario en ascensión recta
- 3 Cuarto creciente
- 6 Astrea en oposición
- 6 La Luna 0°5 al S de Espiga (Ocultación)
- 7 Luna en apogeo
- 8 Laetitia en conjunción con el Sol
- 8 Mercurio 2° al N de Júpiter
- 10 La Luna 0°1 al S de Antares (Ocultación)
- 11 Luna llena
- 12 Venus en afelio
- 17 Marte 0°8 al N de Régulo
- 17 Vesta estacionario en ascensión recta
- 18 Cuarto menguante
- 19 La Luna 2° al N de Neptuno
- 19 La Luna 3° al N de Saturno
- 20 Masalia en conjunción con el Sol
- 21 Inicio del verano en el hemisferio boreal
- 22 La Luna 7° al N de Venus
- 22 Mercurio 5° al S de Pólux
- 23 La Luna 0°5 al N de Alcíone (Ocultación)
- 23 La Luna 3° al N de Hygiea
- 23 La Luna 5° al N de Urano
- 23 Luna en perigeo
- 24 El Sol 0°1 al N de Júpiter (Ocultación)
- 24 Júpiter en conjunción con el Sol (Ocultación)
- 24 La Luna 0°6 al S de Elnath (Ocultación)
- 24 Urano 4° al S de Alcíone
- 25 Luna nueva
- 27 La Luna 3° al N de Mercurio
- 29 Saturno 1°0 al S de Neptuno
- 30 La Luna 0°2 al N de Marte (Ocultación)

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>o</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	6	51,2	24	57	-0,5
Venus	2	29,6	11	59	-4,1
Marte	10	5,1	13	6	1,4
Júpiter	6	5,1	23	17	-1,7
Saturno	0	8,1	-1	29	1,1



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

31 de Mayo a las 23h de TU

15 de Junio a las 22h de TU

30 de Junio a las 21 h de TU

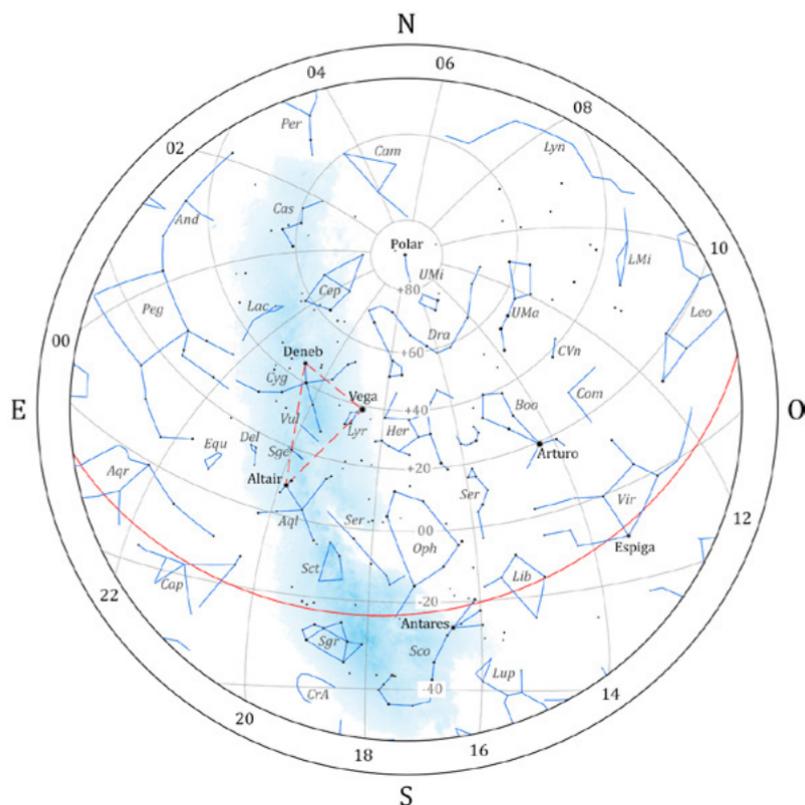
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del triángulo de verano. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Julio 2025

- 2 Cuarto creciente
- 3 La Luna 0°8 al S de Espiga (Ocultación)
- 3 Tierra en el afelio
- 3 Venus 7° al S de Alcíone
- 4 Máxima elongación Este de Mercurio ( 25°9 )
- 4 Venus 2° al S de Urano
- 5 Luna en apogeo
- 5 Neptuno estacionario en ascensión recta
- 7 La Luna 0°3 al S de Antares (Ocultación)
- 10 La Luna 1°1 al S de Nunki (Ocultación)
- 10 Luna llena
- 10 Partenope en conjunción con el Sol
- 13 Juno estacionario en ascensión recta
- 14 La Luna 0°9 al S de Hebe (Ocultación)
- 14 Mercurio en afelio
- 14 Saturno estacionario en ascensión recta
- 14 Venus 3° al N de Aldebarán
- 17 Fortuna en conjunción con el Sol
- 17 Mercurio estacionario en ascension recta
- 18 Cuarto menguante
- 19 Júpiter 0°6 al N de Iris
- 20 La Luna 0°6 al N de Alcíone (Ocultación)
- 20 La Luna 5° al N de Urano
- 20 Luna en perigeo
- 21 La Luna 7° al N de Venus
- 22 La Luna 0°3 al S de Elnath (Ocultación)
- 23 La Luna 5° al N de Júpiter
- 24 Luna nueva
- 24 Venus 7° al S de Elnath
- 25 La Luna 8° al N de Mercurio
- 28 La Luna 1°3 al S de Marte
- 28 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
- 31 La Luna 1°0 al S de Espiga (Ocultación)
- 31 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
- 31 Máximo de las  $\delta$  Acuaridas

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>o</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	9	7,6	13	58	1,5
Venus	4	41,3	19	56	-3,9
Marte	11	9,7	6	17	1,5
Júpiter	6	34,7	23	5	-1,7
Saturno	0	10,7	-1	21	0,9



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

30 de Junio a las 23h de TU

15 de Julio a las 22h de TU

30 de Julio a las 21 h de TU

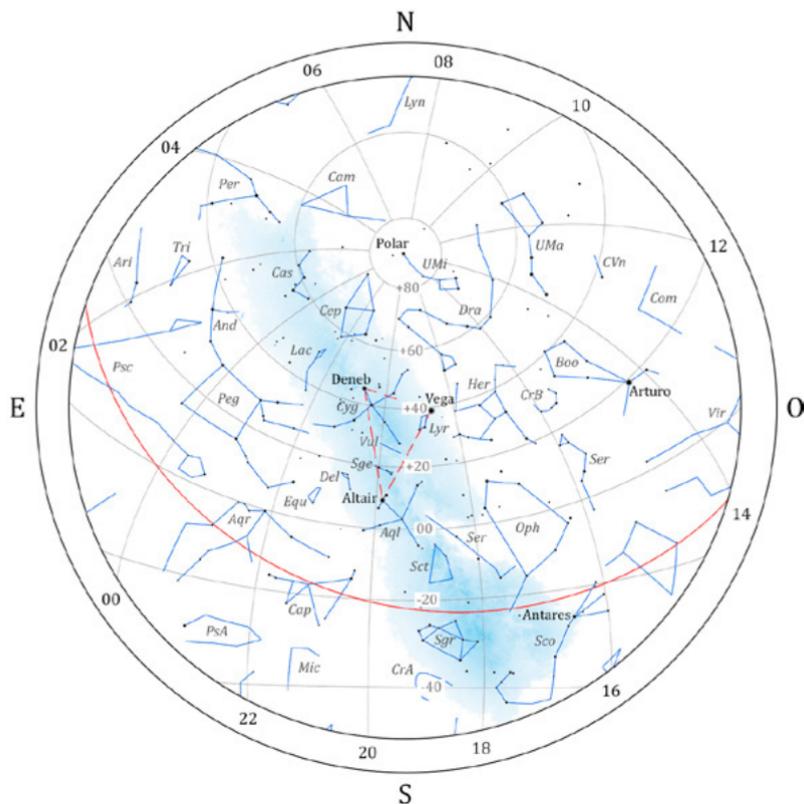
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del triángulo de verano. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Agosto 2025

- 1 Cuarto creciente
- 1 Luna en apogeo
- 4 La Luna 0°5 al S de Antares (Ocultación)
- 6 La Luna 1°1 al S de Nunki (Ocultación)
- 6 Saturno 1°1 al S de Neptuno
- 7 Palas en oposición
- 9 Luna llena
- 10 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 12 Máximo de las Perséidas
- 12 Venus 0°9 al S de Júpiter
- 13 Euterpe en oposición
- 14 Luna en perigeo
- 15 Ceres estacionario en ascensión recta
- 16 Cuarto menguante
- 16 Eunomia en conjunción con el Sol
- 16 La Luna 0°8 al N de Alcíone (Ocultación)
- 16 La Luna 5° al N de Urano
- 17 Egeria en conjunción con el Sol
- 18 La Luna 0°4 al S de Elnath (Ocultación)
- 19 La Luna 5° al N de Júpiter
- 19 Máxima elongación Oeste de Mercurio ( 18°6 )
- 20 La Luna 5° al N de Venus
- 21 La Luna 4° al N de Mercurio
- 21 Venus 7° al S de Pólux
- 23 Luna nueva
- 24 Venus 1°4 al N de Iris
- 26 Hebe en oposición
- 26 La Luna 3° al S de Marte
- 27 La Luna 1°1 al S de Espiga (Ocultación)
- 27 Mercurio en perihelio
- 29 Luna en apogeo
- 31 Cuarto creciente
- 31 La Luna 0°5 al S de Antares (Ocultación)

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	8	27,5	16	58	0,9
Venus	7	14,7	21	33	-3,8
Marte	12	19,2	-1	35	1,6
Júpiter	7	3,5	22	35	-1,8
Saturno	0	7,8	-1	48	0,8



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

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

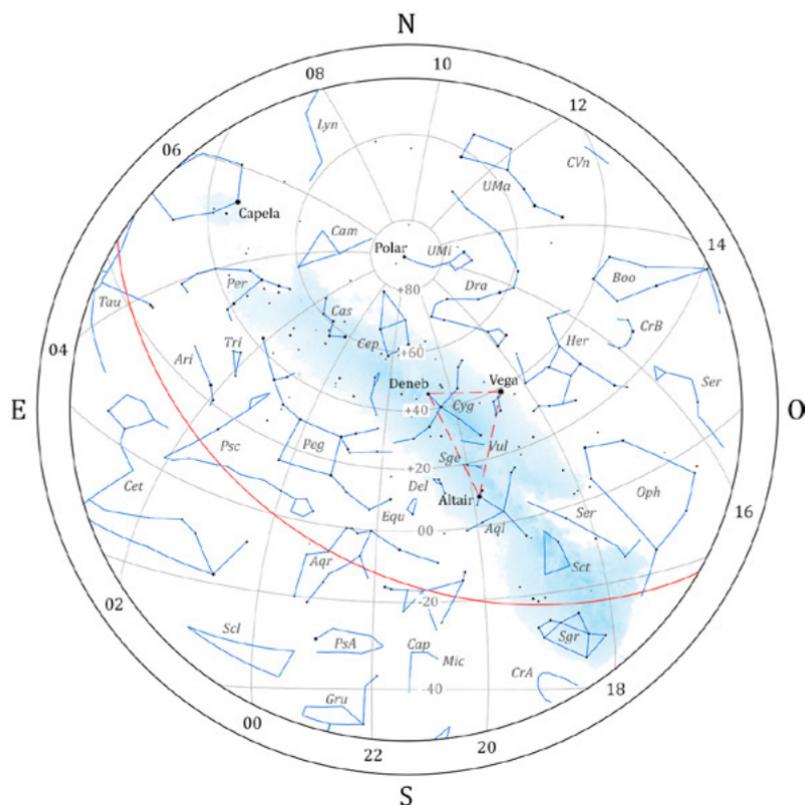
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del triángulo de verano. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Setiembre 2025

- 6 Urano estacionario en ascension recta
- 7 Eclipse total de Luna
- 7 Luna llena
- 10 Luna en perigeo
- 12 Brillo máximo de Mercurio
- 12 La Luna 1°0 al N de Alcóne (Ocultación)
- 12 Marte 2° al N de Espiga
- 13 La Luna 5° al N de Urano
- 13 Mercurio en conjunción superior con el Sol
- 14 Cuarto menguante
- 14 La Luna 0°3 al S de Elnath (Ocultación)
- 16 La Luna 4° al N de Júpiter
- 19 La Luna 0°7 al N de Venus (Ocultación)
- 19 Venus 0°5 al N de Régulo
- 21 Eclipse parcial de Sol
- 21 Luna nueva
- 21 Saturno en oposición
- 22 Inicio del otoño en el hemisferio boreal
- 23 La Luna 1°1 al S de Espiga (Ocultación)
- 23 Neptuno en oposición
- 24 La Luna 4° al S de Marte
- 24 Palas estacionario en ascensión recta
- 26 Luna en apogeo
- 27 Irene en conjunción con el Sol
- 27 La Luna 0°5 al S de Antares (Ocultación)
- 29 Cuarto creciente (día 30 hora oficial)
- 30 La Luna 1°2 al S de Nunki (Ocultación)

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	11	39,6	3	51	-1,5
Venus	9	48,2	14	5	-3,8
Marte	13	33,2	-9	38	1,6
Júpiter	7	27,5	21	54	-1,9
Saturno	0	0,3	-2	42	0,6



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

31 de Agosto a las 23h de TU

15 de Setiembre a las 22h de TU

30 de Setiembre a las 21 h de TU

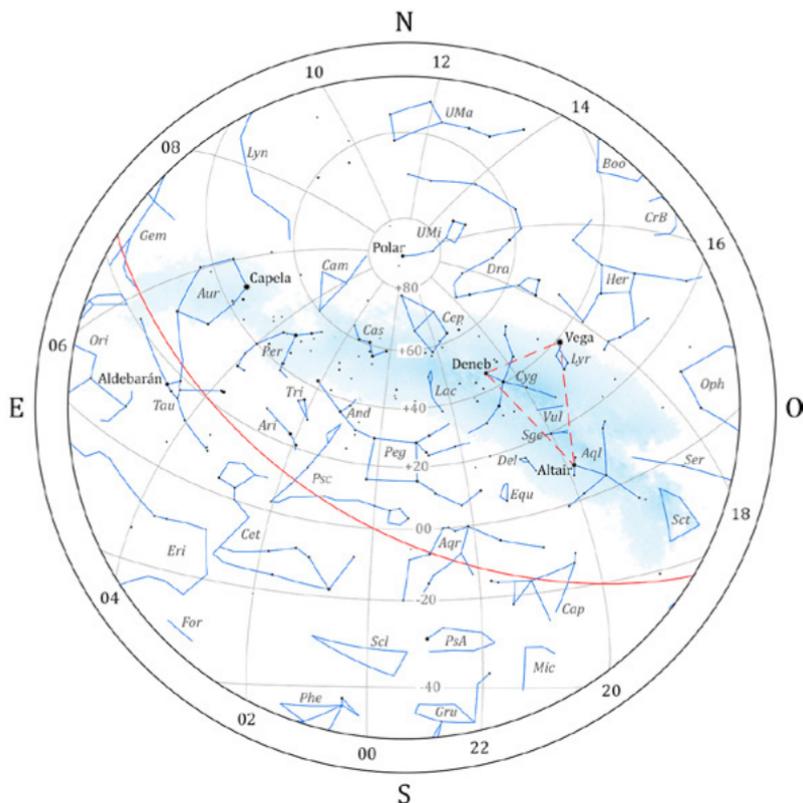
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del triángulo de verano. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Octubre 2025

- 2 Ceres en oposición
- 2 Mercurio 2° al N de Espiga
- 2 Venus en perihelio
- 6 La Luna 4° al N de Saturno
- 7 Luna llena
- 8 Luna en perigeo
- 8 Máximo de las Dracónidas
- 10 La Luna 0,8 al N de Alcóne (Ocultación)
- 10 La Luna 5° al N de Urano
- 10 Mercurio en afelio
- 11 La Luna 0,4 al S de Elnath (Ocultación)
- 12 Amphitrite en conjunción con el Sol
- 13 Cuarto menguante
- 13 La Luna 4° al N de Júpiter
- 15 Marte 0,6 al S de Zuben el Genubi
- 16 La Luna 1,2 al N de Régulo (Ocultación)
- 17 Mercurio 2° al S de Zuben el Genubi
- 19 La Luna 4° al S de Venus
- 21 Luna nueva
- 21 Mercurio 2° al S de Marte
- 21 Máximo de las Oriónidas
- 23 La Luna 2° al S de Mercurio
- 23 La Luna 4° al S de Marte
- 23 Luna en apogeo
- 25 La Luna 0,5 al S de Antares (Ocultación)
- 26 Júpiter 7° al S de Pólux
- 27 La Luna 1,1 al S de Nunki (Ocultación)
- 29 Cuarto creciente
- 29 Eros en oposición
- 29 Máxima elongación Este de Mercurio ( 23,9 )

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	14	36,3	-17	6	-0,1
Venus	12	7,5	0	50	-3,8
Marte	14	51,9	-16	42	1,5
Júpiter	7	43,3	21	22	-2,1
Saturno	23	52,1	-3	35	0,8



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

30 de Setiembre a las 23h de TU

15 de Octubre a las 22h de TU

30 de Octubre a las 21 h de TU

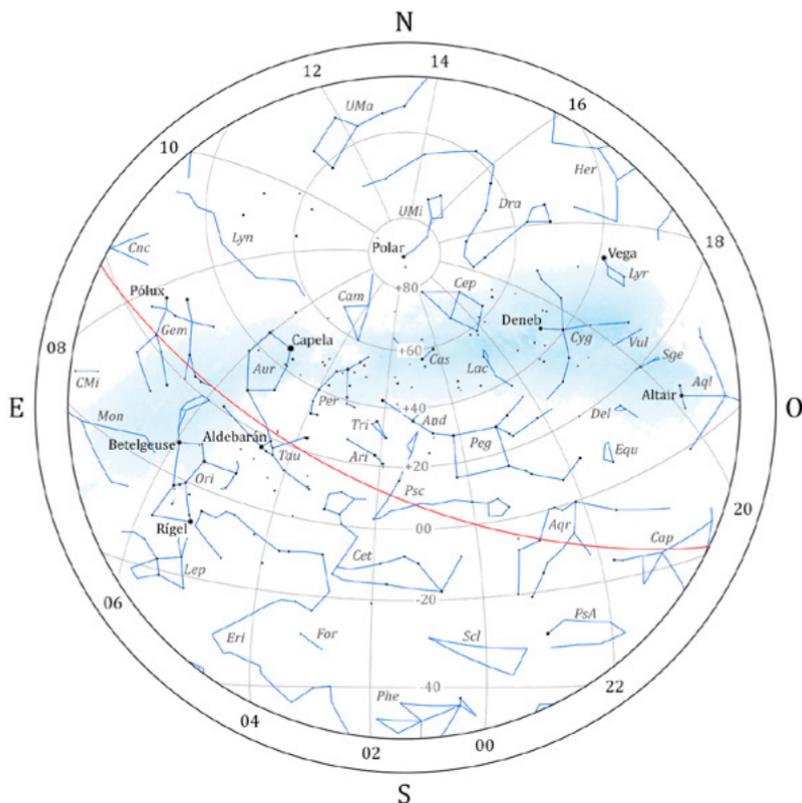
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del triángulo de verano. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Noviembre 2025

- 1 Venus 4° al N de Espiga
- 2 La Luna 4° al N de Saturno
- 3 Mercurio 4° al S de Graffias
- 5 Luna en perigeo
- 5 Luna llena
- 5 Victoria en oposición
- 6 La Luna 5° al N de Urano y 0°6' al N de Alcíone (Ocultación)
- 8 La Luna 0°5' al S de Elnath (Ocultación)
- 9 Marte 2° al S de Graffias
- 9 Mercurio estacionario en ascensión recta
- 10 La Luna 4° al N de Júpiter
- 11 Júpiter estacionario en ascensión recta
- 12 Cuarto menguante
- 12 La Luna 1°0' al N de Régulo (Ocultación)
- 12 Mercurio 1°3' al S de Marte
- 15 Mercurio 2° al S de Graffias
- 17 La Luna 1°1' al S de Espiga (Ocultación)
- 17 Máximo de las Leónidas
- 19 La Luna 6° al S de Venus
- 19 Máximo acercamiento de Mercurio a la Tierra
- 19 Venus 0°8' al N de Zuben el Genubi
- 20 Luna nueva en apogeo
- 20 Mercurio en conjunción inferior con el Sol
- 21 La Luna 0°3' al S de Antares (Ocultación)
- 21 Urano en oposición
- 22 Urano 4° al S de Alcíone
- 23 Mercurio en perihelio
- 24 La Luna 1°0' al S de Nunki (Ocultación)
- 25 Mercurio 1°1' al N de Venus
- 28 Cuarto creciente
- 28 Júpiter 7° al S de Pólux
- 29 La Luna 4° al N de Saturno
- 29 Saturno y Mercurio estacionario en ascensión recta
- 30 La Luna 3° al N de Neptuno

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>o</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	16	9,9	-22	16	2,2
Venus	14	32,3	-13	42	-3,8
Marte	16	22,6	-22	5	1,4
Júpiter	7	48,4	21	13	-2,3
Saturno	23	46,6	-4	5	1,0



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

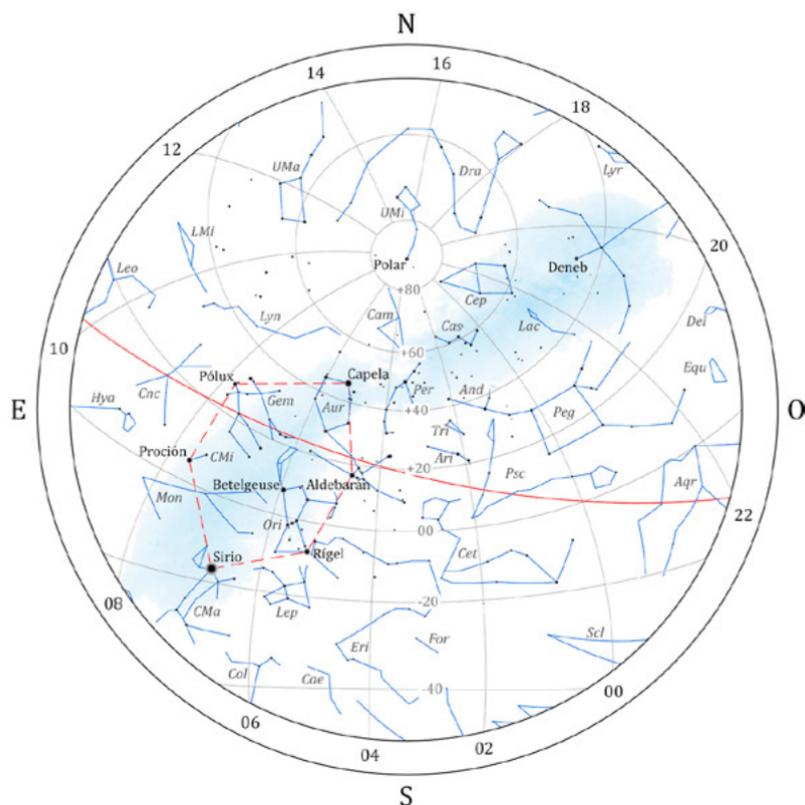
En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## Diciembre 2025

- 4 La Luna 0°7 al N de Alcione (Ocultación)
- 4 La Luna 5° al N de Urano
- 4 Luna en perigeo
- 4 Luna llena (día 5 hora oficial)
- 5 La Luna 0°7 al S de Elnath (Ocultación)
- 7 La Luna 4° al N de Júpiter
- 7 Máxima elongación Oeste de Mercurio ( 20°7 )
- 8 Psyche en oposición
- 10 La Luna 0°7 al N de Régulo (Ocultación)
- 11 Cuarto menguante
- 11 Neptuno estacionario en ascensión recta
- 14 Mercurio 0°6 al N de Graffias
- 14 Mercurio 2° al S de Flora
- 14 Máximo de las Gemínidas
- 17 Juno en conjunción con el Sol
- 17 Luna en apogeo
- 18 La Luna 0°3 al S de Antares (Ocultación)
- 18 La Luna 6° al S de Mercurio
- 18 Mercurio 6° al N de Antares
- 20 Luna nueva
- 21 Inicio del invierno en el hemisferio boreal
- 21 La Luna 0°7 al S de Nunki (Ocultación)
- 21 La Luna 3° al S de Vesta
- 22 Hygiea en oposición
- 22 Máximo de las Úrsidas
- 27 Cuarto creciente
- 27 La Luna 4° al N de Saturno
- 29 Metis en conjunción con el Sol
- 31 La Luna 0°7 al N de Alcione (Ocultación)
- 31 La Luna 5° al N de Urano

### Coordenadas para el día 15

Planeta	Asc. Recta		Declin.		Magnitud
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	
Mercurio	16	8,9	-19	25	-0,4
Venus	17	7,1	-22	43	-3,8
Marte	17	59,0	-24	13	1,3
Júpiter	7	41,0	21	37	-2,5
Saturno	23	46,8	-3	57	1,1



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

30 de Noviembre a las 23h de TU

15 de Diciembre a las 22h de TU

30 de Diciembre a las 21 h de TU

En la figura se representan paralelos de declinación y, en color rojo, la eclíptica. En línea discontinua roja se muestra el asterismo del hexágono de invierno. En el borde de la figura se indica el valor, en horas, de diversos meridianos de ascensión recta.

## 1.5. Eclipses de Sol

Denominamos eclipse de Sol al fenómeno por el cual la luz del Sol es total o parcialmente ocultada al interponerse un astro entre el Sol y el observador. En los eclipses de Sol vistos desde la Tierra, el astro que oculta el Sol es la Luna.

Desde el punto de vista del observador, los eclipses de Sol se clasifican en: totales, anulares y parciales. Dicho observador dirá que ha visto un eclipse total cuando ve la Luna cubrir enteramente el disco del Sol. Sin embargo, otro observador situado centenas de kilómetros más al norte o más al sur que el primero verá la Luna cubrir solo una parte del Sol, de manera que para él el eclipse será parcial. Hay ocasiones en las que la Luna no llega a cubrir enteramente el Sol desde ningún punto de la Tierra, por lo que para todos los observadores el eclipse es parcial.

Otro tipo común de eclipses es el eclipse anular. Estos se dan cuando el observador ve que el disco de la Luna no llega a cubrir el disco del Sol, aunque sus centros estén bien alineados. Esto es debido a que la Luna se encuentra ese día más lejos de la Tierra que en el caso de un eclipse total, de modo que su disco se ve más pequeño que el del Sol. En tal caso se observa un anillo brillante rodeando el disco lunar.



### Magnitud de los eclipses de Sol

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

## Mapas y tablas 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).

En las tablas de características generales para los eclipses totales y anulares de Sol, las coordenadas geográficas 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.

## Eclipses de Sol en 2025

Se producirán dos eclipses parciales de Sol, uno el 29 de marzo y otro el 21 de septiembre. El primero será visible en España con magnitud media-baja.

Se describen en detalle en las páginas siguientes.

## Eclipse parcial de Sol del día 29 de marzo (Saros 149)

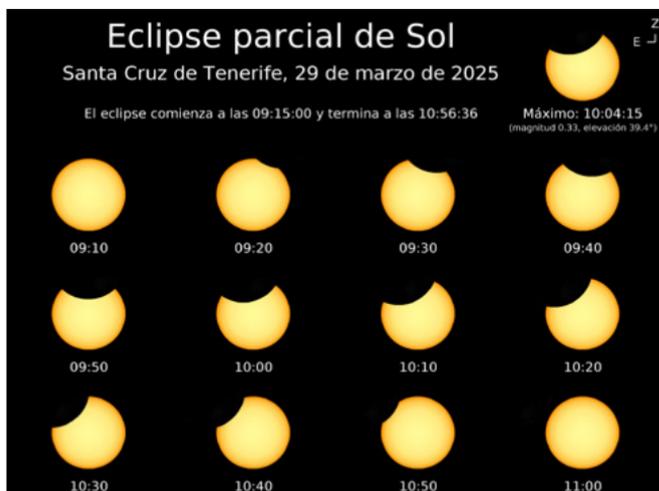
Este eclipse parcial, visible desde España, es el número 21 de los 71 que componen la serie Saros 149.

El eclipse será visible desde el norte del Océano Atlántico, parte del Ártico, el noroeste de África, la mayor parte de Europa, el extremo noreste de América, noroeste de Rusia y Groenlandia. El eclipse comenzará a las 8<sup>h</sup>50<sup>m</sup> TU (Tiempo Universal) en un punto del Océano Atlántico con latitud 14° norte y longitud 42° oeste, y finalizará en un punto de Rusia de latitud 71° norte y longitud 91° este a las 12<sup>h</sup>43<sup>m</sup>.

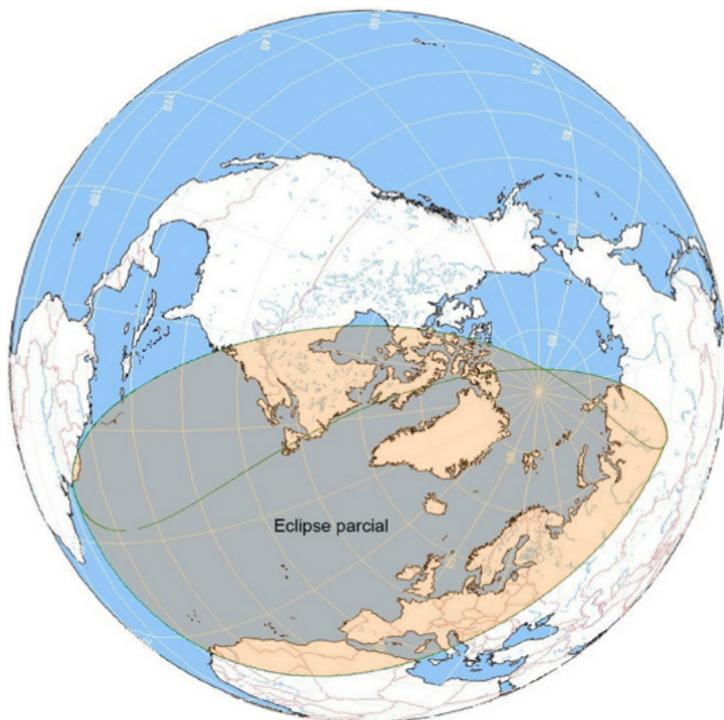
El eclipse avanzará por el Océano Atlántico, entrando en el noroeste de África, y pasando por las Islas Canarias. Posteriormente, el otro extremo del cono de penumbra tocará el noroeste de América. Poco después se introducirá en Europa por el suroeste de la Península Ibérica y avanzará pasando por Groenlandia hasta Rusia, donde finalizará cerca de Norilsk, la ciudad con más de 100.000 habitantes situada más al norte, dentro del Círculo Polar Ártico.

El máximo del eclipse se producirá a las 10<sup>h</sup>47<sup>m</sup> en un lugar de latitud 66° norte y longitud 77° oeste, en el Paso del Noroeste, cerca de Canadá. En este lugar alcanzará una magnitud máxima de 0,933.

En España se verá con magnitud baja-media, oscilando entre una magnitud máxima de 0,177 en los municipios de Es Castell y Sant Lluís, en Menorca, y 0,435 en Muxía, en la provincia de A Coruña. El primer lugar donde será visible serán las Islas Canarias. En Santa Cruz de Tenerife comenzará el eclipse a las 9<sup>h</sup>15<sup>m</sup>, tendrá su máximo a las 10<sup>h</sup>04<sup>m</sup> y finalizará a las 10<sup>h</sup>56<sup>m</sup>.



## Eclipse parcial de 29 de marzo de 2025



### Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	8 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	13° 59'	-42° 22'
Máximo del eclipse	10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	66° 07'	-77° 11'
Conjunción en Asc. Recta	11 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>		
Fin del eclipse general	12 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	71° 13'	-90° 51'

### Características del eclipse en el máximo

Magnitud del eclipse parcial	0,933
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radios terrestres)	1,040

Se incluye una tabla en la que se recoge, para las capitales de provincia, Ceuta y Melilla, los momentos de inicio, máximo y final del eclipse, la magnitud y la posición del Sol en el máximo (altura y azimut). Las horas vienen dadas en hora oficial peninsular, salvo para las Islas Canarias, donde se expresan en hora oficial de Canarias.

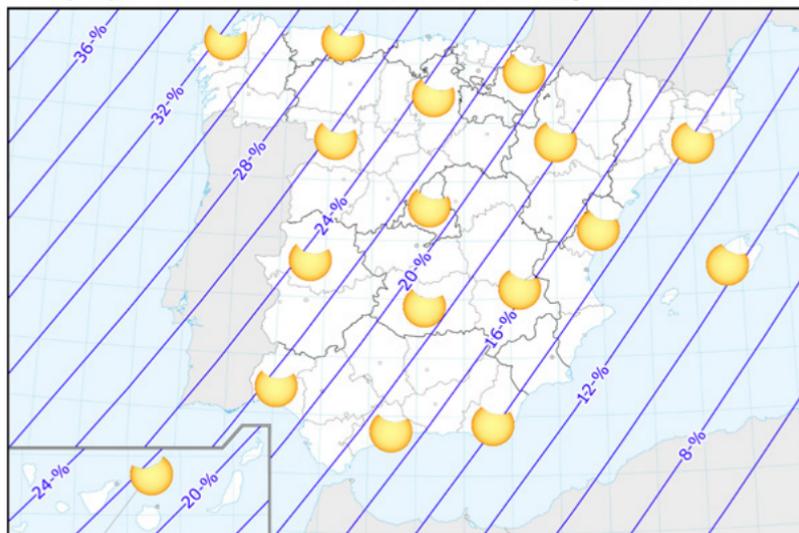
### Eclipse en capitales de provincia, Ceuta y Melilla

ciudad	inicio ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	máximo ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	final ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	magn.	Alt. Sol (°)	Az. Sol (°)
Alacant/Alicante	10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	0,23	50	145
Albacete	10 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	0,27	49	143
Almería	10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	0,24	50	139
Ávila	10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	0,34	46	141
Badajoz	10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	0,35	46	135
Barcelona	11 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	0,24	49	154
Bilbao	10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	0,35	46	147
Burgos	10 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	0,34	46	145
Cáceres	10 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	0,35	46	137
Cádiz	10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	0,30	47	133
Castelló de la Plana	10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	0,25	49	148
Ceuta	10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	0,28	48	133
Ciudad Real	10 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	0,30	48	140
Córdoba	10 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	0,30	47	137
A Coruña	10 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	0,43	42	138
Cuenca	10 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	0,29	48	144
Donostia/San Sebastián	10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	0,33	46	149
Girona	11 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	0,24	49	156
Granada	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	0,27	49	138
Guadalajara	10 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	0,31	47	143
Huelva	10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	0,32	46	133
Huesca	10 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	0,29	48	150
Jaén	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	0,28	48	139
León	10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	0,38	45	142
Lleida	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	0,27	48	151
Logroño	10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	0,33	46	147
Lugo	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	0,41	43	139
Madrid	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	0,32	47	142
Málaga	10 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	0,28	48	136
Melilla	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	0,23	50	136
Murcia	10 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	0,24	50	143
Ourense	10 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	0,41	43	138
Oviedo	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	0,39	44	142

**Eclipse en capitales de provincia, Ceuta y Melilla**

ciudad	inicio ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	máximo ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	final ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	magn.	Alt. Sol (°)	Az. Sol (°)
Palencia	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	0,35	45	143
Pamplona/Iruña	10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	0,32	46	149
Palma	11 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	0,20	51	152
Las Palmas de G. Canaria	09 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	0,32	40	111
Pontevedra	10 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	0,42	43	137
Salamanca	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	0,36	45	140
Santa Cruz de Tenerife	09 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	0,33	39	111
Santander	10 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	0,36	45	146
Segovia	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	0,33	46	142
Sevilla	10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	0,31	47	135
Soria	10 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	0,32	47	146
Tarragona	10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	0,25	49	152
Teruel	10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	0,28	48	146
Toledo	10 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	0,31	47	141
València	10 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	0,25	49	147
Valladolid	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	0,35	46	142
Vitoria-Gasteiz	10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	0,34	46	147
Zamora	10 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	0,36	45	140
Zaragoza	10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	0,29	48	149

Eclipse parcial de Sol. 29 de marzo de 2025. Porcentaje de oscurecimiento



### Eclipse parcial de Sol del día 21 de septiembre (Saros 154)

Este eclipse parcial, de número 7 dentro de los 71 del ciclo Saros 154, no será visible desde España.

El eclipse se podrá observar desde el sur del Océano Pacífico, Polinesia, Nueva Zelanda y desde partes de la Antártida y el Océano Antártico. El comienzo del eclipse se producirá a las 17<sup>h</sup>29<sup>m</sup> TU en un lugar del Océano Pacífico de latitud 14° sur y longitud 174° oeste, cerca de Samoa, y se moverá hacia el sureste, llegando primero a Nueva Zelanda, y luego a la Antártida.

El máximo del eclipse se tendrá lugar a las 19<sup>h</sup>41<sup>m</sup> en el Océano Antártico, cerca de la costa de la Antártida, con una latitud de 69° sur y longitud 153° este, donde se alcanzará una magnitud máxima de 0,858.

Finalizará a las 21<sup>h</sup>53<sup>m</sup>, entre Tierra del Fuego y la Antártida, en un punto de latitud 72° sur y longitud 61° oeste.

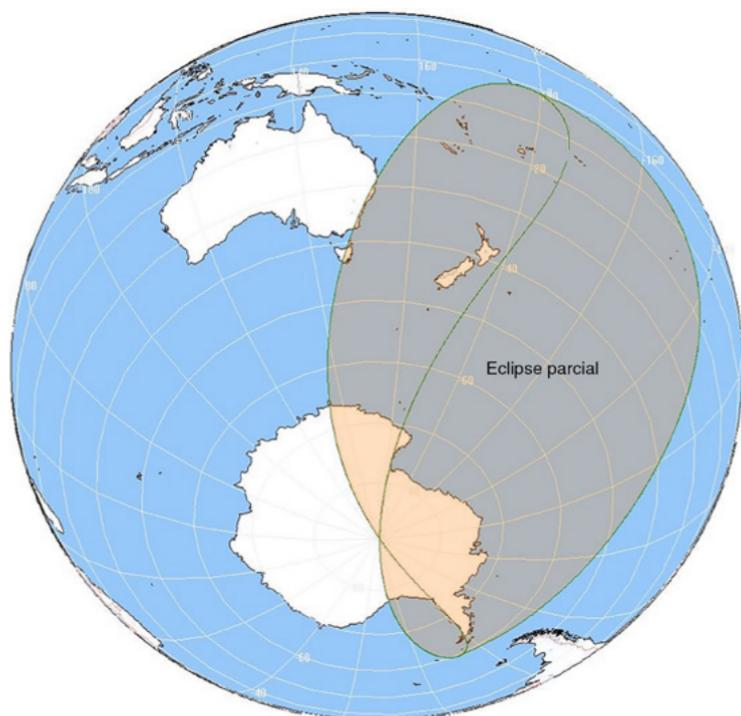
#### Características generales del eclipse

Fases	TU	Latitud	Longitud
Inicio del eclipse general	17 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	-13° 58'	-174° 05'
Máximo del eclipse	19 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	-69° 06'	153° 26'
Conjunción en Asc. Recta	20 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>		
Fin del eclipse general	21 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	-72° 16'	-61° 16'

#### Características del eclipse en el máximo

Magnitud del eclipse parcial	0,858
Distancia mínima entre el eje de sombra de la Luna y el centro de la Tierra (en radios terrestres)	1,065

## Eclipse parcial de 21 de septiembre de 2025



## Eclipses de Sol en los próximos años

Fecha	Tipo	Duración ( <sup>m s</sup> )	Magnitud	Visibilidad
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 1	anular	5 21	0,94	Europa, 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	mixto	1 08	1,01	Pacífico y América
2032 mayo 9	anular	0 22	0,99	S Sudamérica y S África
2032 noviembre 3	parcial		0,86	Asia
2033 marzo 30	total	2 37	1,05	Norteamérica y NE Rusia
2033 setiembre 23	parcial		0,69	S Sudamérica y Antártida
2034 marzo 20	total	4 09	1,05	África, Europa y O. Asia
2034 setiembre 12	anular	2 58	0,97	Centroamérica y Sudamérica
2035 marzo 09	anular	0 48	0,99	Oceanía, Antártida y México
2035 setiembre 02	total	2 54	1,03	E Asia y Pacífico

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.

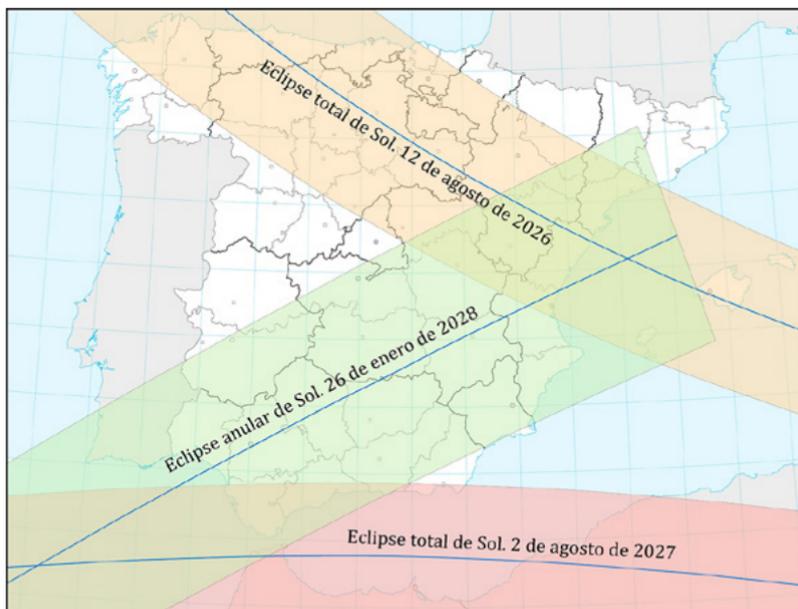
## Eclipses de Sol visibles en España en los próximos años

Aunque es común poder observar un eclipse parcial de Sol cada varios años desde el mismo lugar, no es lo mismo poder ser testigo de un eclipse total o anular. En España, el último eclipse anular visible sucedió en 2005, y el último total se pudo ver en 1959, y solo desde las islas Canarias; la península Ibérica no ha visto un eclipse total de Sol desde 1912. Esta sequía de eclipses va a terminar próximamente, pues entre los años 2026 y 2028 habrá dos eclipses totales y uno anular que se podrán ver desde algún punto de nuestra geografía.

El primer eclipse total de Sol visible en la península en más de un siglo tendrá lugar el 12 de agosto de 2026. La franja de totalidad cruzará España de oeste a este y pasará por numerosas capitales de provincia desde A Coruña hasta Palma de Mallorca, incluyendo León, Bilbao, Zaragoza y Valencia. Nuestro país está situada al final de la franja de totalidad, por lo que esta sucederá cuando el Sol se esté poniendo muy cerca del horizonte, siendo conveniente observar el eclipse desde un lugar con buena visibilidad hacia el oeste.

Casi un año después, el 2 de agosto de 2027, otro eclipse total cruzará España. La franja de totalidad atravesará el estrecho de Gibraltar de oeste a este y cubrirá el extremo sur de la península y el norte de África, incluyendo ciudades como Cádiz, Málaga, Ceuta y Melilla. El eclipse tendrá lugar durante la mañana, y la máxima duración de la totalidad corresponderá a Ceuta con 4 minutos y 48 segundos.

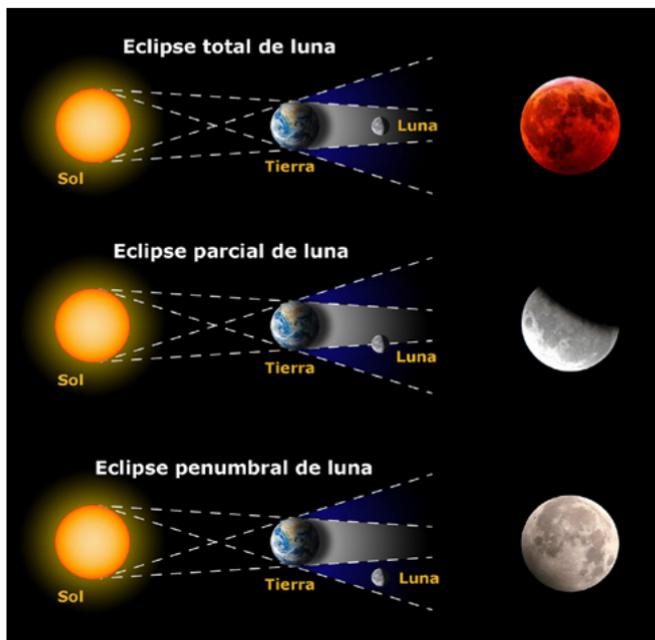
Por último, 26 de enero de 2028, se producirá un eclipse anular cuya franja de anularidad cruzará la península de sudoeste a noreste justo antes de la puesta de Sol, incluyendo ciudades como Sevilla, Málaga, Murcia y Valencia, donde la fase anular se verá completa. En Palma de Mallorca y Barcelona solo se verá el principio de la fase anular pues el Sol se pondrá antes de que esta termine. Debido a la baja elevación del Sol sobre el horizonte, la observación de este eclipse requerirá una excelente visibilidad en la dirección de la puesta de Sol.



## 1.6. Eclipses de Luna

Denominamos eclipse de Luna al fenómeno por el cual la Tierra impide que la luz del Sol llegue hasta la Luna, generando un cono de sombra que oscurece a la Luna. La Luna totalmente eclipsada adquiere un color rojizo característico debido a la dispersión de la luz refractada por la atmósfera de la Tierra.

Debido al tamaño angular del Sol, la sombra que proyecta la Tierra consta de dos zonas: la umbra y la penumbra. En la umbra no existe radiación solar directa, mientras que en la penumbra la radiación solar es bloqueada solo parcialmente. Por ello los eclipses se clasifican en totales, parciales y penumbrales. Un observador dirá que ha visto un eclipse total cuando la Luna se haya situado completamente en la zona umbral. Cuando solo una parte de la Luna se sitúe en la umbra, el eclipse será parcial. Si la Luna se sitúa en la penumbra, el eclipse será penumbral, y solo se producirá un sutil oscurecimiento en la superficie lunar.



A diferencia de los eclipses solares, que pueden ser vistos solo desde una parte relativamente pequeña de la Tierra y duran unos pocos minutos, un eclipse lunar puede ser visto desde cualquier parte de la Tierra en la que sea de noche y se prolongan durante varias horas.

## Magnitud de los eclipses de Luna

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.

## Mapas y tablas 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 la curva etiquetada como **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 la curva etiquetada como **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 la curva etiquetada como **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.

En las tablas de características generales de 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 Luna en 2025

Se producirán dos eclipses totales de Luna, el 14 de marzo y el 7 de setiembre. Ambos serán visibles en España.

Se describen en detalle en las páginas siguientes.

## Eclipse total de Luna del día 14 de marzo (Saros 123)

Este eclipse total es el número 53 de los 73 que componen el ciclo Saros 123, y la fase total será visible en España, salvo en la parte este de la península y Baleares, donde el ocaso lunar tendrá lugar justo antes del comienzo de esta fase.

El inicio del eclipse de penumbra tendrá lugar a las 3<sup>h</sup>59<sup>m</sup> de Tiempo Universal (TU). La zona en que será visible viene delimitada por la curva etiquetada con **IP** en la figura adjunta; corresponde a América, Europa, la mayor parte de África, salvo el extremo oriental, y parte de Turquía. El eclipse parcial, (**iS**) es visible a partir de las 5<sup>h</sup>11<sup>m</sup> y finaliza (**fS**) a las 8<sup>h</sup>48<sup>m</sup>, se podrá observar desde América, gran parte de Europa, el oeste de África, partes de Oceanía y el extremo oriental de Asia. La fase de totalidad comenzará a las 6<sup>h</sup>27<sup>m</sup> (**iT**), y terminará a las 7<sup>h</sup>32<sup>m</sup> (**fT**), y la franja de visibilidad incluye las partes más occidentales de Europa y África, incluyendo el centro y el oeste de la Península Ibérica y las Islas Canarias, América, parte de Oceanía y el extremo oriental de Rusia. El eclipse terminará a las 9<sup>h</sup>59<sup>m</sup> TU. La fase final de penumbra, delimitada por la curva **fP**, podrá verse desde la mayor parte de América y Oceanía, y el este de Asia.

### Características generales del eclipse

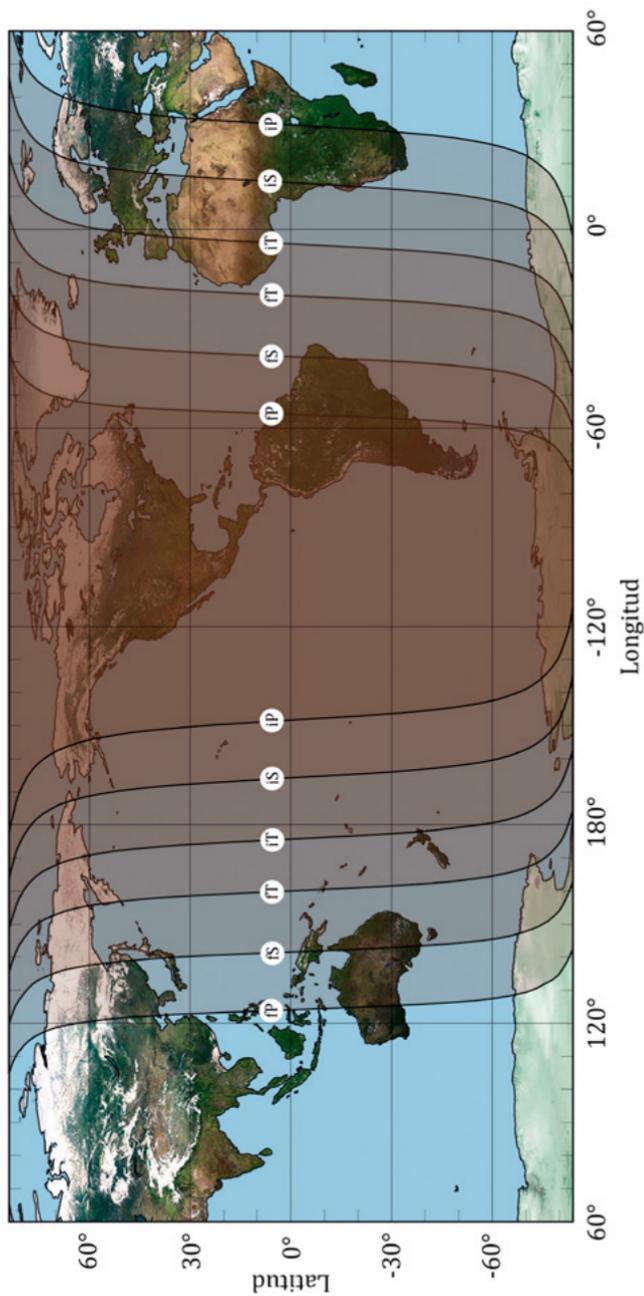
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	3 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	3° 24'	-58° 42'	132°
Primer contacto con la sombra	5 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	3° 07'	-76° 10'	140°
Inicio de la totalidad	6 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	2° 48'	-94° 38'	171°
Máximo del eclipse	6 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	2° 41'	-102° 30'	209°
Fin de la totalidad	7 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	2° 33'	-110° 21'	247°
Último contacto con la sombra	8 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	2° 14'	-128° 50'	278°
Último contacto con la penumbra	9 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	1° 57'	-146° 18'	286°
Duración del eclipse penumbral	6 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse parcial	3 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse total	1 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>			
Magnitud del eclipse de penumbra	2,26			
Magnitud del eclipse de sombra	1,18			

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	226%
Fracción de diámetro lunar inmersa en la sombra	118%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	0,35

Eclipse total de Luna del día 14 de marzo de 2025



## Eclipse total de Luna del día 7 de setiembre (Saros 128)

Este es un eclipse total, el número 41 de 71 en el ciclo Saros 128. La fase total será visible desde casi toda España justo después de la salida de la Luna, salvo en las zonas más occidentales de Galicia y en las Islas Canarias, donde el orto se producirá inmediatamente después del final de esta fase.

El eclipse penumbral comenzará a las 15<sup>h</sup>29<sup>m</sup> (TU). La zona de visibilidad está marcada por la curva etiquetada con **iP** en la figura adjunta; corresponde a Asia, Oceanía y el borde este de África. La fase parcial, (**iS**) será visible en Asia, África, Europa y Oceanía desde de las 16<sup>h</sup>27<sup>m</sup> hasta las 19<sup>h</sup>55<sup>m</sup> (**fS**). El inicio del eclipse total tendrá lugar a las 17<sup>h</sup>31<sup>m</sup> (**iT**), y terminará a las 18<sup>h</sup>52<sup>m</sup> (**fT**), y podrá observarse desde Asia, Oceanía y la mayor parte de África y Europa. El final del eclipse ocurrirá a las 20<sup>h</sup>54<sup>m</sup> TU. La fase final de penumbra, delimitada por la curva **fP**, será visible desde África, Europa, la mayor parte de Asia, el oeste de Oceanía y el extremo oriental de Brasil.

### Características generales del eclipse

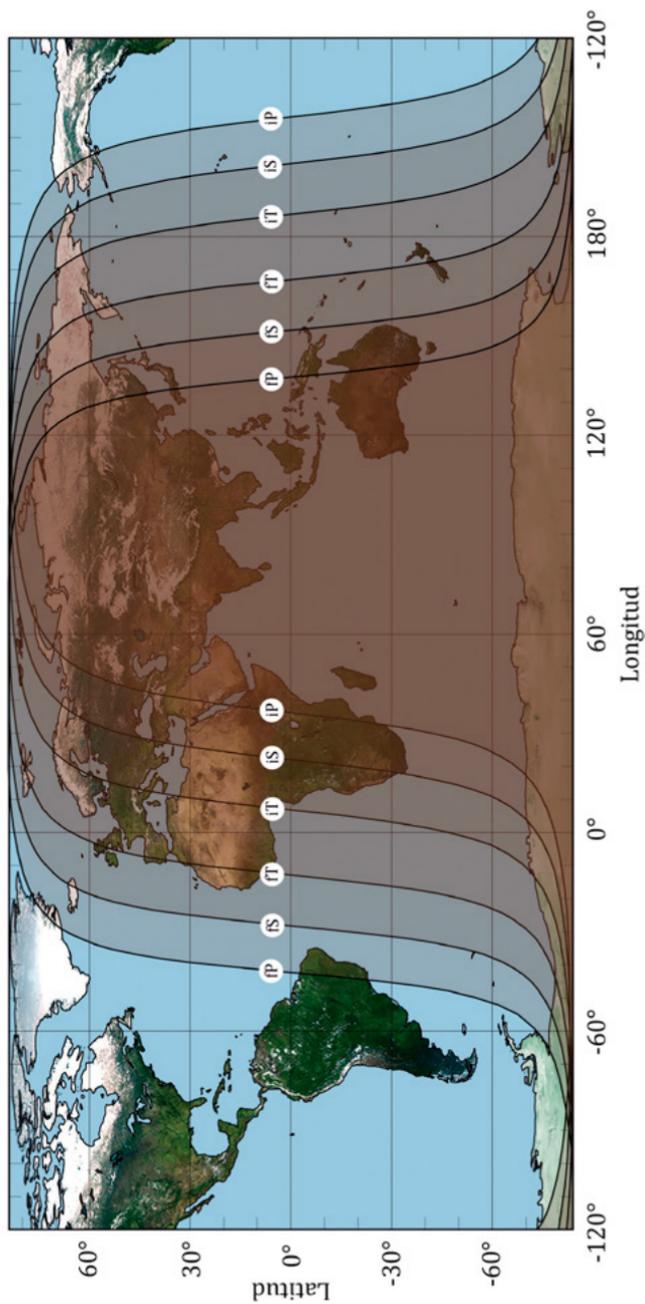
Fases	TU	Latitud	Long.(+E)	A.P.
Primer contacto con la penumbra	15 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	-6° 45'	125° 59'	52°
Primer contacto con la sombra	16 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	-6° 29'	111° 53'	46°
Inicio de la totalidad	17 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	-6° 12'	96° 34'	27°
Máximo del eclipse	18 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	-6° 00'	86° 44'	334°
Fin de la totalidad	18 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	-5° 49'	76° 54'	278°
Último contacto con la sombra	19 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	-5° 31'	61° 35'	257°
Último contacto con la penumbra	20 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	-5° 15'	47° 29'	252°
Duración del eclipse penumbral	5 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse parcial	3 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>			
Duración del eclipse total	1 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>			
Magnitud del eclipse de penumbra	2,34			
Magnitud del eclipse de sombra	1,36			

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	234%
Fracción de diámetro lunar inmersa en la sombra	136%
Distancia mínima entre el eje de la sombra de la Tierra y el centro de la Luna (en radios terrestres)	0,28

Eclipse total de Luna del día 7 de setiembre de 2025



## Eclipses de Luna en los próximos años

Fecha	Tipo	Duración (en min)	Dur. Totalidad (en min)	Magnitud
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			
2032 abril 25	total	211	66	1,19
2032 octubre 18	total	196	47	1,10
2033 abril 14	total	215	49	1,09
2033 octubre 8	total	202	78	1,35
2034 abril 3	penumbral			
2034 setiembre 28	parcial	147		0,01
2035 febrero 22	penumbral			
2035 agosto 19	parcial	77		0,10

*Duración* se refiere a la de contacto con la sombra.

El próximo eclipse **total** de Luna visible en España será el 31 de diciembre de 2028.

### 1.7. Tránsitos

Se denomina *tránsito* al paso aparente de un planeta por delante de la superficie del Sol. Desde un planeta dado solo se pueden ver los tránsitos de los planetas más interiores a él en el sistema solar. Los observadores terrestres podemos ver los tránsitos de Mercurio, a razón de trece por siglo, y de Venus, a razón de trece por milenio.

La rareza de estos fenómenos viene dada por la ligera inclinación que tiene la órbita de cada uno de los planetas con respecto de la de los demás, suficiente para que en la mayoría de ocasiones el planeta no sea visto pasar por delante del disco solar. En el caso particular de un observador en la Tierra, una dificultad añadida proviene de la gran inclinación de las órbitas de Mercurio y Venus, las mayores entre los planetas del sistema solar. La inclinación es de  $7^{\circ}0'$  en el caso de Mercurio y de  $3^{\circ}4'$  en el caso de Venus. En este último caso, la mayor distancia media del planeta al Sol produce una mayor amplitud en sus cruces con el Sol (conjunciones inferiores), siendo de  $17^{\circ}5'$  en el caso de Venus y de  $8^{\circ}8'$  para Mercurio, en promedio.

Para que se produzca un tránsito debe ocurrir que la conjunción inferior del planeta interior (es decir, cuando dicho planeta pasa entre la Tierra y el Sol) ocurra cuando se encuentra en uno de sus nodos orbitales, aquellos puntos de su órbita en que cruza el plano de la órbita de la Tierra. Solo en este caso Sol, planeta y Tierra estarán prácticamente en línea recta y se podrá ver pasar el planeta por delante del disco del Sol. Conviene recordar que el Sol tiene solo medio grado de diámetro. El número de conjunciones inferiores por siglo de estos planetas es de 315 en el caso de Mercurio y de 62 o 63 para Venus. Con solo considerar estos dos factores, amplitud del movimiento en latitud eclíptica y conjunciones inferiores, deducimos que la posibilidad de tránsito de Mercurio es diez veces mayor que para Venus.

#### Tránsitos en los próximos años

Fecha	Planeta	Inmersión ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Emersión ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	Mínima dist. "
2032 noviembre 13	Mercurio	6 41	11 07	572
2039 noviembre 7	Mercurio	7 17	10 15	822
2049 mayo 7	Mercurio	11 03	17 44	512
2052 noviembre 9/10	Mercurio	23 53	5 06	319
2062 mayo 10/11	Mercurio	18 16	0 57	520
2065 noviembre 11	Mercurio	17 24	22 48	181
2078 noviembre 14	Mercurio	11 42	15 39	674
2085 noviembre 07	Mercurio	11 42	15 26	718
2095 mayo 8/9	Mercurio	17 20	0 50	310
2098 noviembre 10	Mercurio	4 35	9 57	215
2108 mayo 12	Mercurio	1 40	6 52	725
2111 noviembre 14/15	Mercurio	22 15	3 30	283
2117 diciembre 11/12	Venus	23 58	5 38	724

La última columna corresponde a la mínima distancia entre el planeta y el Sol.

12

11

10

9

8

AB OCASV

The background image shows a close-up of a stone wall. A grid of thin red lines is drawn over the stone blocks. Handwritten numbers in red and black ink are scattered across the grid. At the top, a horizontal yellow bar is visible. The text 'CAPÍTULO 2' is positioned in the upper right area, and the main title 'La medida del tiempo' is centered in the upper right quadrant.

CAPÍTULO 2

# La medida del tiempo



Reloj de Sol situado en el claustro del Real Monasterio de Santa María de El Pualar (Rascafría, Madrid). Señala las horas babilónicas (desde el orto del Sol) e itálicas (las que faltan para el ocaso).

## 2.1. 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 esta. 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 solo 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 $\approx$ TDT $\approx$ 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  $\approx$  TU en  $\sim$ 1900, TAI  $\approx$  TU en 1958), los orígenes de las escalas de TE y TAI son ligeramente distintos. TE y TAI difieren en un valor constante:

$$TE = TAI + 32^s184.$$

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 estos 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:

$$TDB \approx TDT + 0^s00166 \text{ sen } (0^{\circ}9856 d - 4^{\circ}).$$

Estas escalas están en uso oficial desde 1984. En 1991 la Unión Astronómica Internacional (UAI) introdujo unas nuevas escalas de tiempo que complementan las anteriores en cuanto que se refieren al tiempo propio en las coordenadas espacio-temporales que les corresponde. Se denominan Tiempo 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 86 400ava parte del día solar medio fue abandonada en 1960 y sustituida por la del segundo de efemérides antes citado y, actualmente, por el segundo dado por los relojes atómicos.

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

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

De una manera aproximada, para el año (incluyendo fracción)  $A$  se puede calcular:

$$TT-UT1 = 69^s3 + 0^s14 (A-2020) - 0^s032 (A-2020)^2,$$

expresión válida entre 2014 y 2025.

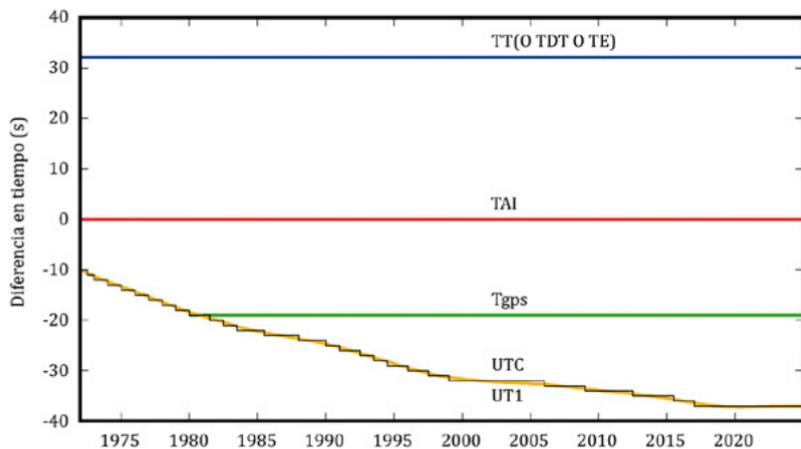
El Servicio Internacional de la Rotación Terrestre y de los Sistemas de Referencia (IERS) proporciona periódicamente los valores medidos y las predicciones de la diferencia  $TT-UT1$ .

## Escala de difusión mundial: UTC

La escala de tiempo utilizada en la práctica se originó en la escala de TU, pues se basa en el tiempo solar medio y precedió históricamente al TAI. Sin embargo, dadas las variaciones no predecibles de la escala de TU respecto de una escala uniforme, continua y precisa como es el TAI, en 1972 se adoptó como base para los tiempos legales la escala de Tiempo Universal Coordinado (UTC) que supone un compromiso entre ambas escalas. En cada instante el UTC difiere del TAI en un número entero de segundos y difiere del UT1 en menos de un segundo. Dado que la diferencia entre TAI y UT1 se incrementa a razón de una

fracción de segundo por año, ocasionalmente resulta necesario retocar la escala del UTC en exactamente  $1^s$ ; ello suele hacerse “repiteando” 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
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	69 <sup>s</sup> 36		
2022 Ene 1	69 <sup>s</sup> 29		
2023 Ene 1	69 <sup>s</sup> 20		
2024 Ene 1	69 <sup>s</sup> 18		
2025 Ene 1 (pred.)	69 <sup>s</sup> 13		
2026 Ene 1 (pred.)	69 <sup>s</sup> 08		

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 2017 hasta 2026.

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 este 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 solo 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 1,52 y se denomina *ecuación de los equinoccios*:

$$EcEq = \theta_v - \theta_m$$

$$EcEq \simeq -1,505 \text{ sen}(344^\circ - 0,052954 DJ) - 0,08 \text{ sen}(123^\circ + 1,9713 DJ)$$

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:

$$\begin{aligned} \theta_v &= 6^h 697\,374 + 0^h 065709824 (DJ_{0^h} - 2\,451\,545) + EcEq + \\ &+ 1,0027379093 UT1 + \lambda_E \end{aligned}$$

donde los dos primeros sumandos dan el tiempo sidéreo medio en Greenwich a 0h 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

$$\theta_v - EcEq - 6^h 745117 - 0^h 065709824 (DJ_{0^h} - 2\,450\,450) - \lambda_E$$

se expresa el resultado entre  $0^h$  y  $24^h$ , se suman  $24^h$  si es necesario y a continuación se multiplica por 0,9972695663.

La duración de un día sidéreo medio es de  $23^h56^m04^s0905$ . El periodo de rotación de la Tierra respecto de las estrellas, en que se prescinde del efecto de la precesión del equinoccio, es de  $23^h56^m04^s0989$ .

## 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 (86 400 segundos) puede ser de hasta 30 segundos. El *tiempo solar verdadero* puede ser determinado por observación del Sol y fue la base de las efemérides astronómicas publicadas hasta mediados del siglo XIX, siendo sustituido por el *tiempo solar medio*.

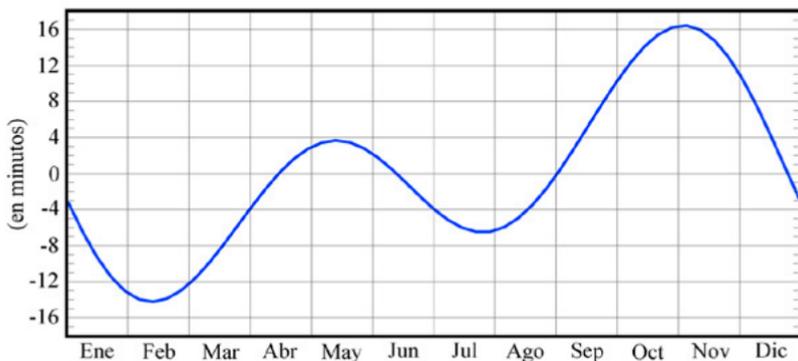
Se denomina *tiempo solar (local) medio* al que se obtiene considerando un Sol "ficticio" que se mueve en el plano del ecuador de manera que su ángulo horario varíe de manera uniforme, coincidiendo con el movimiento medio del Sol verdadero. La diferencia entre el tiempo solar verdadero y el medio se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

*Ec.Tiempo* = tiempo solar verdadero – tiempo solar medio

$$\text{Ec.Tiempo} = 596^s \text{sen}(200^\circ + 1,9713 d) + 441^s \text{sen}(175^\circ + 0,9856 d)$$

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.

## Ecuación de tiempo



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:

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

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

## Emisores de señales de tiempo

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

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

Emisoras de señales horarias con emisión continua

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

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***.

### Relaciones válidas en el año

Días desde el inicio de siglo = 8766 + día del año

Días hasta el fin de siglo = 27 758 – día del año

Día juliano = 2 460 675,5 + día del año +  $TU/24^h$

Día juliano modificado = 60 675 + día del año +  $TU/24^h$

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

$$T = (J2025.5 - J2000.0)/36 525 = 0,255$$

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

$$\theta_{med} = 6^h 660 928 + 0^h 065709825 d + 1,00273791 TU + \lambda_E$$

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

Ecuación de los equinoccios =  $0^s 02 + 0^s 00070 d$  (error <  $0^s 1$ )

## 2.2. 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 esta 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 solo 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  $-7^\circ,5$  y  $+7^\circ,5$ . Con esta división se pretende favorecer que cada país adopte como tiempo oficial el correspondiente al huso en que se encuentra la mayor parte del país (tiempo legal). De esta manera, la diferencia entre el tiempo oficial de distintos países (o entre distintas zonas de un mismo país muy extenso) sería de un número entero de horas. Este sistema se complementa con una *línea internacional de cambio de fecha*, que zigzaguea alrededor del meridiano  $180^\circ$ . 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, Kazajstán, México, Mongolia, 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 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<sup>h</sup> en todos los casos (salvo en la isla Lord Howe). La mayoría de países europeos, incluido el Reino Unido, adelantan en una hora el tiempo oficial durante unos siete meses, desde el último domingo de marzo al último de octubre. En un proceso de uniformización del horario europeo, a partir de otoño de 1996 los países europeos pasaron a cambiar la hora en la madrugada del último domingo de octubre, en lugar del último de setiembre como solía ser. La mayoría de estados en Estados Unidos y Canadá adelantan su tiempo oficial desde el primer domingo de abril al último de octubre. En algunos países del hemisferio sur también hay un cambio de horario en una hora, en general entre los meses de octubre y marzo. Actualmente unos 70 países del mundo adoptan un horario adelantado durante parte del año en algunos de sus territorios.

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 y Baleares) y Chile el día 1 de enero es de 4 horas: en la península y Baleares está en vigor el horario de invierno ( $TU + 1^h + 0^h$ ), mientras que en Chile lo está el de verano ( $TU - 4^h + 1^h$ ).

El uso de los datos aquí reseñados debe hacerse con reserva por varias razones. Muchos países cambian de horario durante el año (lo que hemos indicado con un asterisco \*). Además, en cualquier momento los gobiernos pueden tanto modificar el tiempo oficial en su país, como instaurar o eliminar la adopción de un horario adelantado durante parte del año. Por ejemplo, en octubre de 2022 Fiji anuló el cambio horario que se iba a producir el 13 de noviembre del mismo año.

### 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>	Irlanda*; Islandia; Portugal*; Reino Unido*; I. Canarias* (España); I. Feroe* (Dinamarca); I. Madeira* (Portugal)

**Tiempo oficial referido al Tiempo Universal**

TO-TU	Países o regiones
+ 1 <sup>h</sup>	Albania*; Alemania*; Andorra*; Austria*; Bélgica*; Bosnia y Herzegovina*; Ciudad del Vaticano*; Croacia*; Dinamarca*; Eslovaquia*; Eslovenia*; España* (península y Baleares); Francia*; Hungría*; Italia*; Kosovo*; Liechtenstein*; Luxemburgo*; Macedonia del Norte*; Malta*; Mónaco*; Montenegro*; Noruega*; Países Bajos*; Polonia*; R. Checa*; San Marino*; Serbia*; Suecia*; Suiza*; I. Jan Mayen*, Spitzberg* y Svalbarad* (Noruega); Gibraltar* (RU)
+ 2 <sup>h</sup>	Bulgaria*; Chipre*; Estonia*; Finlandia*; Grecia*; Letonia*; Lituania*; Moldavia*; Rumania*; Rusia (hora de Kaliningrado); Ucrania* (excepto Crimea, Donetsk y Lugansk)
+ 3 <sup>h</sup>	Bielorrusia; Rusia (hora de Moscú); Ucrania (Crimea, Donetsk y Lugansk)

**ÁFRICA**

- 1 <sup>h</sup>	Cabo Verde
+ 0 <sup>h</sup>	Burkina Faso; Costa de Marfil; Gambia; Ghana; Guinea; Guinea Bissau; Liberia; Mali; Mauritania; Santo Tomé y Príncipe; Senegal; Sierra Leona; Togo; I. Ascensión, Santa Elena y Tristán de Acuña (RU)
+ 1 <sup>h</sup>	Angola; Argelia; Benin; Camerún; Congo; Chad; Gabón; Guinea Ecuatorial; Marruecos*; Níger; Nigeria; R. Centroafricana; R.D. Congo (hora de África Occidental); Sahara Occidental*; Túnez
+ 2 <sup>h</sup>	Botswana; Burundi; Egipto; Eswatini; Lesotho; Libia; Malawi; Mozambique; Namibia; R.D. Congo (hora de África Central); Rwanda; Sudáfrica; Sudán; Sudán del Sur; Zambia; Zimbabwe
+ 3 <sup>h</sup>	Comoras; Djibouti; Eritrea; Etiopía; Kenia; Madagascar; Somalia; Tanzania; Uganda; I. Mayotte (Fr.)
+ 4 <sup>h</sup>	Mauricio; Seychelles; I. Reunión (Fr.)

**ASIA**

+ 2 <sup>h</sup>	Israel*; Jordania*; Líbano*; Palestina*; Siria*
+ 3 <sup>h</sup>	Arabia Saudí; Bahrein; Iraq; Kuwait; Qatar; Turquía; Yemen
+ 3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Irán*
+ 4 <sup>h</sup>	Armenia; Azerbaiyán; Emiratos Árabes Unidos; Georgia; Omán; Rusia (hora de Samara)
+ 4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Afganistán
+ 5 <sup>h</sup>	Kazajistán (Aktau, Aktobe); Maldivas; Pakistán; Rusia (hora de Ekaterimburgo); Tayikistán; Turkmenistán; Uzbekistán
+ 5 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	India; Sri Lanka; I. Andamán y Nicobar (India)
+ 5 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	Nepal

### Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO-TU	Países o regiones
+ 6 <sup>h</sup>	Bangladesh; Bhután; Kazajstán (Almatý, Astaná); Kirguistán; Rusia (hora de Omsk)
+ 6 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Myanmar; I. Cocos (Australia)
+ 7 <sup>h</sup>	Camboya; Indonesia (zona horaria occidental); Laos; Mongolia (Hovd); Rusia (hora de Krasnoyarsk y Novosibirsk); Tailandia; Vietnam
+ 8 <sup>h</sup>	Brunei Darussalam; China; Filipinas; Hong Kong (China); Indonesia (zona horaria central); Macao (China); Malasia; Mongolia (Choibalsan, Ulaanbaatar); Rusia (hora de Irkutsk); Singapur; Taiwán
+ 9 <sup>h</sup>	R. de Corea; R. Popular Democrática de Corea; Indonesia (zona horaria oriental); Japón; Rusia (hora de Yakutsk); Timor Oriental
+ 10 <sup>h</sup>	Rusia (hora de Vladivostok); I. Bonin (Japón)
+ 11 <sup>h</sup>	Rusia (hora de Magadán y Srednekolimsk)
+ 12 <sup>h</sup>	Rusia (hora de Kamchatka)

### OCEANÍA

+ 7 <sup>h</sup>	I. Christmas (Australia)
+ 8 <sup>h</sup>	Australia (Occidental)
+ 8 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	Australia (Eucla)
+ 9 <sup>h</sup>	Palaos
+ 9 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Australia (Meridional* y Territorio del Norte)
+ 10 <sup>h</sup>	Australia (Queensland, Territorio de la Capital Australiana*, N. Gales del Sur*, Tasmania*, Victoria*); Micronesia (Yap, Chuuk); Papúa Nueva Guinea; Guam (EEUU); Marianas del Norte (EEUU)
+ 10 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	I. Lord Howe* (Australia)
+ 11 <sup>h</sup>	Islas Salomón; Micronesia (Pohnpei, Kosrae); Vanuatu; I. Norfolk* (Australia); Nueva Caledonia (Fr.)
+ 12 <sup>h</sup>	Fiji*; Islas Marshall; Kiribati (I. Gilbert); Nauru; Nueva Zelanda*; Tuvalu; I. Wallis y Futuna (Fr.)
+ 12 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	I. Chatham* (Nueva Zelanda)
+ 13 <sup>h</sup>	Kiribati (I. Fenix); Samoa; Tonga
+ 14 <sup>h</sup>	Kiribati (I. Línea)
- 11 <sup>h</sup>	Niue (Nueva Zelanda); Samoa americana (EEUU)
- 10 <sup>h</sup>	Cook (Nueva Zelanda); Hawaii (EEUU); I. Sociedad, Tuamotu y Australes (Fr.)
- 9 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	I. Marquesas (Fr.)
- 9 <sup>h</sup>	I. Gambier (Fr.)
- 8 <sup>h</sup>	I. Pitcairn (RU)

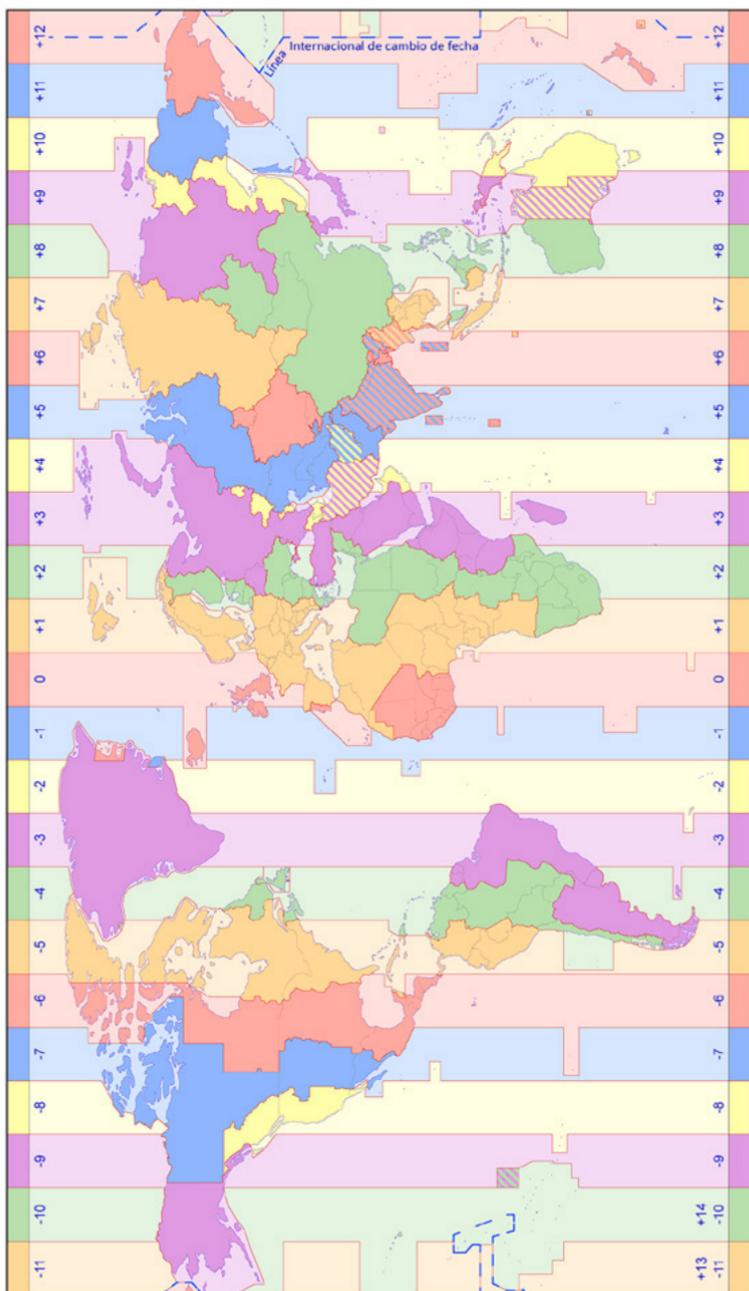
### Tiempo oficial referido al Tiempo Universal

TO-TU	Países o regiones
<b>AMÉRICA</b>	
- 10 <sup>h</sup>	EEUU (I. Aleutianas* al oeste de -169°5)
- 9 <sup>h</sup>	EEUU (Alaska* e I. Aleutianas* al este de -169°5)
- 8 <sup>h</sup>	Canadá (zona horaria Pacífico*); EEUU (zona horaria Pacífico*); México (zona horaria Noroeste*)
- 7 <sup>h</sup>	Canadá (zona horaria Montaña*); EEUU (zona horaria Montaña*); México (zona horaria Pacífico*)
- 6 <sup>h</sup>	Belice; Canadá (zona horaria Central*); Costa Rica; El Salvador; EEUU (zona horaria Central*); Guatemala; Honduras; México (zona horaria Centro*); Nicaragua; I. Galápagos (Ecuador); I. de Pascua* (Chile); I. Salas y Gómez* (Chile)
- 5 <sup>h</sup>	Bahamas*; Brasil (Acre); Canadá (zona horaria Este*); Colombia; Cuba*; Ecuador; EEUU (zona horaria Este*); Haití*; Jamaica; México (zona horaria Sureste); Panamá; Perú; I. Caimán (RU); I. Turcas y Caicos* (RU)
- 4 <sup>h</sup>	Antigua y Barbuda; Barbados; Bolivia; Brasil (Mato Grosso y Noroeste); Canadá (zona horaria Atlántico*); Chile*; Dominica; R. Dominicana; Granada; Guyana; Paraguay*; San Cristóbal y Nieves; San Vicente y las Granadinas; Santa Lucía; Trinidad y Tobago; Venezuela; Anguila (RU); Antillas Francesas (Fr.); Antillas Holandesas (Países Bajos); Bermudas* (RU); I. Desventuradas (Chile)*; I. Juan Fernández (Chile)*; Montserrat (RU); Puerto Rico (EEUU); Thule* (Groenlandia, Dinamarca); I. Vírgenes Británicas (RU); I. Vírgenes de los Estados Unidos (EEUU);
- 3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Canadá (zona horaria Terranova*)
- 3 <sup>h</sup>	Argentina; Brasil (Noreste y Sureste); Surinam; Uruguay; Groenlandia* (Dinamarca); Guayana francesa (Fr.); I. Malvinas (RU); Región de Magallanes (Chile); I. de San Pedro y Miquelón* (Fr.)
- 2 <sup>h</sup>	I. Fernando do Noronha (Brasil); I. Georgias del Sur y Sandwich del Sur (RU)
- 1 <sup>h</sup>	Scorebysund* (Groenlandia, Dinamarca)
+ 0 <sup>h</sup>	Danmarkshavn (Groenlandia, Dinamarca)

La mayor parte de esta información se refiere al tiempo oficial en vigor el día 1 de septiembre de 2022.

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

Mapa de husos horarios



## La hora en España

Todos los tiempos en el ANUARIO vienen 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, aunque todavía no hay una decisión firme.

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

**2025** Domingos 30 de marzo y 26 de octubre.

**2026** Domingos 29 de marzo y 25 de octubre.

## 2.3. Tablas de tiempos

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

### Enero 2025

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	M	1	2460676,5	06	43	35,908	+0,012	-03	26	
2	J	2	2460677,5	06	47	32,471	+0,020	-03	54	
3	V	3	2460678,5	06	51	29,031	+0,024	-04	22	
4	S	4	2460679,5	06	55	25,587	+0,025	-04	50	
5	D	5	2460680,5	06	59	22,140	+0,022	-05	17	
6	L	6	2460681,5	07	03	18,692	+0,019	-05	43	
7	M	7	2460682,5	07	07	15,244	+0,015	-06	10	
8	M	8	2460683,5	07	11	11,798	+0,014	-06	35	
9	J	9	2460684,5	07	15	08,355	+0,016	-07	00	
10	V	10	2460685,5	07	19	04,917	+0,022	-07	25	
11	S	11	2460686,5	07	23	01,482	+0,032	-07	49	
12	D	12	2460687,5	07	26	58,049	+0,043	-08	12	
13	L	13	2460688,5	07	30	54,615	+0,055	-08	35	
14	M	14	2460689,5	07	34	51,180	+0,064	-08	57	
15	M	15	2460690,5	07	38	47,742	+0,071	-09	18	
16	J	16	2460691,5	07	42	44,300	+0,073	-09	39	
17	V	17	2460692,5	07	46	40,855	+0,073	-09	59	
18	S	18	2460693,5	07	50	37,407	+0,070	-10	18	
19	D	19	2460694,5	07	54	33,958	+0,065	-10	37	
20	L	20	2460695,5	07	58	30,509	+0,061	-10	55	
21	M	21	2460696,5	08	02	27,060	+0,057	-11	12	
22	M	22	2460697,5	08	06	23,614	+0,055	-11	29	
23	J	23	2460698,5	08	10	20,169	+0,055	-11	44	
24	V	24	2460699,5	08	14	16,727	+0,058	-11	59	
25	S	25	2460700,5	08	18	13,288	+0,063	-12	14	
26	D	26	2460701,5	08	22	09,851	+0,071	-12	27	
27	L	27	2460702,5	08	26	06,415	+0,080	-12	40	
28	M	28	2460703,5	08	30	02,979	+0,088	-12	52	
29	M	29	2460704,5	08	33	59,542	+0,095	-13	03	
30	J	30	2460705,5	08	37	56,101	+0,099	-13	13	
31	V	31	2460706,5	08	41	52,656	+0,099	-13	22	

## Febrero 2025

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	S	32	2460707,5	08	45	49,208	+0,095	-13	31
2	D	33	2460708,5	08	49	45,757	+0,089	-13	38
3	L	34	2460709,5	08	53	42,306	+0,083	-13	45
4	M	35	2460710,5	08	57	38,857	+0,079	-13	51
5	M	36	2460711,5	09	01	35,412	+0,078	-13	57
6	J	37	2460712,5	09	05	31,970	+0,081	-14	01
7	V	38	2460713,5	09	09	28,532	+0,087	-14	05
8	S	39	2460714,5	09	13	25,095	+0,095	-14	08
9	D	40	2460715,5	09	17	21,659	+0,103	-14	09
10	L	41	2460716,5	09	21	18,222	+0,111	-14	11
11	M	42	2460717,5	09	25	14,781	+0,115	-14	11
12	M	43	2460718,5	09	29	11,338	+0,116	-14	11
13	J	44	2460719,5	09	33	07,891	+0,114	-14	10
14	V	45	2460720,5	09	37	04,441	+0,109	-14	08
15	S	46	2460721,5	09	41	00,990	+0,102	-14	05
16	D	47	2460722,5	09	44	57,538	+0,095	-14	02
17	L	48	2460723,5	09	48	54,086	+0,088	-13	58
18	M	49	2460724,5	09	52	50,636	+0,082	-13	53
19	M	50	2460725,5	09	56	47,188	+0,079	-13	48
20	J	51	2460726,5	10	00	43,743	+0,078	-13	42
21	V	52	2460727,5	10	04	40,300	+0,080	-13	35
22	S	53	2460728,5	10	08	36,859	+0,084	-13	28
23	D	54	2460729,5	10	12	33,420	+0,089	-13	20
24	L	55	2460730,5	10	16	29,982	+0,095	-13	11
25	M	56	2460731,5	10	20	26,542	+0,100	-13	02
26	M	57	2460732,5	10	24	23,100	+0,103	-12	53
27	J	58	2460733,5	10	28	19,654	+0,102	-12	42
28	V	59	2460734,5	10	32	16,205	+0,097	-12	32

Algunas fechas julianas notables son:

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

## Marzo 2025

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	S	60	2460735,5	10	36	12,753	+0,089	-12	20
2	D	61	2460736,5	10	40	09,299	+0,081	-12	09
3	L	62	2460737,5	10	44	05,847	+0,073	-11	56
4	M	63	2460738,5	10	48	02,398	+0,069	-11	44
5	M	64	2460739,5	10	51	58,954	+0,069	-11	31
6	J	65	2460740,5	10	55	55,512	+0,073	-11	17
7	V	66	2460741,5	10	59	52,074	+0,078	-11	03
8	S	67	2460742,5	11	03	48,636	+0,085	-10	48
9	D	68	2460743,5	11	07	45,197	+0,091	-10	33
10	L	69	2460744,5	11	11	41,755	+0,094	-10	18
11	M	70	2460745,5	11	15	38,310	+0,094	-10	02
12	M	71	2460746,5	11	19	34,862	+0,090	-09	47
13	J	72	2460747,5	11	23	31,412	+0,084	-09	30
14	V	73	2460748,5	11	27	27,959	+0,076	-09	14
15	S	74	2460749,5	11	31	24,505	+0,067	-08	57
16	D	75	2460750,5	11	35	21,052	+0,058	-08	40
17	L	76	2460751,5	11	39	17,599	+0,050	-08	23
18	M	77	2460752,5	11	43	14,149	+0,045	-08	05
19	M	78	2460753,5	11	47	10,701	+0,042	-07	48
20	J	79	2460754,5	11	51	07,256	+0,041	-07	30
21	V	80	2460755,5	11	55	03,814	+0,043	-07	12
22	S	81	2460756,5	11	59	00,373	+0,047	-06	55
23	D	82	2460757,5	12	02	56,933	+0,052	-06	37
24	L	83	2460758,5	12	06	53,492	+0,056	-06	19
25	M	84	2460759,5	12	10	50,050	+0,058	-06	01
26	M	85	2460760,5	12	14	46,605	+0,058	-05	42
27	J	86	2460761,5	12	18	43,157	+0,054	-05	24
28	V	87	2460762,5	12	22	39,705	+0,047	-05	06
29	S	88	2460763,5	12	26	36,251	+0,038	-04	48
30	D	89	2460764,5	12	30	32,798	+0,029	-04	30
31	L	90	2460765,5	12	34	29,347	+0,023	-04	13

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 2 400 000,5 días al día juliano que figura en la tabla. Se inicia a medianoche, lo cual resulta más conveniente en ciertas aplicaciones. Se suele designar por DJM o, por sus siglas en inglés, MJD.

## Abril 2025

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	91	2460766,5	12	38	25,901	+0,021	-03	55
2	M	92	2460767,5	12	42	22,459	+0,024	-03	37
3	J	93	2460768,5	12	46	19,021	+0,030	-03	19
4	V	94	2460769,5	12	50	15,583	+0,038	-03	02
5	S	95	2460770,5	12	54	12,145	+0,044	-02	45
6	D	96	2460771,5	12	58	08,705	+0,048	-02	28
7	L	97	2460772,5	13	02	05,261	+0,049	-02	11
8	M	98	2460773,5	13	06	01,814	+0,047	-01	54
9	M	99	2460774,5	13	09	58,364	+0,042	-01	37
10	J	100	2460775,5	13	13	54,913	+0,035	-01	21
11	V	101	2460776,5	13	17	51,460	+0,026	-01	05
12	S	102	2460777,5	13	21	48,007	+0,018	-00	49
13	D	103	2460778,5	13	25	44,555	+0,011	-00	34
14	L	104	2460779,5	13	29	41,105	+0,006	-00	19
15	M	105	2460780,5	13	33	37,658	+0,003	-00	04
16	M	106	2460781,5	13	37	34,213	+0,003	+00	10
17	J	107	2460782,5	13	41	30,771	+0,005	+00	24
18	V	108	2460783,5	13	45	27,330	+0,009	+00	38
19	S	109	2460784,5	13	49	23,891	+0,015	+00	51
20	D	110	2460785,5	13	53	20,452	+0,020	+01	04
21	L	111	2460786,5	13	57	17,011	+0,024	+01	17
22	M	112	2460787,5	14	01	13,568	+0,026	+01	28
23	M	113	2460788,5	14	05	10,122	+0,025	+01	40
24	J	114	2460789,5	14	09	06,673	+0,020	+01	51
25	V	115	2460790,5	14	13	03,222	+0,013	+02	01
26	S	116	2460791,5	14	16	59,769	+0,006	+02	11
27	D	117	2460792,5	14	20	56,319	+0,000	+02	21
28	L	118	2460793,5	14	24	52,873	-0,002	+02	30
29	M	119	2460794,5	14	28	49,431	+0,001	+02	38
30	M	120	2460795,5	14	32	45,994	+0,009	+02	46

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

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

$$\text{tiempo solar verdadero} = \text{tiempo solar medio} + \text{ecuación de tiempo}$$

## Mayo 2025

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	J	121	2460796,5	14	36	42,559	+0,018	+02	53
2	V	122	2460797,5	14	40	39,124	+0,028	+03	00
3	S	123	2460798,5	14	44	35,687	+0,036	+03	07
4	D	124	2460799,5	14	48	32,247	+0,040	+03	13
5	L	125	2460800,5	14	52	28,803	+0,041	+03	18
6	M	126	2460801,5	14	56	25,356	+0,039	+03	23
7	M	127	2460802,5	15	00	21,907	+0,034	+03	27
8	J	128	2460803,5	15	04	18,456	+0,028	+03	30
9	V	129	2460804,5	15	08	15,006	+0,022	+03	34
10	S	130	2460805,5	15	12	11,556	+0,017	+03	36
11	D	131	2460806,5	15	16	08,108	+0,013	+03	38
12	L	132	2460807,5	15	20	04,662	+0,012	+03	39
13	M	133	2460808,5	15	24	01,219	+0,014	+03	40
14	M	134	2460809,5	15	27	57,778	+0,018	+03	41
15	J	135	2460810,5	15	31	54,340	+0,024	+03	40
16	V	136	2460811,5	15	35	50,902	+0,031	+03	39
17	S	137	2460812,5	15	39	47,465	+0,039	+03	38
18	D	138	2460813,5	15	43	44,027	+0,046	+03	36
19	L	139	2460814,5	15	47	40,587	+0,050	+03	33
20	M	140	2460815,5	15	51	37,144	+0,052	+03	30
21	M	141	2460816,5	15	55	33,698	+0,050	+03	26
22	J	142	2460817,5	15	59	30,250	+0,046	+03	22
23	V	143	2460818,5	16	03	26,800	+0,041	+03	17
24	S	144	2460819,5	16	07	23,351	+0,037	+03	12
25	D	145	2460820,5	16	11	19,905	+0,035	+03	06
26	L	146	2460821,5	16	15	16,463	+0,038	+03	00
27	M	147	2460822,5	16	19	13,026	+0,046	+02	53
28	M	148	2460823,5	16	23	09,593	+0,057	+02	45
29	J	149	2460824,5	16	27	06,161	+0,070	+02	38
30	V	150	2460825,5	16	31	02,728	+0,081	+02	29
31	S	151	2460826,5	16	34	59,291	+0,090	+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 2025

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	D	152	2460827,5	16	38	55,851	+0,094	+02	12
2	L	153	2460828,5	16	42	52,408	+0,095	+02	02
3	M	154	2460829,5	16	46	48,961	+0,093	+01	53
4	M	155	2460830,5	16	50	45,513	+0,090	+01	42
5	J	156	2460831,5	16	54	42,064	+0,085	+01	32
6	V	157	2460832,5	16	58	38,615	+0,081	+01	21
7	S	158	2460833,5	17	02	35,168	+0,079	+01	10
8	D	159	2460834,5	17	06	31,724	+0,079	+00	59
9	L	160	2460835,5	17	10	28,282	+0,082	+00	47
10	M	161	2460836,5	17	14	24,842	+0,087	+00	36
11	M	162	2460837,5	17	18	21,405	+0,095	+00	23
12	J	163	2460838,5	17	22	17,970	+0,103	+00	11
13	V	164	2460839,5	17	26	14,534	+0,113	-00	01
14	S	165	2460840,5	17	30	11,098	+0,121	-00	14
15	D	166	2460841,5	17	34	07,660	+0,127	-00	26
16	L	167	2460842,5	17	38	04,219	+0,131	-00	39
17	M	168	2460843,5	17	42	00,774	+0,131	-00	52
18	M	169	2460844,5	17	45	57,328	+0,129	-01	05
19	J	170	2460845,5	17	49	53,879	+0,125	-01	18
20	V	171	2460846,5	17	53	50,431	+0,122	-01	31
21	S	172	2460847,5	17	57	46,984	+0,120	-01	45
22	D	173	2460848,5	18	01	43,542	+0,122	-01	58
23	L	174	2460849,5	18	05	40,104	+0,129	-02	11
24	M	175	2460850,5	18	09	36,670	+0,139	-02	24
25	M	176	2460851,5	18	13	33,238	+0,152	-02	37
26	J	177	2460852,5	18	17	29,806	+0,165	-02	50
27	V	178	2460853,5	18	21	26,372	+0,175	-03	02
28	S	179	2460854,5	18	25	22,934	+0,182	-03	15
29	D	180	2460855,5	18	29	19,492	+0,185	-03	27
30	L	181	2460856,5	18	33	16,047	+0,184	-03	39

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:

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

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

## Julio 2025

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	M	182	2460857,5	18	37	12,599	+0,181	-03	51
2	M	183	2460858,5	18	41	09,151	+0,177	-04	03
3	J	184	2460859,5	18	45	05,702	+0,173	-04	14
4	V	185	2460860,5	18	49	02,255	+0,171	-04	25
5	S	186	2460861,5	18	52	58,810	+0,170	-04	35
6	D	187	2460862,5	18	56	55,367	+0,172	-04	45
7	L	188	2460863,5	19	00	51,927	+0,176	-04	55
8	M	189	2460864,5	19	04	48,489	+0,183	-05	05
9	M	190	2460865,5	19	08	45,052	+0,191	-05	14
10	J	191	2460866,5	19	12	41,617	+0,200	-05	22
11	V	192	2460867,5	19	16	38,181	+0,209	-05	31
12	S	193	2460868,5	19	20	34,743	+0,216	-05	38
13	D	194	2460869,5	19	24	31,302	+0,219	-05	46
14	L	195	2460870,5	19	28	27,858	+0,220	-05	52
15	M	196	2460871,5	19	32	24,411	+0,217	-05	59
16	M	197	2460872,5	19	36	20,962	+0,213	-06	04
17	J	198	2460873,5	19	40	17,512	+0,208	-06	10
18	V	199	2460874,5	19	44	14,064	+0,205	-06	15
19	S	200	2460875,5	19	48	10,619	+0,205	-06	19
20	D	201	2460876,5	19	52	07,179	+0,209	-06	23
21	L	202	2460877,5	19	56	03,742	+0,216	-06	26
22	M	203	2460878,5	20	00	00,308	+0,227	-06	29
23	M	204	2460879,5	20	03	56,875	+0,238	-06	31
24	J	205	2460880,5	20	07	53,440	+0,248	-06	32
25	V	206	2460881,5	20	11	50,002	+0,255	-06	33
26	S	207	2460882,5	20	15	46,560	+0,258	-06	34
27	D	208	2460883,5	20	19	43,115	+0,257	-06	33
28	L	209	2460884,5	20	23	39,666	+0,253	-06	33
29	M	210	2460885,5	20	27	36,216	+0,248	-06	31
30	M	211	2460886,5	20	31	32,766	+0,242	-06	29
31	J	212	2460887,5	20	35	29,316	+0,237	-06	26

Día de tiempo solar medio:

$$1^d = 24^h = 1440^m = 86\,400^s$$

Día de tiempo sidéreo medio:

$$1^d \text{ TSM} = 23^h 56^m 04^s,09053 =$$

$$= 86\,164^s,09053 = 0^d,99726956633$$

$$\frac{1 \text{ día solar medio}}{1 \text{ día sidéreo medio}} = 1,00273790935$$

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

## Agosto 2025

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	213	2460888,5	20	39	25,868	+0,234	-06	23
2	S	214	2460889,5	20	43	22,423	+0,233	-06	19
3	D	215	2460890,5	20	47	18,980	+0,235	-06	14
4	L	216	2460891,5	20	51	15,540	+0,239	-06	09
5	M	217	2460892,5	20	55	12,101	+0,245	-06	03
6	M	218	2460893,5	20	59	08,663	+0,252	-05	57
7	J	219	2460894,5	21	03	05,226	+0,259	-05	50
8	V	220	2460895,5	21	07	01,786	+0,264	-05	42
9	S	221	2460896,5	21	10	58,345	+0,267	-05	34
10	D	222	2460897,5	21	14	54,900	+0,267	-05	25
11	L	223	2460898,5	21	18	51,451	+0,263	-05	16
12	M	224	2460899,5	21	22	48,000	+0,257	-05	06
13	M	225	2460900,5	21	26	44,549	+0,250	-04	55
14	J	226	2460901,5	21	30	41,098	+0,244	-04	44
15	V	227	2460902,5	21	34	37,650	+0,240	-04	33
16	S	228	2460903,5	21	38	34,206	+0,241	-04	21
17	D	229	2460904,5	21	42	30,766	+0,246	-04	08
18	L	230	2460905,5	21	46	27,329	+0,253	-03	55
19	M	231	2460906,5	21	50	23,893	+0,262	-03	42
20	M	232	2460907,5	21	54	20,456	+0,269	-03	28
21	J	233	2460908,5	21	58	17,017	+0,275	-03	13
22	V	234	2460909,5	22	02	13,574	+0,276	-02	58
23	S	235	2460910,5	22	06	10,127	+0,274	-02	43
24	D	236	2460911,5	22	10	06,677	+0,269	-02	27
25	L	237	2460912,5	22	14	03,225	+0,262	-02	11
26	M	238	2460913,5	22	17	59,772	+0,254	-01	54
27	M	239	2460914,5	22	21	56,320	+0,246	-01	37
28	J	240	2460915,5	22	25	52,870	+0,240	-01	19
29	V	241	2460916,5	22	29	49,421	+0,236	-01	02
30	S	242	2460917,5	22	33	45,975	+0,235	-00	43
31	D	243	2460918,5	22	37	42,532	+0,236	-00	25

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:	346 <sup>d</sup> 62005

## Setiembre 2025

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	244	2460919,5	22	41	39,090	+0,239	-00	06
2	M	245	2460920,5	22	45	35,650	+0,243	+00	13
3	M	246	2460921,5	22	49	32,210	+0,248	+00	33
4	J	247	2460922,5	22	53	28,769	+0,252	+00	52
5	V	248	2460923,5	22	57	25,327	+0,254	+01	13
6	S	249	2460924,5	23	01	21,881	+0,253	+01	33
7	D	250	2460925,5	23	05	18,432	+0,249	+01	53
8	L	251	2460926,5	23	09	14,980	+0,241	+02	14
9	M	252	2460927,5	23	13	11,526	+0,232	+02	35
10	M	253	2460928,5	23	17	08,073	+0,224	+02	56
11	J	254	2460929,5	23	21	04,623	+0,218	+03	17
12	V	255	2460930,5	23	25	01,176	+0,216	+03	38
13	S	256	2460931,5	23	28	57,734	+0,219	+03	59
14	D	257	2460932,5	23	32	54,295	+0,224	+04	21
15	L	258	2460933,5	23	36	50,857	+0,231	+04	42
16	M	259	2460934,5	23	40	47,419	+0,237	+05	04
17	M	260	2460935,5	23	44	43,979	+0,242	+05	25
18	J	261	2460936,5	23	48	40,535	+0,243	+05	46
19	V	262	2460937,5	23	52	37,088	+0,240	+06	08
20	S	263	2460938,5	23	56	33,637	+0,234	+06	29
21	D	264	2460939,5	00	00	30,185	+0,226	+06	50
22	L	265	2460940,5	00	04	26,731	+0,217	+07	12
23	M	266	2460941,5	00	08	23,277	+0,208	+07	33
24	M	267	2460942,5	00	12	19,825	+0,200	+07	54
25	J	268	2460943,5	00	16	16,375	+0,195	+08	14
26	V	269	2460944,5	00	20	12,927	+0,192	+08	35
27	S	270	2460945,5	00	24	09,482	+0,191	+08	55
28	D	271	2460946,5	00	28	06,039	+0,193	+09	16
29	L	272	2460947,5	00	32	02,598	+0,196	+09	36
30	M	273	2460948,5	00	35	59,157	+0,200	+09	56

Año juliano:

$$1 \text{ año} = 365^{\text{d}}25 = 8766^{\text{h}} = 525\,960^{\text{m}} = 31\,557\,600^{\text{s}}$$

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

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

## Octubre 2025

Día del mes	Día de la sem.	Día del año	Día juliano	Hora sidérea verdadera en Greenwich			Ecuación de equinoccios (ver.-med.) <i>s</i>	Ecuación de tiempo (v.-m.) <i>m s</i>	
				<i>h</i>	<i>m</i>	<i>s</i>			
1	M	274	2460949,5	00	39	55,716	+0,204	+10	15
2	J	275	2460950,5	00	43	52,274	+0,206	+10	34
3	V	276	2460951,5	00	47	48,829	+0,206	+10	53
4	S	277	2460952,5	00	51	45,381	+0,203	+11	12
5	D	278	2460953,5	00	55	41,930	+0,196	+11	30
6	L	279	2460954,5	00	59	38,476	+0,187	+11	48
7	M	280	2460955,5	01	03	35,023	+0,178	+12	06
8	M	281	2460956,5	01	07	31,571	+0,172	+12	23
9	J	282	2460957,5	01	11	28,124	+0,169	+12	40
10	V	283	2460958,5	01	15	24,681	+0,170	+12	56
11	S	284	2460959,5	01	19	21,242	+0,176	+13	12
12	D	285	2460960,5	01	23	17,805	+0,184	+13	28
13	L	286	2460961,5	01	27	14,368	+0,191	+13	42
14	M	287	2460962,5	01	31	10,929	+0,197	+13	57
15	M	288	2460963,5	01	35	07,487	+0,200	+14	10
16	J	289	2460964,5	01	39	04,041	+0,199	+14	24
17	V	290	2460965,5	01	43	00,592	+0,194	+14	36
18	S	291	2460966,5	01	46	57,141	+0,188	+14	48
19	D	292	2460967,5	01	50	53,689	+0,180	+14	59
20	L	293	2460968,5	01	54	50,236	+0,172	+15	10
21	M	294	2460969,5	01	58	46,784	+0,165	+15	20
22	M	295	2460970,5	02	02	43,335	+0,160	+15	30
23	J	296	2460971,5	02	06	39,888	+0,158	+15	38
24	V	297	2460972,5	02	10	36,443	+0,158	+15	46
25	S	298	2460973,5	02	14	33,001	+0,160	+15	54
26	D	299	2460974,5	02	18	29,561	+0,165	+16	00
27	L	300	2460975,5	02	22	26,121	+0,170	+16	06
28	M	301	2460976,5	02	26	22,682	+0,175	+16	11
29	M	302	2460977,5	02	30	19,241	+0,179	+16	16
30	J	303	2460978,5	02	34	15,799	+0,181	+16	19
31	V	304	2460979,5	02	38	12,354	+0,181	+16	22

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 2025

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	S	305	2460980,5	02	42	08,906	+0,177	+16	24
2	D	306	2460981,5	02	46	05,455	+0,171	+16	26
3	L	307	2460982,5	02	50	02,004	+0,164	+16	26
4	M	308	2460983,5	02	53	58,553	+0,158	+16	26
5	M	309	2460984,5	02	57	55,106	+0,156	+16	25
6	J	310	2460985,5	03	01	51,663	+0,158	+16	23
7	V	311	2460986,5	03	05	48,225	+0,164	+16	21
8	S	312	2460987,5	03	09	44,791	+0,175	+16	17
9	D	313	2460988,5	03	13	41,358	+0,186	+16	13
10	L	314	2460989,5	03	17	37,923	+0,196	+16	07
11	M	315	2460990,5	03	21	34,485	+0,202	+16	01
12	M	316	2460991,5	03	25	31,043	+0,205	+15	54
13	J	317	2460992,5	03	29	27,597	+0,204	+15	46
14	V	318	2460993,5	03	33	24,149	+0,200	+15	38
15	S	319	2460994,5	03	37	20,699	+0,195	+15	28
16	D	320	2460995,5	03	41	17,249	+0,190	+15	18
17	L	321	2460996,5	03	45	13,799	+0,185	+15	06
18	M	322	2460997,5	03	49	10,352	+0,182	+14	54
19	M	323	2460998,5	03	53	06,907	+0,182	+14	41
20	J	324	2460999,5	03	57	03,464	+0,184	+14	27
21	V	325	2461000,5	04	01	00,024	+0,189	+14	13
22	S	326	2461001,5	04	04	56,586	+0,195	+13	57
23	D	327	2461002,5	04	08	53,149	+0,203	+13	41
24	L	328	2461003,5	04	12	49,712	+0,210	+13	24
25	M	329	2461004,5	04	16	46,275	+0,217	+13	06
26	M	330	2461005,5	04	20	42,835	+0,222	+12	48
27	J	331	2461006,5	04	24	39,393	+0,225	+12	28
28	V	332	2461007,5	04	28	35,948	+0,225	+12	08
29	S	333	2461008,5	04	32	32,501	+0,222	+11	48
30	D	334	2461009,5	04	36	29,052	+0,218	+11	27

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:

$$596^s \text{ sen } (200^\circ + 1,9713 \text{ d}) + 441^s \text{ sen } (175^\circ + 0,9856 \text{ d})$$

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

## Diciembre 2025

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	335	2461010,5	04	40	25,604	+0,214	+11	05	
2	M	336	2461011,5	04	44	22,157	+0,212	+10	42	
3	M	337	2461012,5	04	48	18,715	+0,214	+10	19	
4	J	338	2461013,5	04	52	15,277	+0,221	+09	55	
5	V	339	2461014,5	04	56	11,844	+0,233	+09	31	
6	S	340	2461015,5	05	00	08,413	+0,247	+09	06	
7	D	341	2461016,5	05	04	04,982	+0,260	+08	41	
8	L	342	2461017,5	05	08	01,548	+0,271	+08	15	
9	M	343	2461018,5	05	11	58,110	+0,278	+07	48	
10	M	344	2461019,5	05	15	54,668	+0,280	+07	21	
11	J	345	2461020,5	05	19	51,223	+0,280	+06	54	
12	V	346	2461021,5	05	23	47,776	+0,277	+06	26	
13	S	347	2461022,5	05	27	44,327	+0,273	+05	58	
14	D	348	2461023,5	05	31	40,880	+0,270	+05	30	
15	L	349	2461024,5	05	35	37,434	+0,269	+05	01	
16	M	350	2461025,5	05	39	33,990	+0,270	+04	32	
17	M	351	2461026,5	05	43	30,548	+0,273	+04	03	
18	J	352	2461027,5	05	47	27,109	+0,279	+03	33	
19	V	353	2461028,5	05	51	23,672	+0,286	+03	04	
20	S	354	2461029,5	05	55	20,237	+0,295	+02	34	
21	D	355	2461030,5	05	59	16,802	+0,305	+02	04	
22	L	356	2461031,5	06	03	13,365	+0,313	+01	34	
23	M	357	2461032,5	06	07	09,928	+0,320	+01	04	
24	M	358	2461033,5	06	11	06,487	+0,324	+00	35	
25	J	359	2461034,5	06	15	03,044	+0,325	+00	05	
26	V	360	2461035,5	06	18	59,598	+0,324	-00	25	
27	S	361	2461036,5	06	22	56,150	+0,321	-00	55	
28	D	362	2461037,5	06	26	52,702	+0,318	-01	24	
29	L	363	2461038,5	06	30	49,255	+0,316	-01	53	
30	M	364	2461039,5	06	34	45,812	+0,316	-02	22	
31	M	365	2461040,5	06	38	42,372	+0,322	-02	51	

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 26 de julio. Su valor es máximo el día 3 de noviembre, con un máximo secundario el 13 de mayo.

## 2.4. Los calendarios

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 desvíe excesivamente, a medio plazo, del tipo de ajuste astronómico en que se basa (año solar, mes lunar o ambos); 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 86 400 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, que podrán estar separadas por guiones, 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.

El año solía expresarse solo con dos cifras pero 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 2025 se escribe como 2025-02-28 o bien 20250228.

## 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.

De manera análoga pueden numerarse los **milenios**, periodos de mil años, aunque su uso está peor definido que el de los siglos. El segundo milenio de la era cristiana se inició el 1 de enero del año 1001 y terminó el 31 de diciembre del año 2000. El día 1 de enero del 2001 se inició el tercer milenio.

## 2.5. 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 adelante.

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. Por ello, el día juliano

se expresará como un número entero al mediodía de Greenwich (12<sup>h</sup> de TU) y tendrá una fracción 0,5 a las 0<sup>h</sup> de TU (medianoche en el meridiano de Greenwich).

*Ejemplo:* el día juliano correspondiente a las 0<sup>h</sup> de TU del día 14 de agosto de 2025 es 2 460 901,5.

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 <sup>h</sup> de TU	Día juliano	Día a 0 <sup>h</sup> de TU	Día juliano
2025 Ene 0	2460675,5	2025 Jul 0	2460856,5
2025 Feb 0	2460706,5	2025 Ago 0	2460887,5
2025 Mar 0	2460734,5	2025 Set 0	2460918,5
2025 Abr 0	2460765,5	2025 Oct 0	2460948,5
2025 May 0	2460795,5	2025 Nov 0	2460979,5
2025 Jun 0	2460826,5	2025 Dic 0	2461009,5

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

2016	2457387,5	2021	2459214,5	2026	2461040,5
2017	2457753,5	2022	2459579,5	2027	2461405,5
2018	2458118,5	2023	2459944,5	2028	2461770,5
2019	2458483,5	2024	2460309,5	2029	2462136,5
2020	2458848,5	2025	2460675,5	2030	2462501,5

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	=	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	=	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  $DJF = 365 * F + \text{int}[F/4]$ , 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 este (TU/24) si no son las 0<sup>h</sup> de TU. La función  $\text{int}[\ ]$  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

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:

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

*Ejemplo:* para el 14 de agosto de 2025 a las 0<sup>h</sup> TU son:

$$DJC(2000) = 2\ 451\ 544,5$$

$$DJF(25) = 365 * 25 + \text{int}[25/4] = 9131$$

$$DJM(\text{agosto}) = 212$$

Por consiguiente, el día juliano es:  $DJC + DJF + DJM + \text{día} =$

$$2\ 451\ 544,5 + 9131 + 212 + 14 = 2\ 460\ 901,5.$$

Tal día será jueves.

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

*Ejemplo:* el día juliano correspondiente al 14 de agosto de 2025 a las 0<sup>h</sup> TU es 2 460 901,5; el día juliano **modificado** correspondiente es 60 901.

## 2.6. Calendarios del mundo

### Calendario gregoriano

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

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

El calendario gregoriano (introducido por el Papa Gregorio XIII) constituye una modificación al calendario *juliano* descrito más adelante, 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 2025

#### Cómputo eclesiástico

Número áureo	12	(ciclo lunar de 19 años)
Epacta	*	(edad de la Luna al 1 de enero)
Ciclo solar	18	(ciclo de 28 años)
Letra dominical	E	(ciclo de 28 años)
Indicción romana	3	(ciclo de 15 años)

**Principales fiestas movibles**

Septuagésima	Feb	16
Miércoles de Ceniza	Mar	5
Primer domingo de Cuaresma	Mar	9
Viernes Santo	Abr	18
Pascua	Abr	20
Ascensión	May	29
Pentecostés	Jun	8
La Santísima Trinidad	Jun	15
Corpus Christi	Jun	19
El Sagrado Corazón de Jesús	Jun	27
Primer domingo de Adviento	Nov	30

**Témporas**

I	Mar 12, 14, 15
II	Jun 11, 13, 14
III	Set 17, 19, 20
IV	Dic 17, 19, 20

**Velaciones**

Se cierran:
Mar 4 y Nov 29
Se abren:
Abr 22 y Dic 26

La mayor parte de fiestas movibles del calendario eclesiástico pueden deducirse a partir de la fecha del domingo de Pascua. Este es el primer domingo posterior a la Luna llena *eclesiástica* que se da en o tras el 21 de marzo; para evitar la dificultad de las observaciones, su dependencia del lugar de observación o el cálculo del complejo movimiento de la Luna, se utilizan unas tablas que definen el movimiento de la denominada *Luna eclesiástica*

**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

En base a ellas se han calculado las fechas del Domingo de Pascua que figuran a continuación, para los años 1900 a 2099. Las letras M y A indican el mes, respectivamente marzo y abril.

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

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

## 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 2025

Pascua	7 de abril (juliano) 20 de abril (gregoriano)
Epacta	9
Letra dominical	F

## 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 2025 ( $G = 2025,00$ ) corresponde a  $M = 1446,51$ , o sea a mediados del año musulmán 1446. Este es un año común pues es el año 6 del ciclo 49.

En la siguiente tabla se indican las fechas gregorianas correspondientes al inicio de los meses del calendario musulmán establecido según las reglas anteriores. El mes se inicia a la puesta de sol del día anterior al que figura en la tabla.

Inicio del mes musulmán			Fecha gregoriana		
1446	Raġab	1	2025	Ene	1
1446	Ša'bān	1	2025	Ene	31
1446	Ramaḍān	1	2025	Mar	1
1446	Šawwāl	1	2025	Mar	31
1446	Ḍū-l-qa'da	1	2025	Abr	29
1446	Ḍū-l-ḥiġġa	1	2025	May	29
1447	Muḥarram	1	2025	Jun	27
1447	Šafar	1	2025	Jul	27
1447	Rabī' al-awwal	1	2025	Ago	25
1447	Rabī' al-ṭānī	1	2025	Set	24
1447	Ÿumādà al-ūlā	1	2025	Oct	23
1447	Ÿumādà al-ājira	1	2025	Nov	22
1447	Raġab	1	2025	Dic	21

Las fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario musulmán se muestran en la siguiente tabla.

Ascensión del Profeta	2025	Ene	27
Primer día del ramadán	2025	Mar	1
Conquista de la Meca	2025	Mar	20
Revelación del Corán	2025	Mar	27
Último día del ramadán	2025	Mar	30
Pascua postayuno	2025	Mar	31
Pascua de Inmolación	2025	Jun	7
Primer día del año	2025	Jun	27
‘Āshūrā’	2025	Jul	6
Huida del Profeta ( <i>Hégira</i> )	2025	Ago	25
Nacimiento del Profeta	2025	Set	5

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 en ella.

Visibilidad del creciente lunar en Madrid

Mes musulmán	Fecha gregoriana
1446 Raʿyab	2025 Ene 1
1446 Šaʿbān	2025 Ene 30
1446 Ramaḍān	2025 Mar 1
1446 Šawwāl	2025 Mar 30
1446 Dū-l-qaʿda	2025 Abr 28
1446 Dū-l-ḥiŷŷa	2025 May 27
1447 Muḥarram	2025 Jun 26
1447 Šafar	2025 Jul 25
1447 Rabīʿ al-awwal	2025 Ago 24
1447 Rabīʿ al-tānī	2025 Set 23
1447 ʿYumādā al-ūlā	2025 Oct 23
1447 ʿYumādā al-ājira	2025 Nov 22
1447 Raʿyab	2025 Dic 21

## 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)
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
5786	2025 Set 23	354
5787	2026 Set 12	385
5788	2027 Oct 2	355
5789	2028 Set 21	354
5790	2029 Set 10	383

En la siguiente tabla se indican las fechas gregorianas correspondientes al inicio de cada uno de los meses del calendario israelita. El mes se inicia a la puesta de sol del día anterior al que figura en la tabla.

Inicio del mes	Fecha gregoriana		
5785 Tebēt 1	2025	Ene	1
5785 Šebāt 1	2025	Ene	30
5785 Adār 1	2025	Mar	1
5785 Nisan 1	2025	Mar	30
5785 Iyyār 1	2025	Abr	29
5785 Siwān 1	2025	May	28
5785 Tammūz 1	2025	Jun	27
5785 Ab 1	2025	Jul	26
5785 Elūl 1	2025	Ago	25
5786 Tišrī 1	2025	Set	23
5786 Ḥešwān 1	2025	Oct	23
5786 Kislew 1	2025	Nov	21
5786 Tebēt 1	2025	Dic	21

Esta forma del calendario fue establecida a partir del siglo IV 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.

Las fechas gregorianas correspondientes a las principales festividades del calendario israelita se muestran en la siguiente tabla (los ayunos se inician al amanecer del día indicado, las demás festividades se inician a la puesta de sol del día anterior).

Ayuno. Sitio de Jerusalén	2025	Ene	10
Año nuevo de los árboles	2025	Feb	13
Ayuno de Ester	2025	Mar	13
Suertes ( <i>Purim</i> )	2025	Mar	14
Pascua ( <i>Pesah</i> )	2025	Abr	13
<i>Lag B'Omer</i>	2025	May	16
Pentecostés ( <i>Shavuot</i> )	2025	Jun	2
Ayuno del mes de tammūz	2025	Jul	13
Ayuno. Destrucción de Jerusalén	2025	Ago	3
Año nuevo ( <i>Rosh-hashana</i> )	2025	Set	23
Ayuno de Guedaliah	2025	Set	25
Expiación ( <i>Yom Kippur</i> )	2025	Oct	2
Tabernáculos ( <i>Sukkot</i> )	2025	Oct	7
Alegría de la Ley	2025	Oct	15
Dedicación del Templo ( <i>Hanukka</i> )	2025	Dic	15
Ayuno. Sitio de Jerusalén	2025	Dic	30

## Calendario perpetuo

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*.

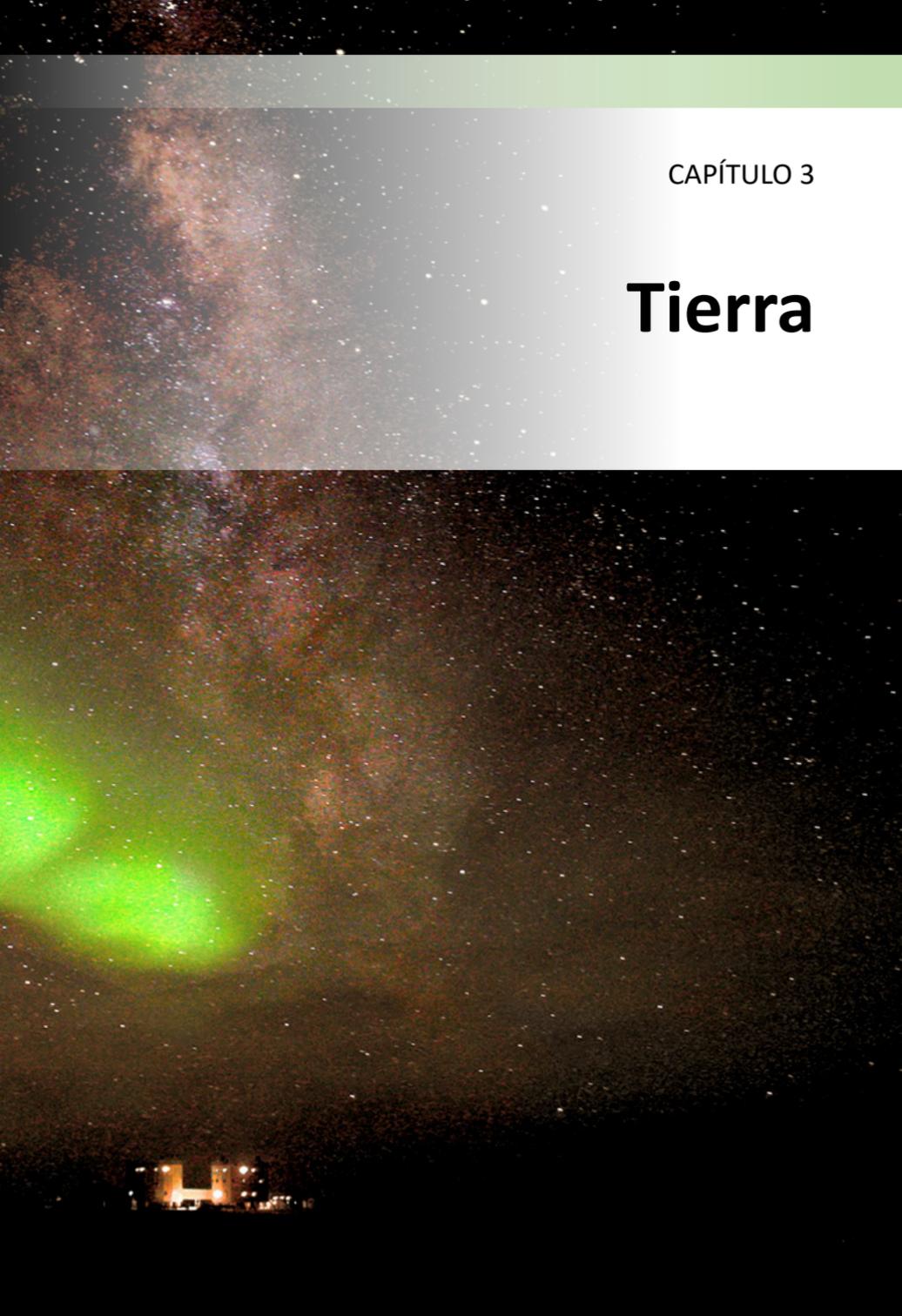
Índice	1	2	3	4	5	6	7
Millar y centena del año	4__ 11__ G 15__	3__ 10__	2__ 9__	1__ 8__ J 15__	0__ 7__ 14__	6__ 13__	5__ 12__
	19__	18__		17__		16__	
	23__	22__		21__		20__	
	27__	26__		25__		24__	
		30__		29__		28__	
	(G = Gregoriano, J = Juliano)						
Decena y unidad del año						00	01
	02	03		04	05	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	34	35
	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	
		Ago	Nov		Set	Jul	Oct
					Dic		
	(B = bisiesto)						
Día del mes	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28
	29	30	31				
Día de la semana	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
Índice	1	2	3	4	5	6	7

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

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

*Ejemplo:* 14 de agosto de 2025: a 20   le corresponde el índice 7; a   25, el índice 2; a agosto, el índice 2; y al día 14, el índice 7. La suma es:  $7 + 2 + 2 + 7 = 18$ . Restándole dos veces 7 se obtiene 4, índice que corresponde a jueves.





CAPÍTULO 3

# Tierra



**Auroras australes sobre la estación Concordia en la Antártida el 18 de julio de 2012.  
ESA/A. Kumar - E. Bondoux**

La Tierra es el planeta en el que habitamos, el único en todo el universo conocido en el que hasta el momento está confirmada la existencia de vida. Está situado en tercer lugar en cuanto a la distancia al Sol, con una órbita situada entre las de Venus y Marte. Es el quinto en tamaño, el más grande y masivo entre los cuatro planetas rocosos, y el más denso de todos los planetas del sistema solar. La Tierra, como la mayoría de los cuerpos del sistema solar, se formó hace alrededor de 4500 millones de años a partir del disco de gas y polvo que rodeaba a nuestro Sol en formación. Describe dos movimientos: el de traslación, siguiendo una órbita con una ligera elipticidad alrededor del Sol y en el mismo plano de la eclíptica, y el de rotación sobre su propio eje, que se encuentra inclinado unos  $23^\circ$  con respecto a la eclíptica, lo que genera la existencia de diferentes estaciones a lo largo del año.

La Tierra tiene un único satélite natural, la Luna. El sistema Tierra-Luna constituye una excepcionalidad debido a la relación de tamaños: la Luna tiene un tamaño del orden de un tercio del tamaño de la Tierra, por lo que es el satélite natural más grande del sistema solar con respecto al tamaño de su planeta anfitrión. La Luna ejerce un papel decisivo en las condiciones existentes en la Tierra: es la principal causa de las mareas, estabiliza el eje de rotación de la Tierra y con ello evita bruscos cambios estacionales, y produce una lenta ralentización del ritmo de rotación terrestre.

El interior de la Tierra está compuesto por cuatro capas diferenciadas. En primer lugar la zona central está compuesta por un núcleo interno, una esfera sólida de hierro y níquel de 1221 kilómetros de ancho, y un núcleo externo, una banda de fluidos de hierro y níquel de 2253 km de espesor. Sobre esta zona se encuentra el manto, una capa de roca viscosa fundida de 2897 km sobre la que descansa la capa más externa, la corteza, con un grosor de entre 5 y 30 kilómetros. La corteza terrestre está dividida en placas tectónicas que se deslizan sobre el magma del manto. Esta actividad geológica produce la renovación de la superficie terrestre, con la consiguiente modificación de su geografía a lo largo de millones de años, y fenómenos como los terremotos y maremotos o los volcanes.

La superficie de la Tierra es accidentada, con montañas, valles y demás accidentes, al igual que podemos observar en las superficies de Venus o Marte. Pero una característica esencial de la Tierra es el hecho de que es el único cuerpo astronómico conocido donde se ha hallado agua líquida en superficie. De hecho casi el 70% de la superficie terrestre está cubierta por océanos de agua líquida, con una profundidad media de 4 kilómetros.

El nuestro es uno de los planetas que cuenta con campo magnético (no lo tienen Venus ni Marte, aunque podrían haberlo tenido en el pasado). Se genera por la rotación de su núcleo interno de hierro y

níquel. Tiene un efecto de protección sobre la Tierra, ya que canaliza las partículas cargadas procedentes del Sol hacia los polos magnéticos, situados cerca de los polos geográficos terrestres.

La Tierra cuenta con una atmósfera dinámica compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, con una cantidad de vapor de agua que da lugar a la existencia de nubes. La atmósfera produce un efecto invernadero en todo el planeta que hace que la temperatura media en superficie sea de unos 15°C, mientras que sin ella sería de unos -18°C y por tanto no podría haber agua líquida en superficie. Las diferencias entre la cantidad de energía recibida del Sol en diferentes regiones del planeta (siendo mayor la que se recibe en el ecuador y menor en los polos) genera la existencia de corrientes atmosféricas y oceánicas, lo que produce un sistema climático global, con diferentes zonas climáticas y un amplio abanico de fenómenos meteorológicos.

Nuestro planeta es, como se ha mencionado, el único cuerpo astronómico en el que a día de hoy hemos confirmado la existencia de vida. E incluso aunque hay otros cuerpos actualmente en investigación por la posible presencia en la actualidad o en el pasado de bacterias o microorganismos, en ningún otro cuerpo hemos encontrado ningún indicio de vida tan compleja y evolucionada como la que se encuentra en nuestro planeta. Esto ha sido posible por la ocurrencia simultánea de una serie de circunstancias esenciales: la existencia de agua líquida en superficie; la atmósfera, que no solo sostiene la vida proporcionando los elementos para la respiración o la fotosíntesis sino que además nos protege de la gran mayoría de los meteoritos y de la radiación ultravioleta; la tectónica de placas, que también contribuye a la regulación de la temperatura del planeta; el campo magnético terrestre, que nos protege de la radiación solar; la presencia de la Luna y su moderación de los cambios bruscos estacionales... Todas estos factores producen unas condiciones que se hallan en un delicado equilibrio y que puede alterarse con cualquier variación. De hecho se perderá con el tiempo, en cientos de millones de años, cuando la evolución del Sol cause un aumento de la temperatura terrestre e imposibilite la existencia de agua líquida en superficie. Pero mucho antes de eso están teniendo lugar otros cambios: la actividad humana está causando un impacto creciente en el clima y la biosfera de la Tierra, generando un cambio climático extremadamente acelerado que ya está produciendo extinciones masivas y que, si no se remedia, supondrá una amenaza para las condiciones de vida de los seres humanos y de otras muchas formas de vida de nuestro planeta.

## 3.1. Parámetros físicos de la Tierra

### Forma y tamaño

Si consideramos negligibles las irregularidades de la superficie terrestre, la forma del planeta Tierra puede aproximarse a efectos prácticos por un elipsoide de revolución, achatado por los polos. Esta figura geométrica viene definida por dos valores: la longitud de su semieje mayor, es decir, en este caso el radio ecuatorial,  $R_e$ , y su achatamiento,  $f$ , que se obtiene mediante la expresión  $(R_e - R_p)/R_e$ , donde  $R_p$  es el semieje menor, en este caso el radio polar. La excentricidad del elipsoide viene dada por:

$$e = \sqrt{f(2 - f)}$$

El radio medio volumétrico, es decir, el radio de una esfera de igual volumen que un elipsoide definido por su radio ecuatorial  $R_e$  y un achatamiento  $f$  viene dado por:

$$R_m = R_e \sqrt[3]{1 - f}$$

Según las convenciones del Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS) de 2010, los valores actualizados de estos parámetros son los siguientes:

Radio ecuatorial	$R_e = 6378,1366 \text{ km}$
Achatamiento	$f = 1/298,25642 = 0,00335282$
Radio polar	$R_p = 6356,7519 \text{ km}$
Radio medio volumétrico	$R_m = 6371,0004 \text{ km}$
Excentricidad del elipsoide	$e = 0,08181930$
Volumen de la Tierra	$1,0832 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$
Rango topográfico	$20,4 \text{ km}$

### Elipsoides de referencia

A lo largo de la historia se han propuesto y utilizado diferentes elipsoides como marco de referencia en términos geodésicos. En la tabla siguiente se indican los parámetros de estos elipsoides de referencia, así como los nombres que han recibido y/o las autoridades que han propuesto o recomendado su uso.

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
2010	IERS	6378136,6	6356751,9	298,25642

Las siglas corresponden a: Unión Astronómica Internacional (UAI/IAU), Sistema Geodésico de Referencia (GRS), Sistema Geodésico Mundial (WGS), y el ya mencionado Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (IERS).

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 del lugar de observación) pueden diferir en algunos segundos de arco.

Considerando un elipsoide de referencia dado se pueden obtener las equivalencias en metros de las unidades de medida usadas en las coordenadas angulares de latitud y longitud, teniendo en cuenta para ello que, al tratarse de un elipsoide y no de una esfera, existe una dependencia con la latitud.

En concreto, para el rango de latitudes de España los grados, minutos y segundos de arco medidos respectivamente sobre el paralelo o sobre el meridiano tienen las siguientes longitudes lineales en metros:

**Longitud en metros de arcos de meridiano y de paralelo**  
para las latitudes de España considerando el elipsoide GRS 1980

latitud $\phi$ (°)	sobre el paralelo			sobre el meridiano		
	1°	1'	1''	1°	1'	1''
35°	91288	1521	25,4	110941	1849	30,8
36°	90163	1503	25,0	110959	1849	30,8
37°	89011	1484	24,7	110978	1850	30,8
38°	87832	1464	24,4	110996	1850	30,8
39°	86626	1444	24,1	111015	1850	30,8
40°	85393	1423	23,7	111035	1851	30,8
41°	84135	1402	23,4	111054	1851	30,8
42°	82850	1381	23,0	111073	1851	30,9
43°	81540	1359	22,7	111093	1852	30,9
44°	80206	1337	22,3	111112	1852	30,9
45°	78846	1314	21,9	111132	1852	30,9

Para la latitud de Madrid (en concreto la del Observatorio Astronómico Nacional) se obtienen los siguientes valores:

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'' sobre el paralelo	23,579 m

## Luminosidad

Las siguientes magnitudes nos proporcionan información sobre la energía que la Tierra recibe desde el espacio, principalmente desde el Sol, y la que ella misma irradia al exterior y que percibiría un observador externo.

- *Irradiancia solar.* Energía solar que recibe el cuerpo:  $1361,0 \text{ W/m}^2$
- *Magnitud en banda V.  $V(1,0)$ .* Magnitud en banda V del cuerpo si estuviera a una distancia de 1 UA del observador, y con un ángulo de fase de cero: -3,99
- *Temperatura equivalente de cuerpo negro.* Temperatura superficial que tendría el cuerpo si estuviera en equilibrio radiativo y no tuviera atmósfera, pero tuviera el mismo albedo: 255 K

- *Albedo de Bond, o albedo planetario.* Fracción de radiación solar incidente que se refleja de nuevo al espacio: 0,294
- *Albedo geométrico.* Ratio entre el brillo del cuerpo con un ángulo de fase de cero y el de un disco con una difusión total que estuviera en la misma posición y con el mismo tamaño aparente: 0,434

## Masa y momento de inercia

La masa de la Tierra se usa como unidad de referencia en astronomía, particularmente para elementos de tamaño comparable, como planetas y exoplanetas. A partir de la masa y el volumen del planeta podemos estimar también la densidad media del planeta, aunque hay que tener en cuenta que la estructura interna del planeta implica fuertes variaciones de densidad entre diversas zonas. El momento de inercia proporciona información sobre la inercia rotacional del cuerpo, necesaria para el estudio de la dinámica global del planeta y de su geofísica. Los valores más precisos obtenidos en la actualidad para estas magnitudes son los siguientes:

Masa	$\mathcal{M}_{\oplus} = 5,9722 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Densidad media	$5513 \text{ kg/m}^3$
Momento de inercia	$0,3308 \mathcal{M}_{\oplus} R_e^2$
$J_2$	$0,0010826359$

## Gravedad

El valor de la gravedad en la superficie terrestre, denotado como  $g$ , es la aceleración neta que sufre un cuerpo en la superficie como resultado de la combinación de la fuerza gravitatoria que ejerce el planeta sobre el cuerpo y de la aceleración centrífuga que sufre el cuerpo debido a la rotación de la Tierra. Puesto que la atracción gravitatoria depende de la distancia entre el cuerpo y el centro de masas de la Tierra, el valor de la gravedad terrestre varía ligeramente en función de la latitud y la altitud de la posición del objeto. Algunos valores relevantes, y la fórmula de dependencia de la gravedad terrestre en función de la latitud y la altitud, son los siguientes:

Gravedad superficial media	$9,820 \text{ m s}^{-2}$
Gravedad superficial ecuatorial	$9,780 \text{ m s}^{-2}$
Gravedad superficial polar	$9,832 \text{ m s}^{-2}$
Gravedad superficial ( $\phi = 45^\circ$ )	$9,8062 \text{ m s}^{-2}$
Gravedad superficial en Madrid	$9,8000 \text{ m s}^{-2}$

Dependencia de la gravedad normal  $g$  con la latitud  $\phi$  a un altura  $h = 0$ :

$$g_{(h=0)} = 9,806201 - 0,025930 \cos(2\phi) + 0,000028 \cos(4\phi)$$

Variación de la gravedad con la altura  $h$  (en metros):

$$g = g_{(h=0)} - 3,086 \cdot 10^{-6} h$$

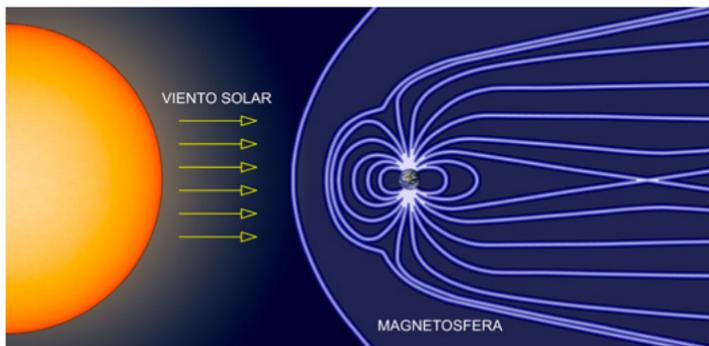
Velocidad de escape 11,186 km/s

Constante gravitatoria  $G M_{\oplus} = 398\,600,4418 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$

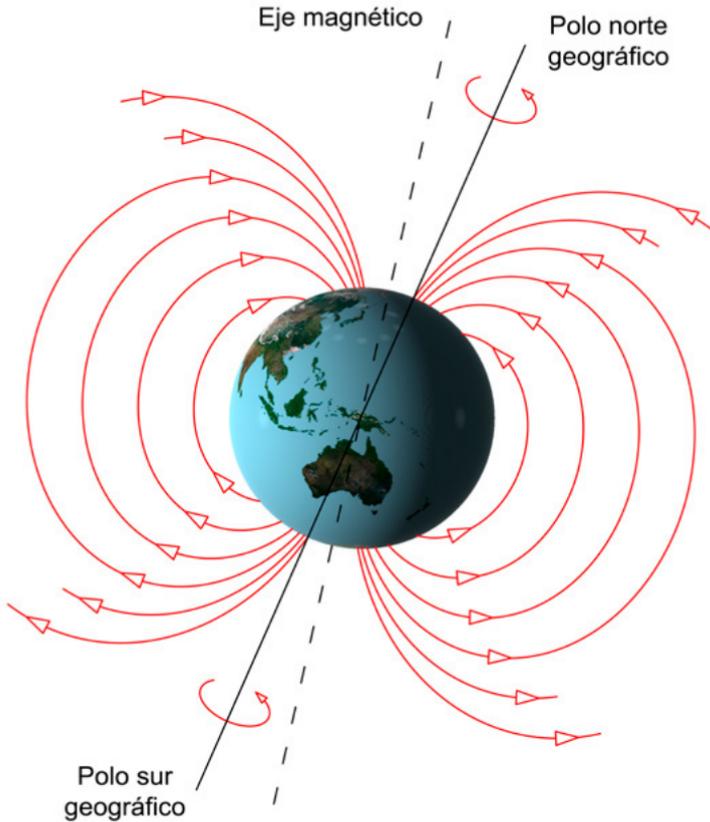
## Campo magnético

La Tierra, al igual que otros planetas del sistema solar (aunque no todos), posee un campo magnético propio que se extiende desde el interior del planeta hasta el espacio. El campo magnético terrestre se puede representar de forma aproximada como el de un dipolo magnético, descrito por las siguientes magnitudes:

- *Intensidad del campo magnético.* Intensidad del campo generado por el dipolo fuera del planeta en Gauss- $r^3$ , donde la distancia  $r$  está en unidades de radio planetario, en este caso radio ecuatorial de la Tierra (dividir por la distancia  $r^3$  proporciona el campo en Gauss). 0,306 Gauss- $r^3$
- *Inclinación del eje del dipolo* (respecto al eje de rotación):  $\sim 11^\circ$
- *Desplazamiento del dipolo respecto al centro de la Tierra.* 0,076  $R_e$
- *Intensidad del campo magnético en la superficie terrestre.* Rango total de valores. 0,24-0,66 Gauss
- *Posición del Polo Norte Magnético* (WMM2020). 86.50 N, 164.04 E
- *Distancia del centro terrestre a la magnetopausa* (límite exterior de la magnetosfera).  $\sim 10 R_e$



El campo magnético terrestre tiene un papel fundamental en las condiciones actuales y en la existencia de vida en la Tierra, ya que interacciona con la radiación procedente del Sol, generando un efecto pantalla ante los efectos nocivos de dicha radiación y ante la llegada de la mayoría de rayos cósmicos procedentes del espacio. La interacción del campo magnético con la radiación solar se produce en una capa de la atmósfera denominada magnetosfera. El campo magnético terrestre desvía las partículas cargadas procedentes del exterior hacia los polos magnéticos, lo que genera los fenómenos de las auroras boreales y australes que se ven a altas latitudes.



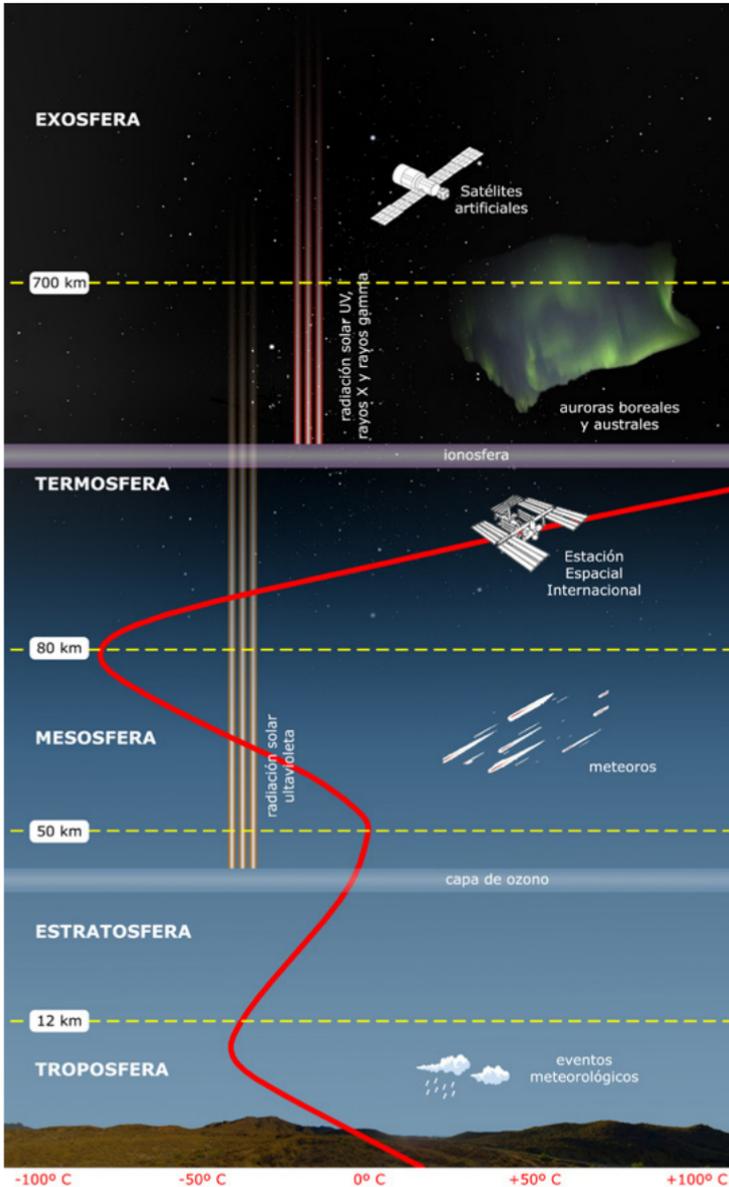
## 3.2. Atmósfera

### Estructura y composición.

La atmósfera es la capa de gases que rodea la Tierra, retenida por la fuerza de la gravedad. Desempeña un papel esencial en la existencia de vida tal como la conocemos en la Tierra, ya que contiene los gases necesarios para procesos como la respiración o la fotosíntesis, protege de impactos de meteoritos, absorbe parte de la radiación ultravioleta del Sol, retiene parte del calor recibido del Sol por efecto invernadero y actúa como colchón térmico suavizando los contrastes de temperatura. Está compuesta por cinco capas principales, con varias capas secundarias. Las capas principales son:

- *Troposfera*. Desde la superficie hasta ~12 km de altitud. Es la capa más densa, y contiene casi todo el vapor de agua y los aerosoles. La mayor parte de los eventos meteorológicos tienen lugar en ella. La temperatura decrece con la altitud.
- *Estratosfera*. Entre 12 y 50 km de altitud. Contiene la capa de ozono que protege a la Tierra de la radiación solar ultravioleta. La temperatura aumenta con la altitud, debido principalmente a la absorción de radiación UV por parte del ozono.
- *Mesosfera*. Entre 50 y 80 km de altitud. La temperatura decrece con la altitud, hasta alcanzar las temperaturas más bajas que se encuentran en el sistema terrestre: hasta -85°C. La mayoría de los meteoros se queman en esta capa.
- *Termosfera*. Entre 80 y 700 km de altitud. Contiene la ionosfera. La absorción de radiación UV, rayos X y rayos gamma procedentes del Sol provoca la ionización de átomos y moléculas, lo que produce un progresivo aumento de la temperatura con la altitud. Aquí tienen lugar parte de las auroras boreales y australes, y en esta capa orbita la Estación Espacial Internacional.
- *Exosfera*. Entre 700 y 10.000 km de altitud. Es la capa más externa, en la que los gases se dispersan progresivamente hasta que la composición es similar al espacio exterior. Su límite superior colinda y se mezcla con el viento solar (en la magnetosfera). La densidad es tan baja que el material de esta capa no se comporta como un gas, y las partículas escapan al espacio fácilmente. Parte de las auroras boreales y australes tienen lugar en la parte más baja de la exosfera, y la mayor parte de los satélites artificiales terrestres orbitan en ella.

En el siguiente esquema se muestran las capas descritas, indicando los principales fenómenos o características mencionadas. La línea roja muestra la evolución de la temperatura con la altitud.



Algunos parámetros físicos atmosféricos de relevancia:

Presión en la superficie	1014 mb
Densidad en la superficie	1,217 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura efectiva	255 K (-18° C)
Temperatura media en la superficie	288 K (15° C)
Altura de escala	8,5 km
Masa total de la atmósfera	5,1 x 10 <sup>18</sup> kg

La altura de escala es la altura a la que hay que elevarse en una atmósfera para que la presión disminuya en un factor  $e = 2,718182$ .

La composición de la atmósfera en volumen, considerando el aire seco, es la siguiente (los componentes más abundantes se expresan en porcentaje, los menos abundantes en partes por millón):

Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78,08%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20,95%
Argón (Ar)	0,934%, 9340 ppm
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	426 ppm (variable)
Neon (Ne)	18,18 ppm
Helio (He)	5,24 ppm
Metano (CH <sub>4</sub> )	1,7 ppm
Kriptón (Kr)	1,14 ppm
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0,55 ppm

La cantidad de vapor de agua es variable, pero es típicamente del orden del 1%. Los números totales no suman exactamente 100%, debido a los redondeos y a las incertidumbres asociadas a las medidas.

## Refracción atmosférica

La refracción es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo. La refracción atmosférica es el fenómeno de refracción de la luz estudiado en un medio atmosférico. En las observaciones astronómicas, la refracción que sufre la luz de los astros observados al atravesar la atmósfera terrestre produce que la altura aparente de los astros sea superior a la altura real (la que se deduce de las efemérides, o la que se observaría si no existiese atmósfera). El efecto de la refracción depende fuertemente de la altura observada (es máxima en el horizonte y nula en el zenit) y, en menor medida, de la temperatura y presión ambientes y de la longitud de onda de la observación.

En las siguientes tablas 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:

$$\text{longitud de onda, } \lambda_0 = 0,575 \mu\text{m}$$

$$\text{presión atmosférica, } P_0 = 1000 \text{ mbar}$$

$$\text{temperatura ambiente, } T_0 = 10^\circ\text{C}$$

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,  $0,55 \mu\text{m}$ .

Los factores de corrección a emplear en caso de que tales condiciones de contorno sean distintas son, respectivamente y en primera aproximación:

$$\text{corrección en } \lambda : \text{multiplicar por } \left[ 0,93 + \left( \frac{0,075}{\lambda} \right)^2 \right]$$

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

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

### Fórmula aproximada para 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:

$$R = \frac{60''}{\tan \left( h + \frac{7,31}{h+4,4} \right)} \frac{0,28 P}{273 + T}$$

siendo  $h$  la altura observada. Esta fórmula lleva incluidos los parámetros atmosféricos ( $P$  en milibares y  $T$  en grados centígrados). Si estos 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

### 3.3. Rotación terrestre

#### Datos generales

La Tierra rota sobre sí misma, de oeste a este (o en sentido antihorario si se toma el polo norte como punto de observación). Datos generales de rotación:

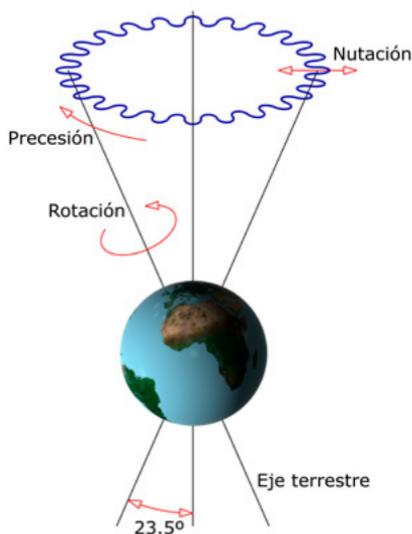
Oblicuidad de la eclíptica	23°44'
Inclinación respecto al plano orbital	23°44'
Velocidad angular media de rotación	$7,2921150 \cdot 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ = 15,0410672 "/s
Velocidad lineal de rotación en el ecuador	465,12 m s <sup>-1</sup> = 1674 km h <sup>-1</sup>
Aceleración centrífuga en el ecuador	- 0,034 m s <sup>-2</sup>

La oblicuidad de la eclíptica es el ángulo entre el eje de rotación y la perpendicular de la eclíptica y la inclinación respecto al plano orbital es el ángulo entre el eje de rotación y la perpendicular del plano de la órbita celeste.

- *Día sidéreo.* Intervalo de tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta completa, 360° sobre sí misma, o dicho de otra manera en volver a orientarse de la misma manera respecto al sistema de referencia de las estrellas fijas. Duración: 23,9345 h = 23<sup>h</sup> 56<sup>m</sup> 4<sup>s</sup>,2
- *Día solar medio.* Intervalo de tiempo que tarda la Tierra en rotar sobre sí misma y volver a orientarse de la misma manera respecto al sol. Si empleamos como referencia el meridiano local, tiempo entre dos cruces consecutivos del Sol. Debido a la traslación de la Tierra, es más largo que el día sidéreo. Se proporciona el día solar medio porque debido a la excentricidad de la órbita de la Tierra y a la oblicuidad de la eclíptica, la Tierra varía su velocidad de traslación a lo largo de su órbita. En la Tierra se usa para definir el día de 24 horas. Duración: 24h.

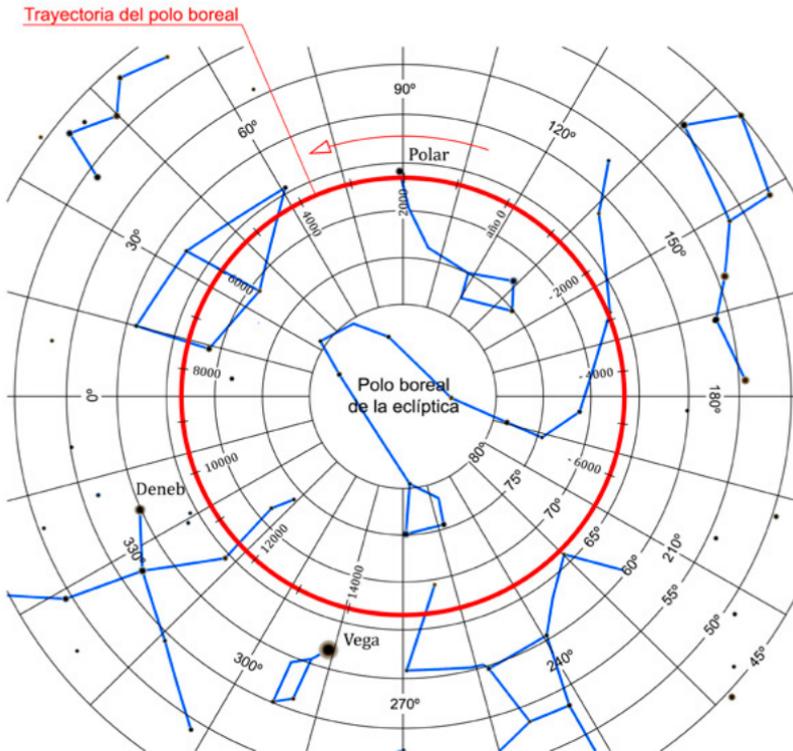
#### Precesión y nutación

El eje de rotación de la Tierra no mantiene una dirección fija en el tiempo, sino que sufre variaciones que deben ser tenidas en cuenta en el estudio de la rotación terrestre y en la definición de parámetros y magnitudes relacionadas, como las coordenadas geográficas terrestres o las escalas de tiempo basadas en la rotación.



La **precesión de los equinoccios** es el fenómeno por el cual el eje de rotación de la Tierra describe un movimiento circular alrededor de la vertical de la eclíptica en sentido retrógrado (horario), trazando un cono con vértice en el centro de la Tierra y abertura de  $47^\circ$  (ya que la inclinación del eje de la Tierra respecto a la vertical de la Tierra es de unos  $23;5$ ). Este movimiento está causado por la forma de esferoide achatado por los polos de nuestro planeta, y la influencia de la atracción gravitatoria del Sol, la Luna y el resto de los planetas. La Tierra tarda un total de 25776 años en trazar el círculo completo.

La variación de la dirección del eje de rotación produce una modificación de la orientación del plano del ecuador celeste, y con ello de la línea de intersección entre éste y la eclíptica. Como consecuencia el punto Aries, punto de esa línea de intersección en el que la Tierra en su órbita pasa del hemisferio sur celeste al norte, sufre una precesión retrógrada sobre la eclíptica, con una variación de 50,29 segundos de arco por año. La precesión también origina que el polo norte celeste se mueva en el marco de referencia de las estrellas fijas, lo que genera variaciones en la o las estrellas que puedan considerarse como referentes geográficos (actualmente la estrella polar para el norte). Si consideramos solo el efecto de la precesión, la siguiente figura muestra la variación de la posición del polo norte celeste en el planisferio a lo largo del movimiento completo de precesión (línea roja), indicando también las fechas (en años, estando ahora sobrepasando los 2000) en las que irá realizando este recorrido.



La **nutación** es un movimiento del eje de la tierra que se superpone al de precesión, y que produce que el eje sufra una oscilación en su oblicuidad, es decir, una variación periódica del ángulo que forma con la vertical de la eclíptica. Cada 18,6 años el eje oscila en torno a 9,2 segundos de arco respecto a su posición media. La causa principal de la nutación es la influencia gravitatoria de la luna, y particularmente el torque de fuerzas generado por la inclinación de la órbita lunar.

La precesión y la nutación varían la posición del eje de rotación y consecuentemente la del plano ecuatorial de la Tierra, que es plano de referencia para las coordenadas celestes de los astros (tales como las coordenadas ecuatoriales  $\alpha$  y  $\delta$ ). Por ello, al dar las coordenadas de un astro hay que indicar que se refieren a una posición dada del eje de rotación, por ejemplo la que tenía en la época J2000.0. Para conocer las coordenadas en otro instante es necesario aplicar unas correcciones que se describen en los siguientes subapartados y tablas.

### Corrección de las coordenadas por precesión, cálculo aproximado

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:

$$P_{\alpha} = 3^{\circ}0750 + 1^{\circ}3362 \operatorname{sen} \alpha \tan \delta$$

$$P_{\delta} = 20^{\prime\prime}043 \cos \alpha$$

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 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	24 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	20",04	12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-20",04
00 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	23 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	19",96	12 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-19",96
00 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	23 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	19",73	12 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-19",73
01 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	23 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	19",36	13 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-19",36
01 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	22 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	18",83	13 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-18",83
01 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	22 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	18",16	13 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-18",16
02 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	22 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	17",35	14 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-17",35
02 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	21 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	16",41	14 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	09 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-16",41
02 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	21 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	15",35	14 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	09 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-15",35
03 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	21 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	14",17	15 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	09 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-14",17
03 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	20 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	12",88	15 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	08 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-12",88
03 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	20 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	11",49	15 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	08 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-11",49
04 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	20 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	10",02	16 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	08 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-10",02
04 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	08",47	16 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	07 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-08",47
04 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	06",85	16 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	07 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-06",85
05 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	05",18	17 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	07 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-05",18
05 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	03",48	17 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	06 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	-03",48
05 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	01",74	17 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	06 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-01",74
06 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	00",00	18 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	06 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	00",00

## Precesión 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	
18 00	18 00	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 83	2 <sup>s</sup> 58	2 <sup>s</sup> 30	1 <sup>s</sup> 95	1 <sup>s</sup> 48	1 <sup>s</sup> 16	0 <sup>s</sup> 76	06 00	06 00	
18 20	17 40	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 84	2 <sup>s</sup> 59	2 <sup>s</sup> 30	1 <sup>s</sup> 95	1 <sup>s</sup> 48	1 <sup>s</sup> 17	0 <sup>s</sup> 76	06 20	05 40	
18 40	17 20	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 84	2 <sup>s</sup> 59	2 <sup>s</sup> 31	1 <sup>s</sup> 97	1 <sup>s</sup> 50	1 <sup>s</sup> 19	0 <sup>s</sup> 79	06 40	05 20	
19 00	17 00	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 84	2 <sup>s</sup> 60	2 <sup>s</sup> 32	1 <sup>s</sup> 99	1 <sup>s</sup> 53	1 <sup>s</sup> 23	0 <sup>s</sup> 83	07 00	05 00	
19 20	16 40	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 85	2 <sup>s</sup> 61	2 <sup>s</sup> 35	2 <sup>s</sup> 02	1 <sup>s</sup> 57	1 <sup>s</sup> 28	0 <sup>s</sup> 90	07 20	04 40	
19 40	16 20	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 86	2 <sup>s</sup> 63	2 <sup>s</sup> 37	2 <sup>s</sup> 05	1 <sup>s</sup> 63	1 <sup>s</sup> 34	0 <sup>s</sup> 97	07 40	04 20	
20 00	16 00	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 87	2 <sup>s</sup> 65	2 <sup>s</sup> 40	2 <sup>s</sup> 10	1 <sup>s</sup> 69	1 <sup>s</sup> 42	1 <sup>s</sup> 07	08 00	04 00	
20 20	15 40	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 88	2 <sup>s</sup> 67	2 <sup>s</sup> 44	2 <sup>s</sup> 15	1 <sup>s</sup> 77	1 <sup>s</sup> 51	1 <sup>s</sup> 17	08 20	03 40	
20 40	15 20	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 89	2 <sup>s</sup> 70	2 <sup>s</sup> 48	2 <sup>s</sup> 21	1 <sup>s</sup> 85	1 <sup>s</sup> 61	1 <sup>s</sup> 30	08 40	03 20	
21 00	15 00	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 90	2 <sup>s</sup> 73	2 <sup>s</sup> 52	2 <sup>s</sup> 28	1 <sup>s</sup> 94	1 <sup>s</sup> 72	1 <sup>s</sup> 43	09 00	03 00	
21 20	14 40	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 92	2 <sup>s</sup> 76	2 <sup>s</sup> 57	2 <sup>s</sup> 35	2 <sup>s</sup> 05	1 <sup>s</sup> 84	1 <sup>s</sup> 58	09 20	02 40	
21 40	14 20	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 93	2 <sup>s</sup> 79	2 <sup>s</sup> 63	2 <sup>s</sup> 43	2 <sup>s</sup> 16	1 <sup>s</sup> 98	1 <sup>s</sup> 74	09 40	02 20	
22 00	14 00	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 95	2 <sup>s</sup> 83	2 <sup>s</sup> 68	2 <sup>s</sup> 51	2 <sup>s</sup> 27	2 <sup>s</sup> 12	1 <sup>s</sup> 91	10 00	02 00	
22 20	13 40	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 97	2 <sup>s</sup> 86	2 <sup>s</sup> 74	2 <sup>s</sup> 60	2 <sup>s</sup> 40	2 <sup>s</sup> 26	2 <sup>s</sup> 09	10 20	01 40	
22 40	13 20	3 <sup>s</sup> 07	2 <sup>s</sup> 99	2 <sup>s</sup> 90	2 <sup>s</sup> 81	2 <sup>s</sup> 69	2 <sup>s</sup> 53	2 <sup>s</sup> 42	2 <sup>s</sup> 28	10 40	01 20	
23 00	13 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 01	2 <sup>s</sup> 94	2 <sup>s</sup> 87	2 <sup>s</sup> 78	2 <sup>s</sup> 66	2 <sup>s</sup> 58	2 <sup>s</sup> 47	11 00	01 00	
23 20	12 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 03	2 <sup>s</sup> 99	2 <sup>s</sup> 94	2 <sup>s</sup> 88	2 <sup>s</sup> 79	2 <sup>s</sup> 74	2 <sup>s</sup> 67	11 20	00 40	
23 40	12 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 05	3 <sup>s</sup> 03	3 <sup>s</sup> 00	2 <sup>s</sup> 97	2 <sup>s</sup> 93	2 <sup>s</sup> 90	2 <sup>s</sup> 87	11 40	00 20	
00 00	12 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 07	12 00	24 00	
00 20	11 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 09	3 <sup>s</sup> 11	3 <sup>s</sup> 14	3 <sup>s</sup> 17	3 <sup>s</sup> 21	3 <sup>s</sup> 24	3 <sup>s</sup> 27	12 20	23 40	
00 40	11 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 11	3 <sup>s</sup> 15	3 <sup>s</sup> 20	3 <sup>s</sup> 26	3 <sup>s</sup> 35	3 <sup>s</sup> 40	3 <sup>s</sup> 47	12 40	23 20	
01 00	11 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 13	3 <sup>s</sup> 20	3 <sup>s</sup> 27	3 <sup>s</sup> 36	3 <sup>s</sup> 48	3 <sup>s</sup> 56	3 <sup>s</sup> 67	13 00	23 00	
01 20	10 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 15	3 <sup>s</sup> 24	3 <sup>s</sup> 33	3 <sup>s</sup> 45	3 <sup>s</sup> 61	3 <sup>s</sup> 72	3 <sup>s</sup> 86	13 20	22 40	
01 40	10 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 17	3 <sup>s</sup> 28	3 <sup>s</sup> 40	3 <sup>s</sup> 54	3 <sup>s</sup> 74	3 <sup>s</sup> 88	4 <sup>s</sup> 05	13 40	22 20	
02 00	10 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 19	3 <sup>s</sup> 31	3 <sup>s</sup> 46	3 <sup>s</sup> 63	3 <sup>s</sup> 87	4 <sup>s</sup> 02	4 <sup>s</sup> 23	14 00	22 00	
02 20	09 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 21	3 <sup>s</sup> 35	3 <sup>s</sup> 51	3 <sup>s</sup> 71	3 <sup>s</sup> 98	4 <sup>s</sup> 16	4 <sup>s</sup> 40	14 20	21 40	
02 40	09 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 22	3 <sup>s</sup> 38	3 <sup>s</sup> 57	3 <sup>s</sup> 79	4 <sup>s</sup> 09	4 <sup>s</sup> 30	4 <sup>s</sup> 56	14 40	21 20	
03 00	09 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 24	3 <sup>s</sup> 41	3 <sup>s</sup> 62	3 <sup>s</sup> 86	4 <sup>s</sup> 20	4 <sup>s</sup> 42	4 <sup>s</sup> 71	15 00	21 00	
03 20	08 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 25	3 <sup>s</sup> 44	3 <sup>s</sup> 66	3 <sup>s</sup> 93	4 <sup>s</sup> 29	4 <sup>s</sup> 53	4 <sup>s</sup> 84	15 20	20 40	
03 40	08 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 26	3 <sup>s</sup> 47	3 <sup>s</sup> 70	3 <sup>s</sup> 99	4 <sup>s</sup> 37	4 <sup>s</sup> 63	4 <sup>s</sup> 97	15 40	20 20	
04 00	08 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 27	3 <sup>s</sup> 49	3 <sup>s</sup> 74	4 <sup>s</sup> 04	4 <sup>s</sup> 45	4 <sup>s</sup> 72	5 <sup>s</sup> 07	16 00	20 00	
04 20	07 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 28	3 <sup>s</sup> 51	3 <sup>s</sup> 77	4 <sup>s</sup> 09	4 <sup>s</sup> 51	4 <sup>s</sup> 80	5 <sup>s</sup> 17	16 20	19 40	
04 40	07 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 29	3 <sup>s</sup> 53	3 <sup>s</sup> 79	4 <sup>s</sup> 12	4 <sup>s</sup> 57	4 <sup>s</sup> 86	5 <sup>s</sup> 24	16 40	19 20	
05 00	07 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 30	3 <sup>s</sup> 54	3 <sup>s</sup> 82	4 <sup>s</sup> 15	4 <sup>s</sup> 61	4 <sup>s</sup> 91	5 <sup>s</sup> 31	17 00	19 00	
05 20	06 40	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 30	3 <sup>s</sup> 55	3 <sup>s</sup> 83	4 <sup>s</sup> 17	4 <sup>s</sup> 64	4 <sup>s</sup> 95	5 <sup>s</sup> 35	17 20	18 40	
05 40	06 20	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 30	3 <sup>s</sup> 55	3 <sup>s</sup> 84	4 <sup>s</sup> 19	4 <sup>s</sup> 66	4 <sup>s</sup> 97	5 <sup>s</sup> 38	17 40	18 20	
06 00	06 00	3 <sup>s</sup> 07	3 <sup>s</sup> 31	3 <sup>s</sup> 56	3 <sup>s</sup> 84	4 <sup>s</sup> 19	4 <sup>s</sup> 66	4 <sup>s</sup> 98	5 <sup>s</sup> 38	18 00	18 00	

### Cálculo riguroso de la precesión

En este apartado se describe el método general de cálculo riguroso de los efectos de la precesión a las coordenadas de un astro entre una cierta época origen (dada por  $DJ_{origen}$ ) y una cierta fecha o época final (dada por  $DJ_{fecha}$ ). Es decir, este método es aplicable incluso en aquellos casos en que la época a que se refieren las coordenadas originales no es la época J2000, sino otra cualquiera (J1900, B1950, etc). Algunas épocas típicas vienen dadas en el apartado *Día Juliano* en la página 121.

- 1) Cálculo de los argumentos temporales  $T$  y  $t$ , dados en siglos julianos:

$$T = (\text{época origen} - 2000.0) / 100 = (DJ_{origen} - 2\,451\,545.0) / 36\,525$$

$$t = (DJ_{fecha} - DJ_{origen}) / 36\,525$$

- 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,  $\Omega_0$ ), podemos expresar la corrección por nutación a aplicar a las coordenadas ecuatoriales ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) con las siguientes fórmulas:

$$\Delta\alpha = Ec.Eq. - (0^s,46 \text{ sen } \Omega_0 \text{ sen } \alpha + 0^s,61 \text{ cos } \Omega_0 \text{ cos } \alpha) \tan \delta$$

$$\Delta\delta = 9",2 \text{ cos } \Omega_0 \text{ sen } \alpha - 6",8 \text{ sen } \Omega_0 \text{ cos } \alpha$$

donde *Ec.Eq.* es el valor de la ecuación de los equinoccios para la fecha (ver *Tablas de tiempos* en la página 108), y  $\Omega_0$  viene dada para este año en el apartado de *Datos lunares* en la página 203 o bien se puede calcular a partir del día juliano *DJ* mediante:

$$\Omega_0 = 125^{\circ}045 - 0^{\circ}05295376 (DJ - 2\ 451\ 545)$$

## Variaciones irregulares de la rotación terrestre.

Los movimientos de precesión y nutación se producen por influencias externas (particularmente Sol y Luna) en el movimiento como sólido rígido que tiene la Tierra. Sin embargo también hay factores internos del planeta, como las redistribuciones de masas en su interior o su superficie (por ejemplo grandes corrientes oceánicas, o cambios en la acumulación estacional de nieve), que generan variaciones irregulares en la posición del eje, o pequeñas aceleraciones o desaceleraciones en la rotación. Estos cambios se miden mediante los Parámetros de Orientación Terrestres (EOP en sus siglas en inglés), que además proporcionan la transformación dependiente del tiempo entre sistemas de referencia que se ven afectados por estas variaciones (particularmente entre el Sistema de Referencia Terrestre Internacional y el Sistema de Referencia Celeste Internacional). Los EOP son cinco, y son los siguientes:

- *El tiempo universal*. Es el tiempo empleado en la rotación, y en concreto es UT1, que mide el tiempo de rotación terrestre corrigiendo por el movimiento del polo.
- *Coordenadas del polo*. Son dos parámetros que miden la posición sobre la superficie de la Tierra del polo celeste (punto

por el que pasa el eje de rotación) con respecto a la posición de un punto estático, el polo celeste de referencia. El polo celeste describe movimientos que implican variaciones del orden de metros con respecto al polo de referencia a lo largo del año.

- *Desviaciones del polo.* Son dos parámetros que en este caso miden las desviaciones de la posición del polo celeste respecto a la posición definida por los modelos de precesión y nutación de la IAU.

Los EOP se determinan mediante diversas técnicas geodésicas. La única que permite la determinación directa de todos los EOP es la interferometría de muy larga línea de base (VLBI). En la actualidad, las observaciones de VLBI geodésico son coordinadas por el Servicio Internacional de VLBI para Geodesia y Astronomía (IVS), compuesto por unas 45 antenas pertenecientes a unas 40 organizaciones localizadas en 20 países. Una de ellas es la antena de 13,2 m del Observatorio de Yebes (Guadalajara), dependiente del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### 3.4. Traslación terrestre

La Tierra orbita en torno a nuestra estrella, el Sol, como el resto de planetas del sistema solar. Las leyes de Kepler, que describen las órbitas heliocéntricas, y las definiciones y fórmulas de cálculo de los elementos orbitales que se recogen a continuación se encuentran en la página 171. En este anuario se dan los elementos orbitales referidos al equinoccio y eclíptica medios J2000.0. Cuando una 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 parámetros orbitales de la Tierra:

#### Parámetros orbitales medios J2000

Semieje mayor de la órbita	149 598 000 km
Excentricidad	0,01671022
Inclinación del plano orbital	0°000
Longitud del nodo ascendente	-11°26064
Longitud del perihelio	102°94719
Longitud media	100°46435

La inclinación del plano orbital es el ángulo entre el plano orbital de la Tierra y la eclíptica.

## Distancias al Sol

En astronomía se usa frecuentemente como unidad de medida de longitud la Unidad Astronómica (UA o AU), que es igual por definición a 149597870,700 km, un valor que equivale aproximadamente a la distancia media entre la Tierra y el Sol.

Distancia media	149 598 000 km (1,000001018 ua)
Distancia perihélica	147 095 000 km
Distancia afélica	152 100 000 km

## Tiempos

- *Periodo (año) sidéreo.* Intervalo de tiempo que transcurre para que la Tierra complete una vuelta en torno al Sol, usando como referencia el sistema de las estrellas fijas. Duración: 365,256 días.
- *Periodo (año) solar o tropical.* Intervalo de tiempo que transcurre entre dos equinoccios iguales, o también se puede definir como el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de la Tierra por el punto Aries. Tiene una duración aceptada de 365,242 días, pero debido a la influencia de la precesión del eje de rotación terrestre, que varía la posición del punto Aries, y a perturbaciones en el movimiento orbital de la Tierra, no se puede considerar que tenga una duración constante.

## Velocidades

Velocidad orbital máxima	29,29 km/s
Velocidad orbital mínima	30,29 km/s
Velocidad orbital media	29,78 km/s
Movimiento medio diario	0,985647

## Corrección de las coordenadas por aberración ánu

El fenómeno de la aberración de la luz, o aberración de Bradley, produce una diferencia entre la posición geométrica y la posición observada de un astro, debido a la combinación de la velocidad que tiene la Tierra, y por tanto el observador, y la velocidad de la luz proveniente del astro. Cuando se tiene en cuenta exclusivamente el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, el fenómeno se denomina aberración ánu. Para alcanzar una precisión en las coordenadas del astro del orden del segundo de arco debe tenerse en cuenta la corrección correspondiente a este fenómeno. En primera aproximación,

prescindiendo de la pequeña excentricidad de la órbita terrestre, la corrección a las coordenadas ecuatoriales  $(\alpha, \delta)$  viene dada por:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha &= -(1^{\text{s}}366 \text{ sen } L_{\odot} \text{ sen } \alpha + 1^{\text{s}}253 \text{ cos } L_{\odot} \text{ cos } \alpha) / \text{cos } \delta \\ \Delta\delta &= 18''80 \text{ sen } \delta \text{ sen } \alpha \text{ cos } L_{\odot} - 20''49 \text{ sen } \delta \text{ cos } \alpha \text{ sen } L_{\odot} \\ &\quad - 8''15 \text{ cos } \delta \text{ cos } L_{\odot}\end{aligned}$$

donde la longitud media  $L_{\odot}$  viene dada para este año en el apartado de *Datos solares* en la página 171, o se puede considerar de modo general en función del día juliano  $DJ$  mediante:

$$L_{\odot} = 280^{\circ}466 + 0^{\circ}98564736 (DJ - 2\,451\,545)$$

### 3.5. Satélites artificiales

Desde los años 50 del pasado siglo el número de satélites artificiales en torno a la Tierra ha ido en aumento, contribuyendo al desarrollo de campos como la investigación espacial, la observación de la propia Tierra, la meteorología o las telecomunicaciones. Su proliferación ha producido que, según la Oficina de Basura Espacial de la Agencia Espacial Europea, actualmente haya más de 20.000 objetos en órbita alrededor de nuestro planeta, aunque solo una fracción de ellos son satélites actualmente operativos. El número de satélites en órbita está sufriendo un fuerte incremento en los últimos años debido al lanzamiento de constelaciones de satélites, grupos de satélites artificiales con un mismo diseño y que trabajan como un único sistema. Algunos ejemplos son las constelaciones de satélites para geoposicionamiento (GPS, Galileo o GLONASS), todas con un número relativamente pequeño de satélites, siempre por debajo del centenar. Sin embargo otro ejemplo reciente, y que parece ser precursor de otros proyectos de similares características, es el de los satélites Starlink para telecomunicaciones. La empresa responsable, SpaceX, ha lanzado hasta ahora (2024) más de 6000 satélites y prevé lanzar hasta 42.000 en los próximos años. Por lo tanto el número de satélites en órbita en los próximos años puede multiplicarse por un importante factor, y su injerencia en las observaciones profesionales en óptico y radio debe ser considerada.

Los satélites artificiales interfieren también en las observaciones astronómicas amateurs, particularmente tras la puesta del Sol o antes de su salida, cuando el cielo está oscuro para la observación pero la luz solar sigue incidiendo en los objetos en órbita. Un ejemplo habitual, que puede constituir un aliciente observacional, es el seguimiento de la Estación Espacial Internacional. Otro ejemplo son los ya

mencionados satélites Starlink, observables a simple vista especialmente cuando se produce el lanzamiento de un conjunto de ellos, y estos se desplazan durante las siguientes horas y días hasta alcanzar sus órbitas de operación.

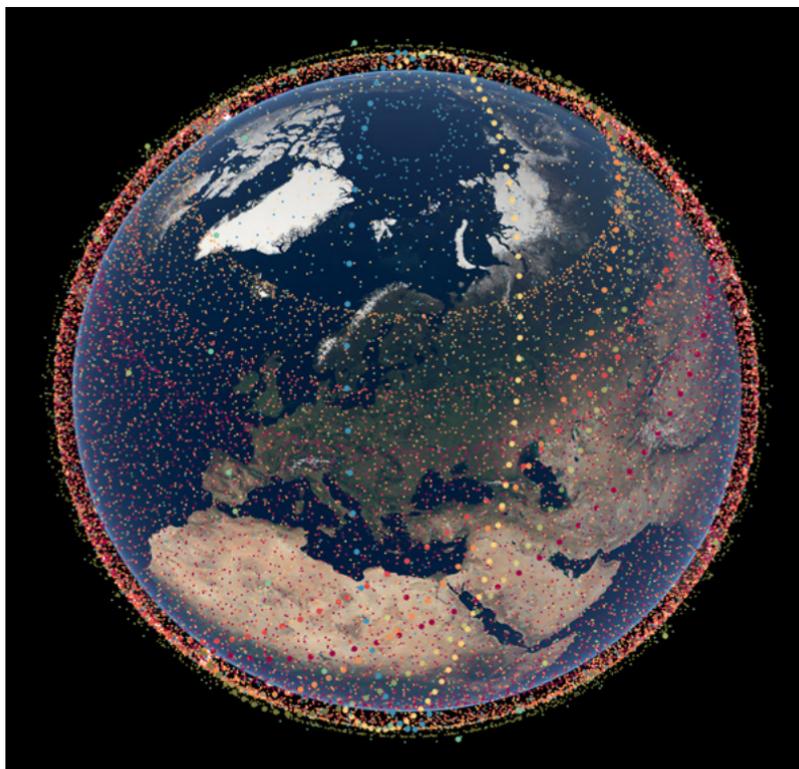
Actualmente existen una serie de recursos en red que permiten tanto planificar previamente la observación de estos objetos como identificar a posteriori cualquier objeto no identificado observado en el cielo nocturno. Algunos de estos servicios (en inglés) son los siguientes:

Estación Espacial Internacional:

<https://spotthestation.nasa.gov/home.cfm>

Satélites: <https://www.satflare.com/home.asp>

Satélites: [www.heavens-above.com](http://www.heavens-above.com)



Visualización de los 30.000 satélites previstos de la constelación Starlink Generación 2. ESO



**Posición geográfica de las capitales de provincia,  
ciudades de más de 170000 habitantes, Ceuta y Melilla**

ciudad	latitud $\phi$ (° ' ")	longitud (+E, -O) (° ' ")	altitud (m)
Coruña, A	43° 23' 09"	08° 24' 23" O	-33 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup> 26
Cuenca	40° 04' 36"	02° 07' 53" O	-08 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup> 999
Donostia / San Sebastián	43° 19' 02"	01° 58' 55" O	-07 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup> 8
Elche / Elx	38° 16' 02"	00° 41' 52" O	-02 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup> 86
Fuenlabrada	40° 16' 56"	03° 47' 27" O	-15 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> 664
Getafe	40° 18' 15"	03° 43' 45" O	-14 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup> 559
Gijón	43° 32' 21"	05° 39' 33" O	-22 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup> 3
Girona	41° 59' 15"	02° 49' 35" E	+11 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> 70
Granada	37° 10' 35"	03° 36' 00" O	-14 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup> 683
Guadalajara	40° 38' 04"	03° 09' 45" O	-12 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup> 685
Hospitalet de Llobregat, L'	41° 22' 55"	02° 07' 09" E	+08 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup> 14
Huelva	37° 15' 47"	06° 57' 08" O	-27 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup> 30
Huesca	42° 08' 26"	00° 24' 30" O	-01 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup> 488
Jaén	37° 45' 55"	03° 47' 25" O	-15 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> 568
Jerez de la Frontera	36° 40' 55"	06° 08' 28" O	-24 <sup>m</sup> 34 <sup>s</sup> 98
Leganés	40° 19' 39"	03° 45' 51" O	-15 <sup>m</sup> 03 <sup>s</sup> 665
León	42° 35' 57"	05° 34' 01" O	-22 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup> 838
Lleida	41° 37' 04"	00° 37' 36" E	+02 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup> 182
Logroño	42° 27' 59"	02° 26' 44" O	-09 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup> 385
Lugo	43° 00' 33"	07° 33' 28" O	-30 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> 454
Madrid	40° 24' 30"	03° 41' 15" O	-14 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> 655
Málaga	36° 43' 13"	04° 25' 12" O	-17 <sup>m</sup> 41 <sup>s</sup> 11
Melilla	35° 17' 40"	02° 56' 02" O	-11 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup> 15
Móstoles	40° 19' 25"	03° 51' 53" O	-15 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup> 661
Murcia	37° 59' 04"	01° 07' 43" O	-04 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup> 39
Ourense	42° 20' 12"	07° 51' 48" O	-31 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup> 139
Oviedo	43° 21' 44"	05° 50' 37" O	-23 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> 232
Palencia	42° 00' 40"	04° 32' 13" O	-18 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup> 734
Palma de Mallorca	39° 34' 03"	02° 38' 53" E	+10 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup> 15
Palmas de Gran Canaria, Las	28° 06' 03"	15° 24' 53" O	-1 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> 13
Pamplona / Iruña	42° 49' 11"	01° 38' 27" O	-06 <sup>m</sup> 34 <sup>s</sup> 490
Pontevedra	42° 26' 02"	08° 38' 52" O	-34 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> 27
Sabadell	41° 32' 49"	02° 06' 28" E	+08 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup> 190
Salamanca	40° 57' 38"	05° 39' 58" O	-22 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> 800
Santa Cruz de Tenerife	28° 27' 52"	16° 14' 56" O	-1 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> 5
Santander	43° 27' 38"	03° 48' 27" O	-15 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> 11
Segovia	40° 57' 00"	04° 07' 30" O	-16 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup> 1002



## Observatorios astronómicos profesionales internacionales

A continuación se proporcionan las posiciones geográficas de algunos de los más importantes observatorios profesionales activos dotadas de telescopios ópticos, infrarrojos o radio. Además se incluyen dos observatorios históricos, los de París y Greenwich.

### Observatorios relevantes 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
Armazones, EELT (Chile)	-24° 35,3	-04 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup>	3060
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
Cerro Tololo (Chile)	-30° 10,1	-04 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup>	2200
Devasthal (India)	+29° 21,6	+05 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup>	2540
Effelsberg (Alemania)	+50° 31,6	+00 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>	369
FAST "Tianyan" (China)	+25° 39,2	+07 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup>	
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
McDonald HET (EE.UU.)	+30° 40,9	-06 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup>	2026
Jodrell Bank y MERLIN (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
Mauna Kea (EE.UU.)	+19° 49,7	-10 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	4200
MeerKAT (Sudáfrica)	-30° 42,8	+01 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup>	
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
Murchison ASKAP (Australia)	-26° 41,7	+07 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>	
Narayangaon, Pune, GRMT (India)	+19° 05,5	+04 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	650
Nobeyama (Japón)	+35° 56,5	+09 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	1350
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, IRAM (Francia)	+44° 38,0	+00 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	2552
Polo Sur	-90° 00,0		2835
Sardinia SRT (Cerdeña, Italia)	+39° 29,6	+00 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	600
Sierra Negra LMT (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
Xinglong, LAMOST (China)	+40° 23,6	+07 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	900
Yunnan (China)	+25° 02,0	+06 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 08 <sup>s</sup>	2014

El número de observatorios en el mundo crece constantemente, por lo que una lista con pretensiones de completitud necesita una actualización continua. Para obtener más información a continuación indicamos enlaces a listas especialmente útiles y completas, que incluyen más de 2000 observatorios situados en más de 50 países.

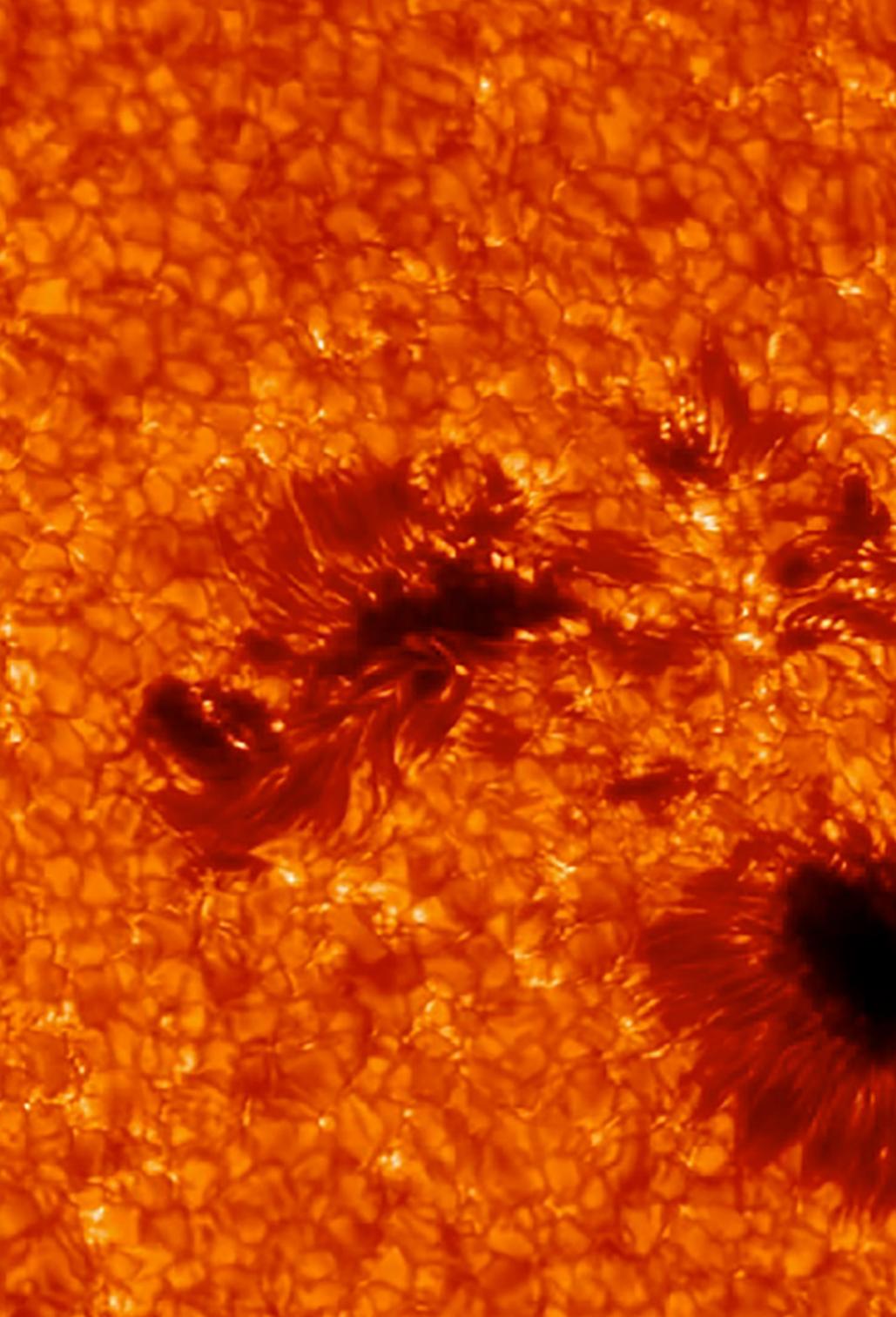
Búsqueda de las coordenadas de observatorios:

[https://www.eso.org/~ndelmott/obs\\_sites.html](https://www.eso.org/~ndelmott/obs_sites.html)

Listas de códigos de observatorios atribuidos por la UAI/IAU:

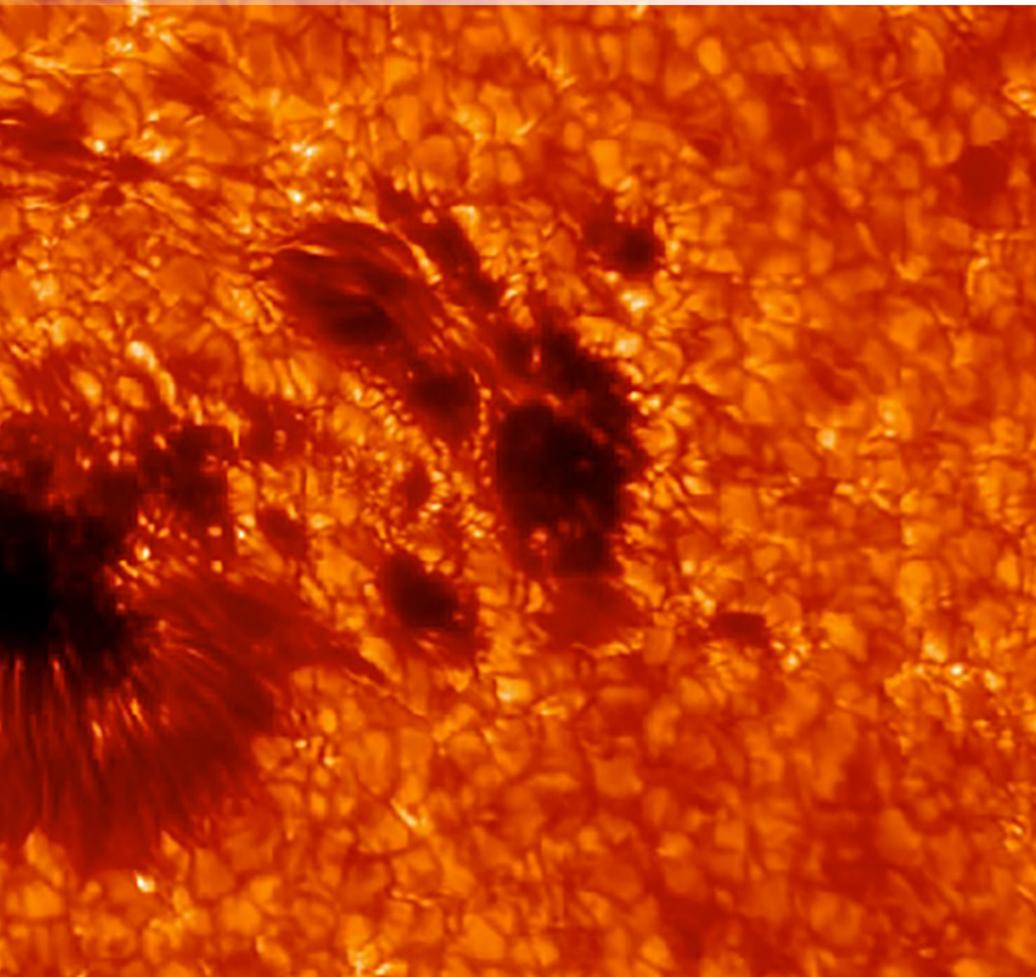
[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_observatory\\_codes](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_observatory_codes)

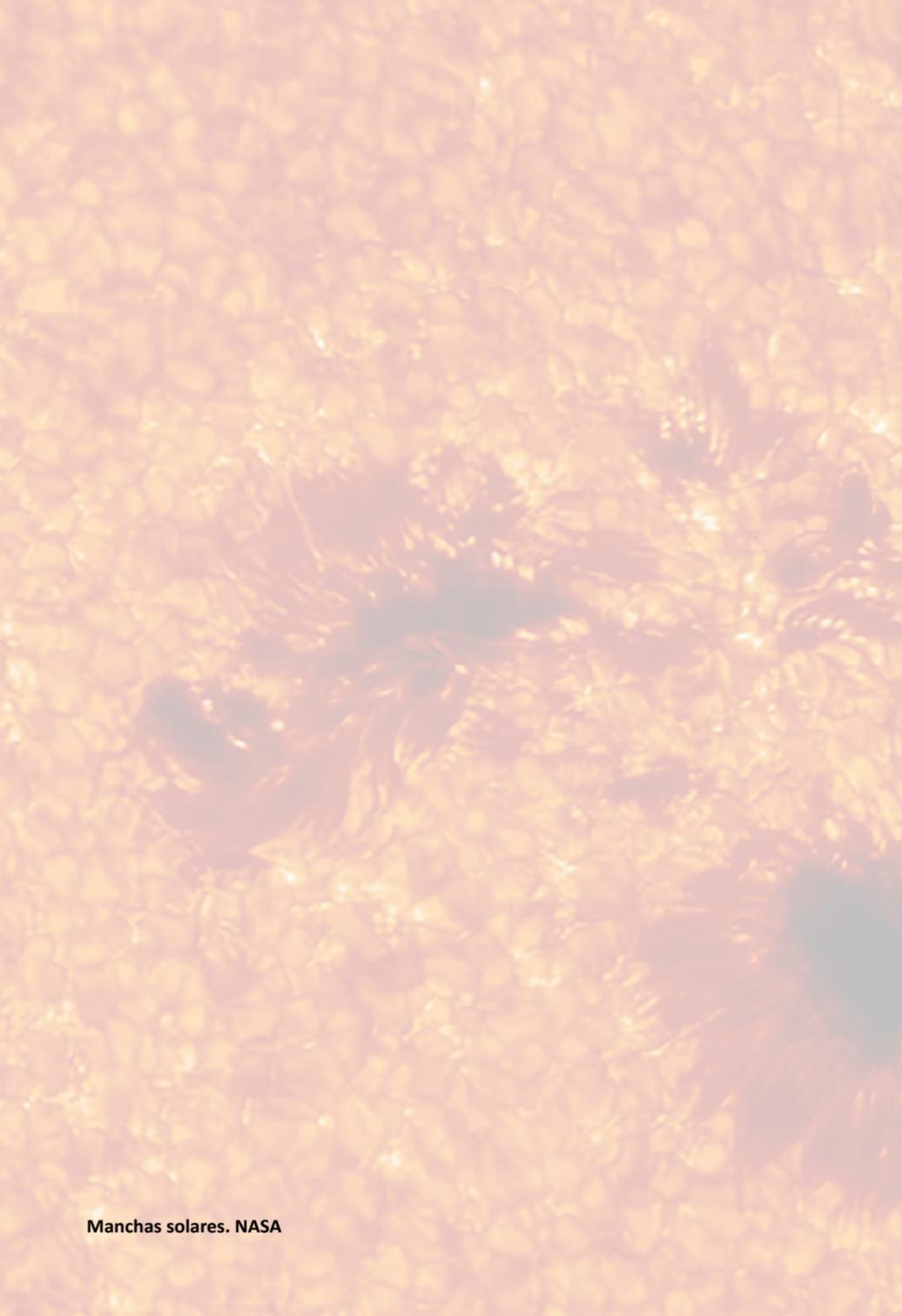
<https://vo.imcce.fr/webservices/data/displayIAUObsCodes.php>



CAPÍTULO 4

# Sol y Luna





**Manchas solares. NASA**

Ubicado en el centro del sistema solar, el Sol es nuestra estrella. En el contexto de la Vía Láctea es completamente estándar: una estrella de tipo G en secuencia principal (G2V), con una masa baja-intermedia, que no destaca en el conjunto de la población estelar de nuestra galaxia. Y sin embargo en nuestro entorno inmediato su papel es esencial: su formación generó la existencia del sistema solar, su masa actual supone el 99,86% de la masa total del sistema planetario, es su principal foco de atracción gravitatoria, y es con mucha diferencia su principal fuente de energía.

La energía que produce el Sol proviene de las reacciones de fusión nuclear que tienen lugar en su interior. Actualmente el Sol está compuesto en un 74,9% de hidrógeno y un 23,8% de helio, mientras que los elementos más pesados suponen menos de un 2% del total. La energía generada por la fusión nuclear de hidrógeno en helio en el interior solar es la que mantiene a la estrella en equilibrio frente al colapso gravitatorio. Esta energía se transfiere desde el núcleo hasta las capas más externas del Sol, y de ahí es radiada al espacio.

El Sol se formó hace aproximadamente unos 4600 millones de años, a partir del colapso de un fragmento de una nube molecular. En el proceso se formó también el resto del Sistema Solar. Actualmente el Sol está en su fase "adulta", la secuencia principal, que es la más larga y estable. Vivirá del orden de otros 5000 millones de años, al final de los cuales pasará a la fase de gigante roja y tras ello probablemente a la de enana blanca. Ese proceso alterará de forma muy significativa las condiciones de todo el sistema planetario.

El efecto del Sol en la Tierra es evidente. Es el objeto más brillante de nuestro cielo, con una magnitud de  $-26,74$ , lo que hace que muy pocos objetos o eventos astronómicos puedan ser visibles durante el día, cuando él está presente. Además el Sol mantiene una importante actividad en su superficie, parece que conectada a su actividad magnética, que genera emisiones bruscas de energía y materia al espacio mediante fulguraciones y eyecciones de masa coronal. Cuando las partículas cargadas emitidas por el Sol llegan a nuestra atmósfera causan las auroras boreales y australes, y pueden también afectar a satélites y otra instrumentación artificial. Afortunadamente el campo magnético terrestre protege en gran medida a nuestro planeta de estas tormentas solares. El campo magnético solar varía en el tiempo, lo que produce ciclos casi periódicos de actividad solar de unos 11 años, que se reflejan en el número de manchas solares promedio visibles en su superficie.

La Luna, por su parte, es el único satélite natural que tiene la Tierra. El sistema Tierra-Luna es un dúo excepcional debido a la

relación de tamaños, ya que la Luna tiene un diámetro del orden de la cuarta parte del de la Tierra. Esto hace que sea uno de los mayores satélites naturales del sistema solar con respecto al tamaño del cuerpo en torno al que gira, sólo superado por Caronte, el satélite principal de Plutón. Esta atípica relación de tamaños puede estar relacionada con el origen de la Luna, que se considera debido a los restos producidos por una colisión entre la Tierra y otro cuerpo de gran tamaño en las primeras fases de la formación del Sistema Solar. En tamaño total la Luna es el quinto satélite más grande de nuestro sistema, tras Ganímedes, Titán, Calisto e Ío.

A lo largo del tiempo las fuerzas de marea existentes entre la Tierra y la Luna han producido la sincronización entre el periodo orbital de la Luna en torno a la Tierra y su periodo de rotación, por lo que el satélite siempre nos muestra la misma cara. Además las diferencias en nuestra percepción de la iluminación de la Luna por parte del Sol, en función de la posición relativa de los tres cuerpos, generan las fases de la Luna, que han sido utilizadas en múltiples casos a lo largo de la historia de la humanidad para la medida del tiempo.

Los alineamientos de Sol, Tierra y Luna producen los eclipses de Luna (cuando la Tierra se interpone entre los otros dos) y de Sol (cuando es la Luna la que se interpone y proyecta su sombra sobre la Tierra). El hecho de que desde la Tierra el tamaño angular aparente de la Luna y el Sol sean semejantes permite que algunos de los eclipses de Sol puedan ser totales, con un oscurecimiento completo de la superficie del astro.

La Luna es un cuerpo terrestre, sin hidrosfera, atmósfera ni campo magnético. La ausencia de atmósfera y de actividad tectónica produce su característico mapa de cráteres en superficie, causados por el impacto de diversos cuerpos a lo largo de su historia. Nuestro satélite ejerce un papel decisivo en las condiciones existentes en la Tierra: es la principal causa de las mareas (con una influencia significativa pero considerablemente menor del Sol) y su presencia estabiliza el eje de rotación de la Tierra, evitando con ello bruscos cambios estacionales. Las fuerzas de marea existentes entre Tierra y Luna producen además un efecto de ralentización en la rotación de la Tierra, alargando el día terrestre unos 17 microsegundos cada año, y un alejamiento de la Luna, cuya distancia a nuestro planeta aumenta en unos 4 centímetros al año.

## 4.1. Datos solares

### Elementos medios de la órbita para 2025

Longitud media	$L_{\odot} = 279^{\circ}920158 + 0^{\circ}98564736 d$
Anomalía media	$M_{\odot} = 356^{\circ}551954 + 0^{\circ}98560028 d$
Longitud media del perigeo	$\varpi_{\odot} = 283^{\circ}368204 + 0^{\circ}00004708 d$
Eccentricidad promedio	$e_{\odot} = 0,01669838$
Oblicuidad media de la eclíptica	$\varepsilon = 23^{\circ}436040 - 0^{\circ}00000036 d$

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

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

$$\begin{aligned} \odot &= L_{\odot} + 1^{\circ}913 \operatorname{sen}(M_{\odot}) + 0^{\circ}020 \operatorname{sen}(2 M_{\odot}) \\ &= 279^{\circ}914 + 0^{\circ}98566 d + 1^{\circ}913 \operatorname{sen}(0^{\circ}9856 d - 3^{\circ}4) \\ &\quad + 0^{\circ}020 \operatorname{sen}(2^{\circ}d - 12^{\circ}) \end{aligned}$$

### Duración de los años

año trópico:	365 <sup>d</sup> ,242188	365 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> ,05	(equin.–equin.)
año sidéreo:	365 <sup>d</sup> ,256363	365 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup> ,7	(estrella–estrella)
año anomalístico:	365 <sup>d</sup> ,259636	365 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> ,6	(perih.–perih.)

### 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	$\tau_A = 499^s,004784$	$\simeq 8^m19^s,0$
Paralaje horizontal ecuatorial a la distancia media		8",794148

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

### Datos físicos

		en unidades terrestres
Radio	$R_{\odot} = 695\,660 \text{ km}$	109 $R_{\oplus}$
Superficie	$6,081 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$	11 900
Volumen	$1,4120 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$	1 300 000
Masa	$M_{\odot} = 1,988547 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	333 000 $M_{\oplus}$
Densidad media	$1,410 \text{ g cm}^{-3}$	0,256
Constante gravitatoria	$G M_{\odot} = 1,3271244 \cdot 10^{20} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	333 000
Gravedad superficial	$274 \text{ m s}^{-2}$	27,9
Velocidad de escape	$617,5 \text{ km s}^{-1}$	55

**Núcleo:**

Densidad central	151 g cm <sup>-3</sup>
Temperatura central	15,6 10 <sup>6</sup> K
Presión central	2,33 10 <sup>11</sup> atm
Fracción en masa del H	0,355

**Generación de energía:**

Por unidad de masa	1,9 erg g <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
Consumo de masa	4,3 10 <sup>12</sup> g s <sup>-1</sup>
Potencia emitida	$\mathcal{L}_{\odot} = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W} = 3,828 \cdot 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$
Emisividad superficial	6,28 10 <sup>7</sup> W m <sup>-2</sup>

**Rotación**

Velocidad angular (°/día)	$\omega = 14,713 - 2,396 \sin^2 \phi_{\odot} - 1,787 \sin^4 \phi_{\odot}$
Velocidad superficial en el ecuador solar ( $\phi_{\odot} = 0^{\circ}$ )	2,1 km s <sup>-1</sup>
Periodo de rotación sidéreo en el ecuador solar	24 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>
" " sidéreo (a $\phi_{\odot} = 26^{\circ}$ )	25 <sup>d</sup> 09 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>
" " sinódico (a $\phi_{\odot} = 26^{\circ}$ )	27 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>
Inclinación del ecuador sobre la eclíptica	7°15'
Longitud del nodo ascendente del ecuador solar	76,1
Orientación del Polo Norte solar	$\alpha_{PN} = 286,18$ $\delta_{PN} = 63,91$

**Luminosidad**

Luminosidad total	$\mathcal{L}_{\odot} = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W} = 3,828 \cdot 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$
Tipo estelar	G2 V
Temperatura efectiva	$T_{\text{eff}} = 5772 \text{ K}$
Magnitudes absolutas	$M_{\text{bol}} = 4,74$ $M_{\text{U}} = 5,67$ $M_{\text{V}} = 4,83$ $M_{\text{B}} = 5,48$

Temperatura equivalente de su emisión a longitudes de onda ( $\lambda$ ) radio:  
 $T(\lambda < 2 \text{ cm}) \approx 10^4 \text{ K}$   
 $T(\lambda > 2 \text{ m}) \approx 10^6 \text{ K}$

**Flujo fuera de la atmósfera terrestre:**

Magnitudes aparentes	$m_{\text{bol}} = -26,832$ $m_{\text{U}} = -25,96$ $V = m_{\text{V}} = -26,75$ $B = m_{\text{B}} = -26,09$
Constante solar	1361 W m <sup>-2</sup> 1,95 cal cm <sup>-2</sup> min <sup>-1</sup>

## Fotosfera solar

presión del gas en superficie	0,868 mb
temperatura efectiva	
temperatura en la parte alta	4400 K
temperatura en la parte baja	6600 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	~ 3000 Gs
penumbra de manchas solares	~ 1500 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 km s <sup>-1</sup>
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 km s <sup>-1</sup>
Periodo de traslación	240 $10^6$ años

## 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 <sup>6</sup> )
H	1	1000000
He	2	98000
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  $\varepsilon_0 = 23^\circ 26' 21'' 406$   
 $= 23^\circ 4392794$   
 $= 84\ 382'' 406$

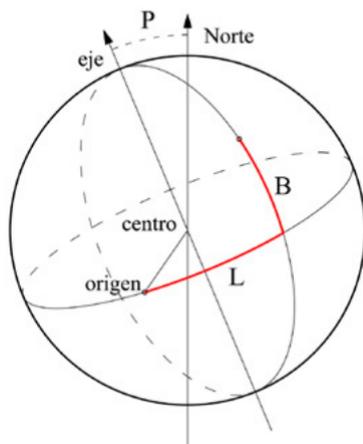
## 4.2. Efemérides solares diarias para el año 2025

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 (véase el apartado *Ortos, ocasos y pasos del Sol por el meridiano* en la página 191). 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 página 473).

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  $0^{\text{h}}$  de TU de este día (véase el apartado *Tablas de tiempos* en la página 108);
- 2) se le resta la longitud del lugar (por ejemplo, en el caso de Madrid se suman  $15^{\text{m}}$  (al ser la longitud de Madrid de  $-15^{\text{m}}$ ); y
- 3) si tenemos un tiempo negativo, se suman  $24^{\text{h}}$ .

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

$$P \simeq -23^{\circ}5 \cos \odot - 7^{\circ}2 \cos(\odot - 76^{\circ})$$

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

$$L \simeq \odot + 81^{\circ} + 14^{\circ}1844 (2\ 451\ 545 - DJ)$$

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

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

## SOL Enero 2025

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	7 38	12 18 26	16 59	18 47 02,4	-22 59 54	01,9	-3,0	76,7	
2 J	7 38	12 18 54	17 00	18 51 27,2	-22 54 42	01,5	-3,1	63,6	
3 V	7 38	12 19 22	17 01	18 55 51,7	-22 49 03	01,0	-3,3	50,4	
4 S	7 38	12 19 49	17 02	19 00 15,7	-22 42 57	00,5	-3,4	37,2	
5 D	7 38	12 20 16	17 03	19 04 39,4	-22 36 24	00,0	-3,5	24,0	
6 L	7 38	12 20 42	17 04	19 09 02,5	-22 29 25	-00,5	-3,6	10,9	
7 M	7 38	12 21 08	17 05	19 13 25,2	-22 21 58	-01,0	-3,7	357,7	
8 M	7 38	12 21 34	17 06	19 17 47,3	-22 14 05	-01,4	-3,8	344,5	
9 J	7 38	12 21 58	17 07	19 22 09,0	-22 05 46	-01,9	-3,9	331,4	
10 V	7 37	12 22 23	17 08	19 26 30,0	-21 57 01	-02,4	-4,0	318,2	
11 S	7 37	12 22 46	17 09	19 30 50,5	-21 47 51	-02,9	-4,1	305,0	
12 D	7 37	12 23 09	17 10	19 35 10,4	-21 38 15	-03,4	-4,2	291,9	
13 L	7 37	12 23 32	17 11	19 39 29,6	-21 28 14	-03,8	-4,4	278,6	
14 M	7 36	12 23 53	17 12	19 43 48,3	-21 17 48	-04,2	-4,4	265,5	
15 M	7 36	12 24 14	17 13	19 48 06,2	-21 06 58	-04,8	-4,6	252,4	
16 J	7 35	12 24 35	17 14	19 52 23,6	-20 55 44	-05,2	-4,6	239,2	
17 V	7 35	12 24 54	17 15	19 56 40,2	-20 44 05	-05,7	-4,8	226,0	
18 S	7 34	12 25 13	17 16	20 00 56,1	-20 32 03	-06,2	-4,8	212,8	
19 D	7 34	12 25 32	17 18	20 05 11,3	-20 19 38	-06,6	-4,9	199,7	
20 L	7 33	12 25 49	17 19	20 09 25,8	-20 06 50	-07,1	-5,0	186,5	
21 M	7 33	12 26 06	17 20	20 13 39,6	-19 53 38	-07,5	-5,1	173,4	
22 M	7 32	12 26 22	17 21	20 17 52,6	-19 40 05	-08,0	-5,2	160,2	
23 J	7 31	12 26 38	17 22	20 22 04,9	-19 26 10	-08,4	-5,3	147,0	
24 V	7 31	12 26 52	17 23	20 26 16,5	-19 11 52	-08,9	-5,4	133,8	
25 S	7 30	12 27 06	17 25	20 30 27,2	-18 57 14	-09,3	-5,5	120,7	
26 D	7 29	12 27 19	17 26	20 34 37,2	-18 42 15	-09,7	-5,6	107,5	
27 L	7 28	12 27 31	17 27	20 38 46,4	-18 26 55	-10,2	-5,6	94,4	
28 M	7 28	12 27 43	17 28	20 42 54,8	-18 11 15	-10,6	-5,7	81,2	
29 M	7 27	12 27 53	17 30	20 47 02,4	-17 55 16	-11,0	-5,8	68,0	
30 J	7 26	12 28 03	17 31	20 51 09,2	-17 38 57	-11,4	-5,9	54,8	
31 V	7 25	12 28 12	17 32	20 55 15,1	-17 22 19	-11,8	-6,0	41,7	

## SOL Febrero 2025

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 S	7 24	12 28 20	17 33	20 59 20,2	-17 05 23	-12,2	-6,0	28,5	
2 D	7 23	12 28 27	17 34	21 03 24,5	-16 48 09	-12,6	-6,1	15,4	
3 L	7 22	12 28 34	17 36	21 07 28,0	-16 30 37	-13,0	-6,2	2,2	
4 M	7 21	12 28 40	17 37	21 11 30,6	-16 12 48	-13,4	-6,2	349,0	
5 M	7 20	12 28 44	17 38	21 15 32,4	-15 54 43	-13,8	-6,3	335,9	
6 J	7 19	12 28 48	17 39	21 19 33,4	-15 36 21	-14,2	-6,4	322,7	
7 V	7 18	12 28 52	17 41	21 23 33,6	-15 17 43	-14,6	-6,4	309,5	
8 S	7 17	12 28 54	17 42	21 27 32,9	-14 58 49	-15,0	-6,5	296,4	
9 D	7 15	12 28 56	17 43	21 31 31,4	-14 39 41	-15,3	-6,5	283,1	
10 L	7 14	12 28 56	17 44	21 35 29,2	-14 20 18	-15,7	-6,6	270,0	
11 M	7 13	12 28 56	17 45	21 39 26,2	-14 00 41	-16,1	-6,6	256,9	
12 M	7 12	12 28 56	17 47	21 43 22,3	-13 40 50	-16,4	-6,7	243,7	
13 J	7 11	12 28 54	17 48	21 47 17,8	-13 20 45	-16,8	-6,7	230,5	
14 V	7 09	12 28 52	17 49	21 51 12,4	-13 00 28	-17,1	-6,8	217,4	
15 S	7 08	12 28 49	17 50	21 55 06,4	-12 39 58	-17,4	-6,8	204,2	
16 D	7 07	12 28 45	17 51	21 58 59,6	-12 19 15	-17,8	-6,9	191,0	
17 L	7 05	12 28 41	17 53	22 02 52,2	-11 58 21	-18,1	-6,9	177,8	
18 M	7 04	12 28 36	17 54	22 06 44,0	-11 37 15	-18,4	-7,0	164,7	
19 M	7 03	12 28 30	17 55	22 10 35,2	-11 15 58	-18,6	-7,0	151,5	
20 J	7 01	12 28 24	17 56	22 14 25,7	-10 54 30	-19,0	-7,0	138,3	
21 V	7 00	12 28 17	17 57	22 18 15,6	-10 32 52	-19,4	-7,0	125,2	
22 S	6 59	12 28 09	17 58	22 22 04,9	-10 11 04	-19,6	-7,1	112,0	
23 D	6 57	12 28 01	18 00	22 25 53,6	-09 49 07	-19,9	-7,1	98,8	
24 L	6 56	12 27 52	18 01	22 29 41,6	-09 27 00	-20,2	-7,1	85,7	
25 M	6 54	12 27 43	18 02	22 33 29,1	-09 04 45	-20,5	-7,2	72,5	
26 M	6 53	12 27 33	18 03	22 37 16,0	-08 42 22	-20,8	-7,2	59,3	
27 J	6 51	12 27 22	18 04	22 41 02,4	-08 19 50	-21,0	-7,2	46,2	
28 V	6 50	12 27 11	18 05	22 44 48,2	-07 57 12	-21,3	-7,2	33,0	

## SOL Marzo 2025

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 S	6 48	12 27 00	18 06	22 48 33,5	-07 34 26	-21,6	-7,2	19,8	
2 D	6 47	12 26 48	18 08	22 52 18,3	-07 11 34	-21,8	-7,2	6,6	
3 L	6 45	12 26 35	18 09	22 56 02,6	-06 48 36	-22,0	-7,2	353,5	
4 M	6 44	12 26 22	18 10	22 59 46,4	-06 25 32	-22,3	-7,2	340,3	
5 M	6 42	12 26 09	18 11	23 03 29,7	-06 02 23	-22,5	-7,2	327,1	
6 J	6 41	12 25 55	18 12	23 07 12,6	-05 39 09	-22,7	-7,2	313,9	
7 V	6 39	12 25 41	18 13	23 10 55,1	-05 15 51	-22,9	-7,2	300,8	
8 S	6 37	12 25 26	18 14	23 14 37,2	-04 52 28	-23,2	-7,2	287,6	
9 D	6 36	12 25 11	18 15	23 18 18,8	-04 29 02	-23,4	-7,2	274,4	
10 L	6 34	12 24 55	18 16	23 22 00,1	-04 05 33	-23,6	-7,2	261,1	
11 M	6 33	12 24 40	18 17	23 25 41,1	-03 42 01	-23,7	-7,2	248,0	
12 M	6 31	12 24 23	18 18	23 29 21,7	-03 18 26	-23,9	-7,2	234,9	
13 J	6 29	12 24 07	18 20	23 33 02,0	-02 54 49	-24,1	-7,2	221,7	
14 V	6 28	12 23 50	18 21	23 36 42,0	-02 31 10	-24,3	-7,2	208,5	
15 S	6 26	12 23 34	18 22	23 40 21,8	-02 07 29	-24,4	-7,2	195,3	
16 D	6 25	12 23 17	18 23	23 44 01,4	-01 43 47	-24,6	-7,2	182,2	
17 L	6 23	12 22 59	18 24	23 47 40,7	-01 20 05	-24,7	-7,1	169,0	
18 M	6 21	12 22 42	18 25	23 51 19,9	-00 56 22	-24,9	-7,1	155,8	
19 M	6 20	12 22 24	18 26	23 54 58,9	-00 32 38	-25,0	-7,1	142,5	
20 J	6 18	12 22 06	18 27	23 58 37,8	-00 08 56	-25,1	-7,0	129,4	
21 V	6 16	12 21 49	18 28	00 02 16,5	+00 14 47	-25,3	-7,0	116,2	
22 S	6 15	12 21 31	18 29	00 05 55,2	+00 38 29	-25,4	-7,0	103,1	
23 D	6 13	12 21 13	18 30	00 09 33,8	+01 02 09	-25,5	-7,0	89,9	
24 L	6 11	12 20 55	18 31	00 13 12,3	+01 25 48	-25,6	-6,9	76,7	
25 M	6 10	12 20 37	18 32	00 16 50,8	+01 49 25	-25,7	-6,9	63,5	
26 M	6 08	12 20 18	18 33	00 20 29,3	+02 12 59	-25,8	-6,8	50,3	
27 J	6 06	12 20 00	18 34	00 24 07,8	+02 36 31	-25,8	-6,8	37,1	
28 V	6 05	12 19 42	18 35	00 27 46,3	+02 59 60	-25,9	-6,8	23,9	
29 S	6 03	12 19 24	18 36	00 31 24,8	+03 23 25	-26,0	-6,7	10,8	
30 D	6 02	12 19 07	18 37	00 35 03,4	+03 46 46	-26,0	-6,6	357,6	
31 L	6 00	12 18 49	18 38	00 38 42,1	+04 10 03	-26,1	-6,6	344,4	

Inicio de la primavera el día 20 a las 9<sup>h</sup> 1<sup>m</sup> de TU.

## SOL Abril 2025

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 58	12 18 31	18 39	00 42 20,9	+04 33 15	-26,1	-6,6	331,2	
2 M	5 57	12 18 13	18 40	00 45 59,7	+04 56 23	-26,2	-6,5	318,0	
3 J	5 55	12 17 56	18 41	00 49 38,7	+05 19 25	-26,2	-6,4	304,8	
4 V	5 53	12 17 38	18 43	00 53 17,8	+05 42 21	-26,2	-6,4	291,6	
5 S	5 52	12 17 21	18 44	00 56 57,1	+06 05 11	-26,2	-6,3	278,4	
6 D	5 50	12 17 04	18 45	01 00 36,5	+06 27 55	-26,2	-6,2	265,1	
7 L	5 49	12 16 47	18 46	01 04 16,1	+06 50 32	-26,2	-6,2	252,0	
8 M	5 47	12 16 31	18 47	01 07 55,9	+07 13 01	-26,2	-6,1	238,8	
9 M	5 45	12 16 14	18 48	01 11 35,9	+07 35 24	-26,2	-6,1	225,6	
10 J	5 44	12 15 58	18 49	01 15 16,2	+07 57 38	-26,2	-6,0	212,4	
11 V	5 42	12 15 42	18 50	01 18 56,7	+08 19 45	-26,2	-5,9	199,2	
12 S	5 41	12 15 27	18 51	01 22 37,5	+08 41 42	-26,2	-5,8	186,0	
13 D	5 39	12 15 11	18 52	01 26 18,6	+09 03 32	-26,1	-5,8	172,8	
14 L	5 38	12 14 56	18 53	01 30 00,1	+09 25 12	-26,0	-5,7	159,6	
15 M	5 36	12 14 42	18 54	01 33 41,9	+09 46 43	-26,0	-5,6	146,4	
16 M	5 35	12 14 28	18 55	01 37 24,0	+10 08 04	-25,9	-5,5	133,2	
17 J	5 33	12 14 14	18 56	01 41 06,5	+10 29 16	-25,9	-5,4	120,0	
18 V	5 32	12 14 00	18 57	01 44 49,5	+10 50 17	-25,8	-5,4	106,8	
19 S	5 30	12 13 47	18 58	01 48 32,8	+11 11 07	-25,7	-5,3	93,6	
20 D	5 29	12 13 35	18 59	01 52 16,5	+11 31 46	-25,6	-5,2	80,4	
21 L	5 27	12 13 23	19 00	01 56 00,7	+11 52 15	-25,5	-5,1	67,2	
22 M	5 26	12 13 11	19 01	01 59 45,4	+12 12 31	-25,4	-5,0	54,0	
23 M	5 25	12 13 00	19 02	02 03 30,5	+12 32 36	-25,3	-4,9	40,8	
24 J	5 23	12 12 49	19 03	02 07 16,1	+12 52 28	-25,2	-4,8	27,5	
25 V	5 22	12 12 39	19 04	02 11 02,2	+13 12 08	-25,0	-4,8	14,3	
26 S	5 20	12 12 29	19 05	02 14 48,7	+13 31 35	-24,9	-4,7	1,1	
27 D	5 19	12 12 20	19 06	02 18 35,8	+13 50 48	-24,7	-4,6	347,9	
28 L	5 18	12 12 11	19 07	02 22 23,4	+14 09 48	-24,6	-4,5	334,7	
29 M	5 16	12 12 03	19 08	02 26 11,5	+14 28 34	-24,4	-4,4	321,5	
30 M	5 15	12 11 55	19 09	02 30 00,2	+14 47 05	-24,2	-4,2	308,3	

## SOL Mayo 2025

Día	En Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						a 0 <sup>h</sup> de TU			
	Orto		Culmin.			Ocaso		Asc. Recta			Declinac.			P	B	L
	h	m	h	m	s	h	m	h	m	s	°	'	"	°	°	°
1 J	5	14	12	11	48	19	10	02	33	49,3	+15	05	22	-24,1	-4,2	295,0
2 V	5	13	12	11	42	19	11	02	37	39,0	+15	23	23	-23,9	-4,1	281,8
3 S	5	11	12	11	36	19	12	02	41	29,2	+15	41	09	-23,7	-4,0	268,6
4 D	5	10	12	11	30	19	14	02	45	19,9	+15	58	40	-23,5	-3,9	255,4
5 L	5	09	12	11	25	19	15	02	49	11,2	+16	15	54	-23,3	-3,8	242,2
6 M	5	08	12	11	20	19	16	02	53	03,0	+16	32	52	-23,1	-3,7	229,0
7 M	5	07	12	11	17	19	17	02	56	55,4	+16	49	34	-22,9	-3,6	215,7
8 J	5	06	12	11	13	19	18	03	00	48,3	+17	05	58	-22,7	-3,4	202,5
9 V	5	04	12	11	10	19	19	03	04	41,7	+17	22	05	-22,4	-3,3	189,3
10 S	5	03	12	11	08	19	20	03	08	35,7	+17	37	55	-22,2	-3,2	176,1
11 D	5	02	12	11	06	19	21	03	12	30,3	+17	53	27	-21,9	-3,1	162,8
12 L	5	01	12	11	05	19	21	03	16	25,5	+18	08	41	-21,7	-3,0	149,5
13 M	5	00	12	11	05	19	22	03	20	21,2	+18	23	37	-21,4	-2,9	136,4
14 M	4	59	12	11	05	19	23	03	24	17,5	+18	38	14	-21,2	-2,8	123,2
15 J	4	58	12	11	05	19	24	03	28	14,4	+18	52	33	-20,9	-2,7	110,0
16 V	4	57	12	11	07	19	25	03	32	11,8	+19	06	32	-20,6	-2,6	96,7
17 S	4	57	12	11	08	19	26	03	36	09,8	+19	20	12	-20,3	-2,4	83,5
18 D	4	56	12	11	11	19	27	03	40	08,4	+19	33	33	-20,0	-2,3	70,2
19 L	4	55	12	11	14	19	28	03	44	07,6	+19	46	33	-19,7	-2,2	57,0
20 M	4	54	12	11	17	19	29	03	48	07,3	+19	59	14	-19,4	-2,1	43,8
21 M	4	53	12	11	21	19	30	03	52	07,6	+20	11	34	-19,1	-2,0	30,6
22 J	4	52	12	11	26	19	31	03	56	08,4	+20	23	33	-18,8	-1,9	17,4
23 V	4	52	12	11	31	19	32	04	00	09,8	+20	35	11	-18,5	-1,8	4,1
24 S	4	51	12	11	36	19	33	04	04	11,7	+20	46	28	-18,1	-1,6	350,9
25 D	4	50	12	11	42	19	33	04	08	14,1	+20	57	24	-17,8	-1,5	337,7
26 L	4	50	12	11	49	19	34	04	12	17,0	+21	07	58	-17,5	-1,4	324,4
27 M	4	49	12	11	56	19	35	04	16	20,5	+21	18	10	-17,1	-1,3	311,2
28 M	4	49	12	12	04	19	36	04	20	24,4	+21	28	00	-16,8	-1,2	298,0
29 J	4	48	12	12	12	19	37	04	24	28,8	+21	37	28	-16,4	-1,0	284,6
30 V	4	48	12	12	20	19	37	04	28	33,6	+21	46	33	-16,1	-0,9	271,5
31 S	4	47	12	12	29	19	38	04	32	38,8	+21	55	16	-15,7	-0,8	258,3

## SOL Junio 2025

Día	En Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						a 0 <sup>h</sup> de TU			
	Orto		Culmin.			Ocaso		Asc. Recta			Declinac.			P	B	L
	h	m	h	m	s	h	m	h	m	s	°	'	"	°	°	°
1 D	4	47	12	12	38	19	39	04	36	44,4	+22	03	35	-15,3	-0,7	245,0
2 L	4	46	12	12	48	19	40	04	40	50,4	+22	11	31	-15,0	-0,6	231,8
3 M	4	46	12	12	58	19	40	04	44	56,7	+22	19	04	-14,6	-0,4	218,6
4 M	4	46	12	13	08	19	41	04	49	03,4	+22	26	13	-14,2	-0,3	205,3
5 J	4	45	12	13	19	19	42	04	53	10,4	+22	32	59	-13,8	-0,2	192,1
6 V	4	45	12	13	30	19	42	04	57	17,7	+22	39	21	-13,4	-0,1	178,9
7 S	4	45	12	13	41	19	43	05	01	25,2	+22	45	19	-13,0	+0,0	165,6
8 D	4	45	12	13	52	19	43	05	05	33,1	+22	50	54	-12,6	+0,2	152,4
9 L	4	44	12	14	04	19	44	05	09	41,2	+22	56	04	-12,2	+0,3	139,2
10 M	4	44	12	14	16	19	45	05	13	49,6	+23	00	50	-11,8	+0,4	125,9
11 M	4	44	12	14	28	19	45	05	17	58,2	+23	05	11	-11,4	+0,5	112,7
12 J	4	44	12	14	40	19	45	05	22	07,0	+23	09	09	-11,0	+0,6	99,5
13 V	4	44	12	14	53	19	46	05	26	16,0	+23	12	42	-10,6	+0,8	86,2
14 S	4	44	12	15	06	19	46	05	30	25,1	+23	15	50	-10,1	+0,9	73,0
15 D	4	44	12	15	18	19	47	05	34	34,4	+23	18	34	-09,7	+1,0	59,8
16 L	4	44	12	15	31	19	47	05	38	43,8	+23	20	53	-09,3	+1,1	46,5
17 M	4	44	12	15	44	19	47	05	42	53,3	+23	22	48	-08,8	+1,2	33,3
18 M	4	44	12	15	57	19	48	05	47	02,9	+23	24	18	-08,4	+1,4	20,0
19 J	4	44	12	16	10	19	48	05	51	12,5	+23	25	22	-08,0	+1,5	6,8
20 V	4	45	12	16	24	19	48	05	55	22,2	+23	26	03	-07,5	+1,6	353,6
21 S	4	45	12	16	37	19	49	05	59	31,9	+23	26	18	-07,1	+1,7	340,3
22 D	4	45	12	16	50	19	49	06	03	41,6	+23	26	08	-06,6	+1,8	327,1
23 L	4	45	12	17	03	19	49	06	07	51,2	+23	25	34	-06,2	+2,0	313,9
24 M	4	46	12	17	16	19	49	06	12	00,9	+23	24	35	-05,8	+2,1	300,6
25 M	4	46	12	17	29	19	49	06	16	10,4	+23	23	11	-05,3	+2,2	287,4
26 J	4	46	12	17	42	19	49	06	20	19,8	+23	21	22	-04,9	+2,3	274,1
27 V	4	47	12	17	54	19	49	06	24	29,0	+23	19	08	-04,4	+2,4	260,9
28 S	4	47	12	18	07	19	49	06	28	38,1	+23	16	30	-04,0	+2,5	247,7
29 D	4	47	12	18	19	19	49	06	32	46,9	+23	13	28	-03,5	+2,6	234,4
30 L	4	48	12	18	31	19	49	06	36	55,5	+23	10	01	-03,0	+2,8	221,2

Inicio del verano el día 21 a las 2<sup>h</sup> 42<sup>m</sup> de TU.

## SOL Julio 2025

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	4 48	12 18 42	19 49	06 41 03,9	+23 06 10	-02,6	+2,9	208,0	
2 M	4 49	12 18 54	19 49	06 45 12,0	+23 01 54	-02,1	+3,0	194,7	
3 J	4 49	12 19 05	19 48	06 49 19,7	+22 57 14	-01,7	+3,1	181,5	
4 V	4 50	12 19 15	19 48	06 53 27,2	+22 52 11	-01,2	+3,2	168,3	
5 S	4 51	12 19 26	19 48	06 57 34,3	+22 46 43	-00,8	+3,3	155,0	
6 D	4 51	12 19 36	19 48	07 01 41,1	+22 40 52	-00,3	+3,4	141,8	
7 L	4 52	12 19 45	19 47	07 05 47,5	+22 34 37	00,1	+3,5	128,5	
8 M	4 52	12 19 55	19 47	07 09 53,5	+22 27 59	00,6	+3,6	115,3	
9 M	4 53	12 20 04	19 47	07 13 59,1	+22 20 57	01,0	+3,7	102,1	
10 J	4 54	12 20 12	19 46	07 18 04,2	+22 13 33	01,5	+3,8	88,8	
11 V	4 54	12 20 20	19 46	07 22 09,0	+22 05 45	01,9	+3,9	75,6	
12 S	4 55	12 20 27	19 45	07 26 13,3	+21 57 35	02,4	+4,0	62,4	
13 D	4 56	12 20 34	19 45	07 30 17,1	+21 49 02	02,8	+4,1	49,1	
14 L	4 57	12 20 41	19 44	07 34 20,4	+21 40 08	03,3	+4,2	35,8	
15 M	4 57	12 20 47	19 44	07 38 23,3	+21 30 50	03,7	+4,2	22,7	
16 M	4 58	12 20 53	19 43	07 42 25,7	+21 21 11	04,2	+4,4	9,4	
17 J	4 59	12 20 58	19 42	07 46 27,6	+21 11 10	04,6	+4,5	356,2	
18 V	5 00	12 21 02	19 42	07 50 29,0	+21 00 47	05,0	+4,6	343,0	
19 S	5 01	12 21 06	19 41	07 54 29,8	+20 50 03	05,5	+4,7	329,8	
20 D	5 02	12 21 10	19 40	07 58 30,2	+20 38 58	05,9	+4,8	316,5	
21 L	5 02	12 21 13	19 40	08 02 30,0	+20 27 32	06,3	+4,9	303,3	
22 M	5 03	12 21 15	19 39	08 06 29,2	+20 15 45	06,8	+5,0	290,1	
23 M	5 04	12 21 17	19 38	08 10 27,9	+20 03 38	07,2	+5,1	276,8	
24 J	5 05	12 21 18	19 37	08 14 26,0	+19 51 10	07,6	+5,1	263,6	
25 V	5 06	12 21 19	19 36	08 18 23,6	+19 38 23	08,0	+5,2	250,4	
26 S	5 07	12 21 19	19 35	08 22 20,5	+19 25 16	08,4	+5,3	237,1	
27 D	5 08	12 21 18	19 34	08 26 16,8	+19 11 50	08,9	+5,4	223,9	
28 L	5 09	12 21 17	19 33	08 30 12,5	+18 58 05	09,3	+5,5	210,7	
29 M	5 10	12 21 15	19 32	08 34 07,6	+18 44 01	09,7	+5,6	197,5	
30 M	5 10	12 21 13	19 31	08 38 02,1	+18 29 39	10,1	+5,6	184,2	
31 J	5 11	12 21 10	19 30	08 41 55,9	+18 14 59	10,5	+5,7	171,0	

## SOL Agosto 2025

Día	En Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU				a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto		Culmin.			Ocaso		Asc. Recta			Declinac.			P	B	L
	h	m	h	m	s	h	m	h	m	s	°	'	"	°	°	°
1 V	5	12	12	21	06	19	29	08	45	49,1	+18	00	00	10,9	+5,8	157,8
2 S	5	13	12	21	02	19	28	08	49	41,7	+17	44	45	11,3	+5,8	144,5
3 D	5	14	12	20	57	19	27	08	53	33,7	+17	29	12	11,7	+5,9	131,3
4 L	5	15	12	20	52	19	26	08	57	25,0	+17	13	22	12,0	+6,0	118,1
5 M	5	16	12	20	45	19	25	09	01	15,8	+16	57	15	12,4	+6,1	104,9
6 M	5	17	12	20	39	19	24	09	05	05,9	+16	40	52	12,8	+6,1	91,7
7 J	5	18	12	20	31	19	22	09	08	55,4	+16	24	13	13,2	+6,2	78,4
8 V	5	19	12	20	23	19	21	09	12	44,3	+16	07	19	13,6	+6,2	65,2
9 S	5	20	12	20	15	19	20	09	16	32,6	+15	50	08	13,9	+6,3	52,0
10 D	5	21	12	20	06	19	19	09	20	20,4	+15	32	43	14,3	+6,4	38,8
11 L	5	22	12	19	56	19	17	09	24	07,6	+15	15	03	14,6	+6,4	25,6
12 M	5	23	12	19	46	19	16	09	27	54,2	+14	57	08	15,0	+6,5	12,3
13 M	5	24	12	19	35	19	15	09	31	40,2	+14	38	59	15,4	+6,5	359,1
14 J	5	25	12	19	24	19	13	09	35	25,7	+14	20	36	15,7	+6,6	345,9
15 V	5	26	12	19	12	19	12	09	39	10,7	+14	01	59	16,0	+6,6	332,7
16 S	5	27	12	19	00	19	11	09	42	55,2	+13	43	08	16,4	+6,7	319,4
17 D	5	28	12	18	47	19	09	09	46	39,2	+13	24	04	16,6	+6,7	306,1
18 L	5	29	12	18	34	19	08	09	50	22,7	+13	04	48	17,0	+6,8	293,0
19 M	5	30	12	18	20	19	06	09	54	05,7	+12	45	18	17,4	+6,8	279,8
20 M	5	31	12	18	05	19	05	09	57	48,2	+12	25	37	17,6	+6,9	266,6
21 J	5	32	12	17	51	19	03	10	01	30,3	+12	05	44	18,0	+6,9	253,4
22 V	5	33	12	17	36	19	02	10	05	11,9	+11	45	39	18,3	+6,9	240,2
23 S	5	34	12	17	20	19	00	10	08	53,1	+11	25	23	18,6	+7,0	226,9
24 D	5	35	12	17	04	18	59	10	12	33,8	+11	04	56	18,9	+7,0	213,7
25 L	5	35	12	16	47	18	57	10	16	14,1	+10	44	19	19,2	+7,0	200,5
26 M	5	36	12	16	31	18	56	10	19	54,0	+10	23	31	19,5	+7,1	187,3
27 M	5	37	12	16	13	18	54	10	23	33,5	+10	02	34	19,8	+7,1	174,1
28 J	5	38	12	15	56	18	53	10	27	12,6	+09	41	27	20,0	+7,1	160,9
29 V	5	39	12	15	38	18	51	10	30	51,3	+09	20	11	20,3	+7,1	147,7
30 S	5	40	12	15	19	18	50	10	34	29,6	+08	58	46	20,6	+7,2	134,4
31 D	5	41	12	15	01	18	48	10	38	07,6	+08	37	13	20,8	+7,2	121,2

**SOL Setiembre 2025**

Día	En Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						a 0 <sup>h</sup> de TU			
	Orto		Culmin.			Ocaso		Asc. Recta			Declinac.			P	B	L
	h	m	h	m	s	h	m	h	m	s	°	'	"	°	°	°
1 L	5	42	12	14	41	18	46	10	41	45,3	+08	15	32	21,1	+7,2	108,0
2 M	5	43	12	14	22	18	45	10	45	22,7	+07	53	42	21,3	+7,2	94,8
3 M	5	44	12	14	03	18	43	10	48	59,8	+07	31	46	21,6	+7,2	81,6
4 J	5	45	12	13	43	18	42	10	52	36,5	+07	09	42	21,8	+7,2	68,4
5 V	5	46	12	13	22	18	40	10	56	13,1	+06	47	31	22,0	+7,2	55,2
6 S	5	47	12	13	02	18	38	10	59	49,4	+06	25	14	22,3	+7,2	42,0
7 D	5	48	12	12	42	18	37	11	03	25,4	+06	02	50	22,5	+7,2	28,8
8 L	5	49	12	12	21	18	35	11	07	01,3	+05	40	20	22,7	+7,2	15,6
9 M	5	50	12	12	00	18	33	11	10	37,0	+05	17	45	22,9	+7,2	2,4
10 M	5	51	12	11	39	18	32	11	14	12,6	+04	55	05	23,1	+7,2	349,2
11 J	5	52	12	11	18	18	30	11	17	48,0	+04	32	19	23,3	+7,2	336,0
12 V	5	53	12	10	56	18	28	11	21	23,3	+04	09	28	23,5	+7,2	322,8
13 S	5	54	12	10	35	18	27	11	24	58,6	+03	46	33	23,7	+7,2	309,6
14 D	5	55	12	10	14	18	25	11	28	33,8	+03	23	34	23,9	+7,2	296,4
15 L	5	56	12	09	52	18	23	11	32	09,0	+03	00	31	24,0	+7,2	283,1
16 M	5	57	12	09	31	18	22	11	35	44,1	+02	37	24	24,2	+7,2	270,0
17 M	5	58	12	09	09	18	20	11	39	19,2	+02	14	14	24,4	+7,2	256,8
18 J	5	59	12	08	48	18	18	11	42	54,4	+01	51	01	24,5	+7,2	243,5
19 V	6	00	12	08	27	18	17	11	46	29,6	+01	27	46	24,7	+7,1	230,3
20 S	6	00	12	08	05	18	15	11	50	04,8	+01	04	29	24,8	+7,1	217,1
21 D	6	01	12	07	44	18	13	11	53	40,1	+00	41	10	25,0	+7,1	203,9
22 L	6	02	12	07	23	18	12	11	57	15,5	+00	17	49	25,1	+7,1	190,7
23 M	6	03	12	07	02	18	10	12	00	51,0	-00	05	32	25,2	+7,0	177,6
24 M	6	04	12	06	41	18	08	12	04	26,6	-00	28	54	25,3	+7,0	164,4
25 J	6	05	12	06	21	18	07	12	08	02,4	-00	52	17	25,4	+7,0	151,2
26 V	6	06	12	06	00	18	05	12	11	38,3	-01	15	39	25,5	+6,9	138,0
27 S	6	07	12	05	40	18	03	12	15	14,4	-01	39	01	25,6	+6,9	124,8
28 D	6	08	12	05	19	18	02	12	18	50,7	-02	02	22	25,7	+6,8	111,6
29 L	6	09	12	05	00	18	00	12	22	27,2	-02	25	42	25,8	+6,8	98,4
30 M	6	10	12	04	40	17	58	12	26	03,9	-02	49	01	25,9	+6,8	85,2

Inicio del otoño el día 22 a las 18<sup>h</sup> 19<sup>m</sup> de TU.

## SOL Octubre 2025

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	6 11	12 04 20	17 57	12 29 40,9	-03 12 17	26,0	+6,7	72,0	
2 J	6 12	12 04 01	17 55	12 33 18,1	-03 35 32	26,0	+6,7	58,8	
3 V	6 13	12 03 42	17 53	12 36 55,7	-03 58 44	26,1	+6,6	45,6	
4 S	6 14	12 03 24	17 52	12 40 33,6	-04 21 53	26,1	+6,6	32,3	
5 D	6 15	12 03 06	17 50	12 44 11,7	-04 44 59	26,2	+6,5	19,2	
6 L	6 16	12 02 48	17 49	12 47 50,3	-05 08 01	26,2	+6,5	6,0	
7 M	6 17	12 02 30	17 47	12 51 29,2	-05 30 59	26,2	+6,4	352,8	
8 M	6 18	12 02 14	17 45	12 55 08,6	-05 53 53	26,2	+6,4	339,6	
9 J	6 19	12 01 57	17 44	12 58 48,3	-06 16 43	26,2	+6,3	326,4	
10 V	6 20	12 01 41	17 42	13 02 28,6	-06 39 27	26,2	+6,2	313,2	
11 S	6 22	12 01 25	17 41	13 06 09,3	-07 02 07	26,2	+6,2	300,0	
12 D	6 23	12 01 10	17 39	13 09 50,5	-07 24 41	26,2	+6,1	286,8	
13 L	6 24	12 00 56	17 38	13 13 32,2	-07 47 09	26,2	+6,0	273,6	
14 M	6 25	12 00 42	17 36	13 17 14,5	-08 09 30	26,2	+6,0	260,4	
15 M	6 26	12 00 28	17 35	13 20 57,4	-08 31 46	26,2	+5,9	247,3	
16 J	6 27	12 00 15	17 33	13 24 40,8	-08 53 53	26,1	+5,8	234,1	
17 V	6 28	12 00 03	17 32	13 28 24,8	-09 15 54	26,1	+5,7	220,9	
18 S	6 29	11 59 51	17 30	13 32 09,4	-09 37 46	26,0	+5,6	207,7	
19 D	6 30	11 59 40	17 29	13 35 54,6	-09 59 31	26,0	+5,6	194,5	
20 L	6 31	11 59 30	17 27	13 39 40,4	-10 21 06	25,9	+5,5	181,3	
21 M	6 32	11 59 20	17 26	13 43 27,0	-10 42 32	25,8	+5,4	168,1	
22 M	6 33	11 59 11	17 24	13 47 14,1	-11 03 49	25,7	+5,3	154,9	
23 J	6 34	11 59 03	17 23	13 51 02,0	-11 24 56	25,6	+5,2	141,7	
24 V	6 36	11 58 55	17 22	13 54 50,5	-11 45 53	25,5	+5,1	128,5	
25 S	6 37	11 58 48	17 20	13 58 39,8	-12 06 38	25,4	+5,1	115,4	
26 D	6 38	11 58 42	17 19	14 02 29,7	-12 27 13	25,3	+5,0	102,2	
27 L	6 39	11 58 37	17 18	14 06 20,4	-12 47 36	25,2	+4,9	89,0	
28 M	6 40	11 58 32	17 16	14 10 11,8	-13 07 47	25,0	+4,8	75,7	
29 M	6 41	11 58 28	17 15	14 14 03,9	-13 27 45	24,9	+4,7	62,6	
30 J	6 42	11 58 24	17 14	14 17 56,8	-13 47 31	24,8	+4,6	49,4	
31 V	6 44	11 58 22	17 13	14 21 50,4	-14 07 04	24,6	+4,5	36,2	

## SOL Noviembre 2025

Día	En Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto	Culmin.			Ocaso		Asc. Recta			Declinac.			P	B	L
	h m	h	m	s	h	m	h	m	s	°	'	"	°	°	°
1 S	6 45	11 58	20	17 11	14 25	44,8	-14 26	22	24,4	+4,4	23,1				
2 D	6 46	11 58	19	17 10	14 29	40,0	-14 45	27	24,3	+4,2	9,9				
3 L	6 47	11 58	19	17 09	14 33	36,0	-15 04	18	24,1	+4,2	356,7				
4 M	6 48	11 58	20	17 08	14 37	32,8	-15 22	53	23,9	+4,1	343,5				
5 M	6 49	11 58	21	17 07	14 41	30,4	-15 41	14	23,7	+4,0	330,3				
6 J	6 50	11 58	23	17 06	14 45	28,8	-15 59	18	23,5	+3,9	317,1				
7 V	6 52	11 58	26	17 05	14 49	28,0	-16 17	08	23,3	+3,8	303,9				
8 S	6 53	11 58	30	17 04	14 53	28,2	-16 34	40	23,1	+3,6	290,8				
9 D	6 54	11 58	35	17 03	14 57	29,1	-16 51	56	22,8	+3,5	277,6				
10 L	6 55	11 58	41	17 02	15 01	31,0	-17 08	56	22,6	+3,4	264,4				
11 M	6 56	11 58	48	17 01	15 05	33,6	-17 25	37	22,4	+3,3	251,2				
12 M	6 57	11 58	55	17 00	15 09	37,2	-17 42	01	22,1	+3,2	238,0				
13 J	6 59	11 59	03	16 59	15 13	41,6	-17 58	07	21,9	+3,1	224,8				
14 V	7 00	11 59	12	16 58	15 17	46,9	-18 13	53	21,6	+3,0	211,6				
15 S	7 01	11 59	22	16 57	15 21	53,1	-18 29	21	21,3	+2,9	198,5				
16 D	7 02	11 59	33	16 57	15 26	00,1	-18 44	29	21,0	+2,7	185,3				
17 L	7 03	11 59	45	16 56	15 30	08,0	-18 59	18	20,8	+2,6	172,1				
18 M	7 04	11 59	58	16 55	15 34	16,7	-19 13	46	20,5	+2,5	158,9				
19 M	7 06	12 00	11	16 54	15 38	26,2	-19 27	53	20,2	+2,4	145,7				
20 J	7 07	12 00	25	16 54	15 42	36,6	-19 41	40	19,9	+2,3	132,5				
21 V	7 08	12 00	40	16 53	15 46	47,8	-19 55	04	19,5	+2,1	119,4				
22 S	7 09	12 00	56	16 53	15 50	59,8	-20 08	08	19,2	+2,0	106,2				
23 D	7 10	12 01	13	16 52	15 55	12,6	-20 20	48	18,9	+1,9	93,0				
24 L	7 11	12 01	30	16 51	15 59	26,2	-20 33	07	18,6	+1,8	79,8				
25 M	7 12	12 01	48	16 51	16 03	40,5	-20 45	02	18,1	+1,6	66,6				
26 M	7 13	12 02	07	16 51	16 07	55,6	-20 56	34	17,9	+1,5	53,5				
27 J	7 14	12 02	27	16 50	16 12	11,3	-21 07	43	17,5	+1,4	40,3				
28 V	7 16	12 02	47	16 50	16 16	27,8	-21 18	28	17,1	+1,3	27,1				
29 S	7 17	12 03	08	16 49	16 20	45,0	-21 28	48	16,8	+1,1	13,9				
30 D	7 18	12 03	30	16 49	16 25	02,8	-21 38	44	16,4	+1,0	0,8				

## SOL Diciembre 2025

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 L	7 19	12 03 52	16 49	16 29 21,3	-21 48 16	16,0	+0,9	347,6	
2 M	7 20	12 04 15	16 49	16 33 40,4	-21 57 22	15,6	+0,8	334,4	
3 M	7 21	12 04 38	16 48	16 38 00,1	-22 06 03	15,2	+0,6	321,2	
4 J	7 22	12 05 02	16 48	16 42 20,4	-22 14 18	14,8	+0,5	308,0	
5 V	7 23	12 05 27	16 48	16 46 41,3	-22 22 08	14,4	+0,4	294,9	
6 S	7 23	12 05 52	16 48	16 51 02,7	-22 29 32	14,0	+0,2	281,6	
7 D	7 24	12 06 18	16 48	16 55 24,7	-22 36 29	13,6	+0,1	268,5	
8 L	7 25	12 06 44	16 48	16 59 47,2	-22 42 60	13,2	+0,0	255,3	
9 M	7 26	12 07 11	16 48	17 04 10,2	-22 49 04	12,8	-0,1	242,2	
10 M	7 27	12 07 38	16 48	17 08 33,6	-22 54 42	12,3	-0,3	229,0	
11 J	7 28	12 08 05	16 48	17 12 57,4	-22 59 52	11,9	-0,4	215,8	
12 V	7 29	12 08 33	16 48	17 17 21,7	-23 04 35	11,4	-0,5	202,6	
13 S	7 29	12 09 01	16 49	17 21 46,3	-23 08 51	11,0	-0,6	189,4	
14 D	7 30	12 09 30	16 49	17 26 11,3	-23 12 39	10,6	-0,8	176,3	
15 L	7 31	12 09 59	16 49	17 30 36,6	-23 15 59	10,1	-0,9	163,1	
16 M	7 31	12 10 28	16 49	17 35 02,2	-23 18 51	09,6	-1,0	149,9	
17 M	7 32	12 10 57	16 50	17 39 28,0	-23 21 16	09,2	-1,2	136,7	
18 J	7 33	12 11 27	16 50	17 43 54,0	-23 23 12	08,7	-1,3	123,6	
19 V	7 33	12 11 57	16 51	17 48 20,2	-23 24 40	08,3	-1,4	110,4	
20 S	7 34	12 12 26	16 51	17 52 46,5	-23 25 40	07,8	-1,5	97,2	
21 D	7 34	12 12 56	16 52	17 57 12,9	-23 26 12	07,3	-1,7	84,0	
22 L	7 35	12 13 26	16 52	18 01 39,4	-23 26 16	06,9	-1,8	70,9	
23 M	7 35	12 13 56	16 53	18 06 05,9	-23 25 51	06,4	-1,9	57,7	
24 M	7 36	12 14 26	16 53	18 10 32,3	-23 24 58	05,9	-2,0	44,5	
25 J	7 36	12 14 56	16 54	18 14 58,7	-23 23 37	05,4	-2,2	31,4	
26 V	7 36	12 15 26	16 54	18 19 25,0	-23 21 47	05,0	-2,3	18,1	
27 S	7 37	12 15 55	16 55	18 23 51,2	-23 19 30	04,5	-2,4	5,0	
28 D	7 37	12 16 24	16 56	18 28 17,1	-23 16 44	04,0	-2,5	351,8	
29 L	7 37	12 16 54	16 57	18 32 42,9	-23 13 30	03,5	-2,6	338,7	
30 M	7 38	12 17 22	16 57	18 37 08,5	-23 09 48	03,0	-2,8	325,5	
31 M	7 38	12 17 51	16 58	18 41 33,8	-23 05 39	02,5	-2,9	312,3	

Inicio del invierno el día 21 a las 15<sup>h</sup> 3<sup>m</sup> de TU.

### 4.3. Fórmulas para cálculos aproximados

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{paso del semidiámetro} \simeq \frac{66,6}{R} [1 + 0,043 \cos (2d + 15^{\circ})]$$

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

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

La longitud y latitud eclípticas del Sol viene dadas por:

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

Las coordenadas rectangulares ecuatoriales del Sol viene dadas por:

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

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

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

		SOL		2025	
Fecha	distancia $R$ (UA)	semidiá- metro, $s$	movimiento diario ( $'$ /día)	paralaje horizontal	paso semidiám. por meridiano
Ene 1	0,98335	16' 17"	61	8",94	70;6
Ene 11	0,98343	16' 17"	61	8",94	70;0
Ene 21	0,98409	16' 17"	61	8",94	69;1
Ene 31	0,98524	16' 16"	61	8",93	68;0
Feb 10	0,98676	16' 14"	61	8",91	66;8
Feb 20	0,98874	16' 12"	60	8",89	65;8
Mar 2	0,99107	16' 10"	60	8",87	65;0
Mar 12	0,99358	16' 07"	60	8",85	64;4
Mar 22	0,99635	16' 05"	60	8",83	64;1
Abr 1	0,99922	16' 02"	59	8",80	64;1
Abr 11	1,00203	15' 59"	59	8",78	64;4
Abr 21	1,00485	15' 57"	59	8",75	65;0
May 1	1,00751	15' 54"	58	8",73	65;7
May 11	1,00987	15' 52"	58	8",71	66;5
May 21	1,01203	15' 50"	58	8",69	67;3
May 31	1,01382	15' 48"	58	8",67	67;9
Jun 10	1,01514	15' 47"	57	8",66	68;4
Jun 20	1,01612	15' 46"	57	8",65	68;5
Jun 30	1,01661	15' 45"	57	8",65	68;4
Jul 10	1,01657	15' 46"	57	8",65	67;9
Jul 20	1,01614	15' 46"	57	8",65	67;2
Jul 30	1,01522	15' 47"	57	8",66	66;4
Ago 9	1,01381	15' 48"	57	8",67	65;5
Ago 19	1,01209	15' 50"	58	8",69	64;7
Ago 29	1,00997	15' 52"	58	8",71	64;1
Set 8	1,00752	15' 54"	58	8",73	63;7
Set 18	1,00493	15' 56"	59	8",75	63;6
Set 28	1,00213	15' 59"	59	8",78	63;8
Oct 8	0,99924	16' 02"	59	8",80	64;3
Oct 18	0,99645	16' 05"	60	8",83	65;1
Oct 28	0,99368	16' 07"	60	8",85	66;0
Nov 7	0,99108	16' 10"	60	8",87	67;2
Nov 17	0,98883	16' 12"	60	8",89	68;4
Nov 27	0,98684	16' 14"	61	8",91	69;4
Dic 7	0,98523	16' 16"	61	8",93	70;3
Dic 17	0,98416	16' 17"	61	8",94	70;7
Dic 27	0,98349	16' 17"	61	8",94	70;8

Estos valores se refieren a las 0<sup>h</sup> de Tiempo Universal.

1 ua (unidad astronómica) = 149 597 871 km

## 4.4. Ortos, ocasos y pasos del Sol por el meridiano

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 tabla de la página 193. 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 vienen dados en las dos siguientes tablas. La corrección por longitud solo 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 17 de setiembre en Badajoz (latitud  $39^\circ 0'$ ). En las dos tablas siguientes se encuentra que las correcciones a aplicar son de  $+13^m$  en longitud y de  $0^m$  en latitud. El horario oficial es el de verano.

orto =  $5^h 58^m + (+13^m) + (0^m) = 6^h 11^m$  TU =  $8^h 11^m$  TO  
 ocaso =  $18^h 20^m + (+13^m) - (0^m) = 18^h 33^m$  TU =  $20^h 33^m$  TO

## En un lugar cualquiera de España

Para un lugar de longitud  $\lambda_E$  :

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

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

*Ejemplo:* orto y ocaso del Sol el día 28 de julio en un lugar de las Canarias de latitud  $\phi = 27^\circ 44'$  y longitud  $\lambda_E = -1^{\text{h}} 12^{\text{m}} 10^{\text{s}}$ , en horario de verano:

orto =  $5^{\text{h}} 9^{\text{m}} - 15^{\text{m}} - (-1^{\text{h}} 12^{\text{m}}) + 27^{\text{m}} = 6^{\text{h}} 33^{\text{m}} \text{ TU} = 7^{\text{h}} 33^{\text{m}} \text{ TO}$

ocaso =  $19^{\text{h}} 33^{\text{m}} - 15^{\text{m}} - (-1^{\text{h}} 12^{\text{m}}) - 27^{\text{m}} = 20^{\text{h}} 3^{\text{m}} \text{ TU} = 21^{\text{h}} 3^{\text{m}} \text{ TO}$

### 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;5
Almería	-5 <sup>m</sup>	37°	Ávila	+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
Castelló 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	+19 <sup>m</sup>	43;5	Cuenca	-6 <sup>m</sup>	40°
Donostia/San Sebastián	-7 <sup>m</sup>	43;5	Girona	-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	-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	+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°	València	-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	-32	-13	-10	-7	-4	-1	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 1
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	-3	-3	-1	0	1	2	3	4	Oct 17
Mar 1	-9	-3	-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 27
Abr 20	16	6	5	4	2	1	-1	-2	-4	-6	Ago 22
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 192 o según se indica en la sección *Paso del Sol por el meridiano* en la página 197.
- 2) se calcula el tiempo auxiliar:

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

- 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:  $19^{\text{s}} h \text{ (m)}/D \text{ (km)}$ . El adelanto en el ocaso se calcula análogamente. En Canarias, usar  $16^{\text{s}}$  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:

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

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

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 solo 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 siguiente. 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	-17	-18	-20	Nov 1
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 27
Abr 20	14	14	15	16	17	Ago 22
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:

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

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

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

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

## 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  $h m s$ , es  $\lambda_E$ , el instante de paso será:

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

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 tiempos* en la página 108. En un lugar de longitud  $\lambda_E$  ( $hms$ ), el instante de culminación del Sol viene dado por:

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

*Ejemplo:* al mediodía del día 2 de febrero la Ecuación de Tiempo es  $-13^m 42^s$ , luego el Sol pasará por el meridiano de Madrid a las:

$$12^h - (-13^m 42^s) - (-14^m 45^s) = 12^h 28^m 27^s \text{ TU}$$

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 190:

$$\text{paso borde anterior} = \text{paso centro} - \text{paso semidiámetro}$$

$$\text{paso borde posterior} = \text{paso centro} + \text{paso semidiámetro}$$

## 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

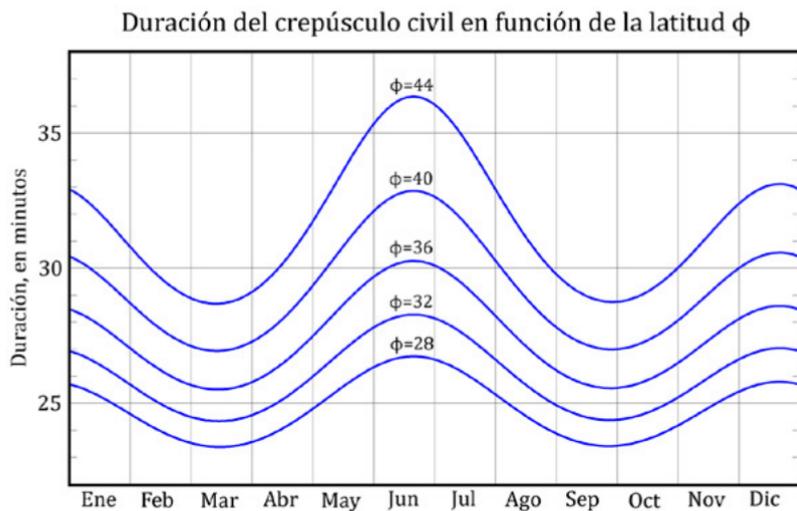
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
28°	54	52	51	52	56	59	58	54	51	51	53	55
32°	56	54	53	55	59	63	61	56	53	53	55	57
36°	59	56	55	58	63	68	66	60	56	56	58	61
40°	63	59	58	62	69	74	72	64	59	59	62	65
44°	68	63	62	66	76	84	80	70	63	62	66	69

#### 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  $\delta_o$  es la declinación del Sol para el día considerado:

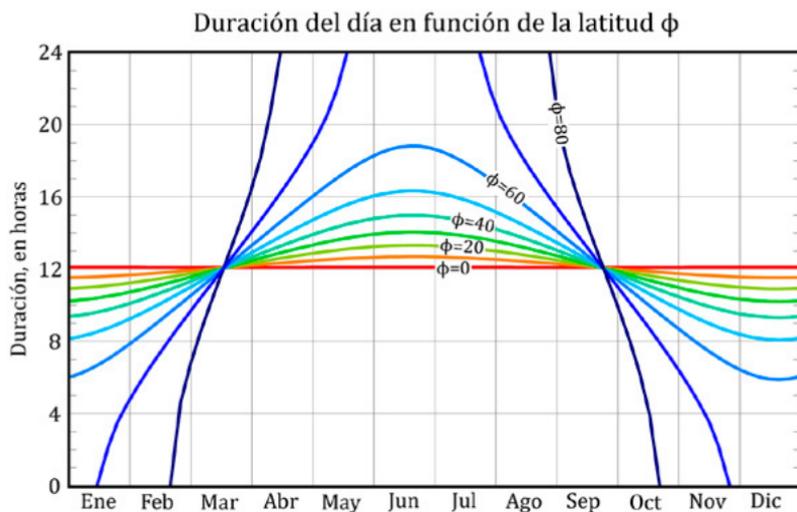
$$\text{Duración del crepúsculo civil} = \frac{21^m}{\sqrt{\cos(\phi - \delta_o) \cos(\phi + \delta_o)}}$$



### 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 siguiente figura.



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 (h min)
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 00	3,22
70	24 00	00 00		

En Madrid se tiene, para el año 2025:

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 ( $15^{\text{h}}4^{\text{m}}$ )

Día de menor duración: 21 de diciembre ( $9^{\text{h}}17^{\text{m}}$ )

## 4.5. Rotaciones sinódicas y manchas solares

### 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  $27^{\text{d}}2753$ , 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  $0^{\text{h}}$  TU de un día cualquiera se puede calcular aproximadamente mediante la fórmula:

$$NRC = 1958 + \frac{DJ - 2\,451\,545,11}{27,2753}$$

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 2025**

NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora	NRC	mes	día	hora
2293	Ene	6	20	2298	May	23	7	2303	Oct	6	11
2294	Feb	3	4	2299	Jun	19	12	2304	Nov	2	18
2295	Mar	2	12	2300	Jul	16	17	2305	Nov	30	1
2296	Mar	29	20	2301	Ago	12	22	2306	Dic	27	9
2297	Abr	26	2	2302	Set	9	4	2307	Ene	23	17

La primera rotación que se iniciará en 2025 es la número 2293, lo cual tendrá lugar el día 6 de enero a las  $19^{\text{h}}8$  TU. La primera rotación en 2026 será la número 2307, iniciándose el 23 de enero a las  $17^{\text{h}}2$  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.

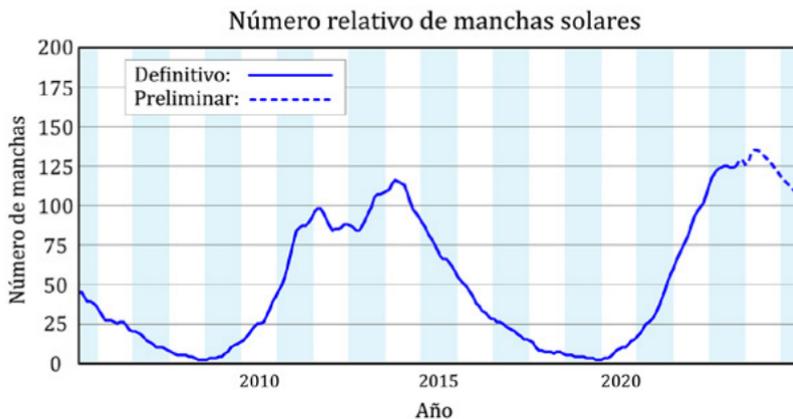
En la siguiente tabla se proporcionan los promedios anuales del número de manchas diario observado en los últimos 20 años, basada en la recalibración introducida el pasado 1 de julio de 2015 por el Solar Influences Data Analysis Center (SIDC): <http://sidc.oma.be/silso/>.

**Promedio anual del número de manchas solares en los últimos 20 años**

año	manchas	año	manchas	año	manchas	año	manchas
2005	45	2010	26	2015	72	2020	8
2006	26	2011	73	2016	41	2021	33
2007	13	2012	90	2017	21	2022	84
2008	4	2013	95	2018	8	2023	123
2009	6	2014	107	2019	4	2024	129

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

En la siguiente imagen se muestra el número relativo de manchas solares durante los últimos 20 años, los valores de los dos últimos años son provisionales.



## 4.6. Datos lunares

### Elementos medios de la órbita para 2025

Longitud media	$L_0 = 285^{\circ}415799 + 13^{\circ}17639645 d$
Anomalía media	$M_0 = 264^{\circ}892978 + 13^{\circ}06499306 d$
Longitud del perigeo medio	$\varpi_0 = 20^{\circ}522820 + 0^{\circ}11140338 d$
Long. media del nodo ascendente	$\Omega_0 = 1^{\circ}550255 - 0^{\circ}05295373 d$
Elongación media referida al Sol	$D_0 = 5^{\circ}495641 + 12^{\circ}19074908 d$

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

### Coordenadas eclípticas verdaderas

Desarrollos aproximados de longitud eclíptica, latitud eclíptica y paralaje:

$$\lambda_0 = L_0 + 377' \operatorname{sen} M_0 + 76' \operatorname{sen}(2 D_0 - M_0) + 40' \operatorname{sen}(2 D_0) + 13' \operatorname{sen}(2 M_0)$$

$$\beta_0 = 309' \operatorname{sen} (\lambda_0 - \Omega_0)$$

$$\pi_0 = 57' + 3' \cos M_0$$

A partir de la paralaje ecuatorial  $\pi_0$  se pueden calcular:

$$\text{semidiámetro} = 0,2725 \pi_0, \quad \text{distancia geocéntrica} = \frac{1}{\operatorname{sen} \pi_0} R_{\oplus}$$

### Distancia

Distancia media	384400 km	60,268 $R_{\oplus}$
	en tiempo luz	1 <sup>s</sup> 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  $e_0 = 0,054900489$

Inclinación orbital media:

respecto de la eclíptica	5 <sup>o</sup> 145396
respecto del ecuador lunar	6 <sup>o</sup> 41'
respecto del ecuador terrestre	18 <sup>o</sup> 28 a 28 <sup>o</sup> 58

Inclinación del ecuador lunar medio respecto de la eclíptica:	$1^{\circ}54242 = 1^{\circ}32'32''7$
Movimiento sidéreo medio diario	$13^{\circ}176358$
Intervalo medio entre tránsitos o pasos por el meridiano	$24^{\text{h}}51^{\text{m}}28^{\text{s}}$
Velocidad orbital media	$1,023 \text{ km s}^{-1} = 3683 \text{ km h}^{-1}$
Aumento de la distancia a la Tierra	$\sim 4 \text{ m/siglo}$

## Traslación y rotación

Duración media de los meses:

mes sinódico (luna nueva)	$29^{\text{d}}5305884$	$29^{\text{d}}12^{\text{h}}44^{\text{m}}02^{\text{s}}8$
mes sidéreo (estrella a estrella)	$27^{\text{d}}3216616$	$27^{\text{d}}07^{\text{h}}43^{\text{m}}11^{\text{s}}6$
mes anomalístico (perigeo)	$27^{\text{d}}5545501$	$27^{\text{d}}13^{\text{h}}18^{\text{m}}33^{\text{s}}1$
mes trópico (equinoccio)	$27^{\text{d}}3215823$	$27^{\text{d}}07^{\text{h}}43^{\text{m}}04^{\text{s}}7$
mes draconítico (nodo)	$27^{\text{d}}212220$	$27^{\text{d}}05^{\text{h}}05^{\text{m}}35^{\text{s}}8$

Algunos periodos de interés:

periodo de rotación del perigeo	3232 días
periodo de retrogradación del nodo	6798 días = 18,61 años trópicos
año eclíptico (pasos sucesivos del Sol por el nodo lunar):	$346^{\text{d}}62005$
periodo Saros	= 223 meses sinódicos = 19 años eclípticos
	= 6585,32 días = 18,03001 años trópicos

## Libraciones:

Desplazamiento máximo: en longitud:	$7^{\circ}9$ (periodo=mes anomalístico)
en latitud:	$6^{\circ}8$ (periodo=mes draconítico)
diurna:	$1^{\circ}0$

Desplazamiento medio:

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

## Datos físicos

Radio ecuatorial	$\mathcal{R}_{\oplus}$ = 1738,14 km	en unidades terrestres
Radio medio	1737,42 km	$0,2725 \mathcal{R}_{\oplus}$

Superficie	$3,788 \cdot 10^7 \text{ km}^2$	0,0743
Volumen	$2,199 \cdot 10^{10} \text{ km}^3$	0,0203
Masa	$\mathcal{M}_\text{L} = 7,3460 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	$0,0123 \mathcal{M}_\oplus$
Densidad media	$3,344 \text{ g cm}^{-3}$	0,6063
Constante gravitatoria	$G\mathcal{M}_\text{L} = 4,902800 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	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	$0,394 \mathcal{M}_\text{L} \mathcal{R}_\text{L}^2$	
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

### Distancia, semidiámetro y paralaje horizontal de la Luna

La distancia al centro de la Tierra  $r_\text{L}$ , el semidiámetro  $s_\text{L}$  y la paralaje ecuatorial horizontal  $\pi_\text{L}$  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:

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

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

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

**Conversiones entre la paralaje horizontal de la Luna  $\pi_q$ , su semidiámetro  $s_q$  y su distancia  $r_q$  al centro de la Tierra**

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

Se denomina paralaje ecuatorial horizontal  $\pi_q$  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  $s_q$  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.

## 4.7. 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  $1^\circ$ .

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 las *Tablas de tiempos* en la página 108:

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

- 2) Se determinan por interpolación de, al menos,  $3^{\text{er}}$  grado en las tablas de la Luna las coordenadas geocéntricas de esta ( $\alpha_0$ ,  $\delta_0$ ) y la distancia  $r$  (en radios terrestres) para el instante  $TU$  considerado.
- 3) Se determinan las coordenadas rectangulares topocéntricas, a partir de las geocéntricas  $\alpha_0$  y  $\delta_0$  (expresadas en grados) y la distancia  $r$  (en radios terrestres) antes calculadas:

$$x = r \cos \delta_0 \cos \alpha_0 - \cos \phi \cos \theta$$

$$y = r \cos \delta_0 \sin \alpha_0 - \cos \phi \sin \theta$$

$$z = r \sin \delta_0 - \sin \phi$$

- 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:

$$\alpha_t = \arctan(y/x) \text{ (aprox. mismo cuadrante que } \alpha_0)$$

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

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

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

$$\alpha_t = \alpha_q - \frac{57;30}{r} \frac{\cos \phi \operatorname{sen}(\theta - \alpha_q)}{\cos \delta_q}$$

$$\delta_t = \delta_q - \frac{57;30}{r} [\cos \delta_q \operatorname{sen} \phi - \operatorname{sen} \delta_q \cos \phi \cos(\theta - \alpha_q)]$$

## 4.8. Efemérides de la Luna para 2025

En las 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 un 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 (véase el apartado *Ortos, ocasos y pasos de la Luna por el meridiano* en la página 221).

En las dos columnas centrales se indica la posición aparente geocéntrica de la Luna a las  $0^h$  de TU, expresada en coordenadas ecuatoriales, **ascensión recta** y **declinación**. La determinación de tales coordenadas para un instante cualquiera se debe realizar con una interpolación de, al menos,  $3^{\text{er}}$  grado dada la complejidad del movimiento de la Luna (ver el apartado *Interpolación* en la página 473). Con una interpolación de  $4^{\text{a}}$  grado los errores pueden llegar a ser de algunos segundos de arco en ambas coordenadas y con una interpolación de  $3^{\text{er}}$  grado pueden llegar hasta los  $10''$ , aunque el error típico es de unos  $2''$ . Con una interpolación de solo 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  $3^{\text{er}}$  grado bastará para obtener la distancia con una precisión de unos  $2 \text{ km}$  ( $0,0003 \mathcal{R}_{\oplus}$ ).

## LUNA Enero 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia $\mathcal{R}_{\oplus}$
	Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. Recta	Declinación		
	<i>h m</i>	<i>h m</i>	<i>h m</i>	<i>h m s</i>	<i>° ' "</i>		
1 M	9 10	13 49	18 33	19 46 43,5	-25 51 37		59,8519
2 J	9 46	14 42	19 47	20 43 52,9	-22 17 32		59,3553
3 V	10 16	15 33	21 00	21 38 29,2	-17 28 09		58,9413
4 S	10 42	16 22	22 12	22 30 34,8	-11 41 59		58,6125
5 D	11 06	17 09	23 24	23 20 50,6	-05 18 52		58,3637
6 L	11 29	17 56	** **	00 10 20,5	+01 21 33		58,1877
7 M	11 54	18 45	0 36	01 00 18,9	+07 59 48		58,0806
8 M	12 22	19 37	1 50	01 52 01,2	+14 15 47		58,0430
9 J	12 55	20 32	3 06	02 46 32,0	+19 48 04		58,0836
10 V	13 36	21 31	4 22	03 44 27,9	+24 14 02		58,2152
11 S	14 26	22 33	5 35	04 45 33,3	+27 12 09		58,4521
12 D	15 27	23 34	6 41	05 48 26,7	+28 26 40		58,8039
13 L	16 35	** **	7 35	06 50 56,3	+27 52 44		59,2709
14 M	17 45	0 32	8 19	07 50 50,0	+25 38 29		59,8399
15 M	18 55	1 26	8 53	08 46 43,5	+22 01 60		60,4830
16 J	20 02	2 15	9 21	09 38 16,9	+17 25 17		61,1609
17 V	21 06	2 59	9 44	10 25 58,8	+12 09 22		61,8246
18 S	22 07	3 41	10 05	11 10 44,2	+06 31 52		62,4232
19 D	23 07	4 21	10 24	11 53 37,6	+00 46 41		62,9073
20 L	** **	5 00	10 43	12 35 45,5	-04 55 08		63,2357
21 M	0 07	5 40	11 04	13 18 12,9	-10 24 04		63,3773
22 M	1 08	6 21	11 27	14 02 02,6	-15 30 51		63,3161
23 J	2 11	7 06	11 54	14 48 12,9	-20 05 04		63,0511
24 V	3 16	7 54	12 28	15 37 31,5	-23 54 19		62,5977
25 S	4 20	8 46	13 09	16 30 24,3	-26 43 56		61,9872
26 D	5 21	9 41	14 01	17 26 40,6	-28 18 10		61,2650
27 L	6 17	10 39	15 03	18 25 22,6	-28 23 09		60,4868
28 M	7 04	11 36	16 13	19 24 55,0	-26 50 54		59,7139
29 M	7 44	12 32	17 28	20 23 35,8	-23 42 35		59,0063
30 J	8 16	13 25	18 44	21 20 12,7	-19 08 54		58,4157
31 V	8 44	14 16	19 59	22 14 22,4	-13 27 43		57,9790

Cuarto creciente	06 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>
Luna llena	13 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	21 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>
Luna nueva	29 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>

Perigeo	8 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup>
Apogeo	21 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>

## LUNA Febrero 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s			Declinación ° ' "		
1 S	9 09	15 05	21 13	23 06	26,5	-07 00	45	57,7133	
2 D	9 33	15 53	22 26	23 57	16,9	-00 10	53	57,6171	
3 L	9 58	16 42	23 41	00 48	01,4	+06 39	10	57,6722	
4 M	10 24	17 33	** **	01 39	50,9	+13 07	21	57,8507	
5 M	10 56	18 27	0 57	02 33	48,8	+18 52	01	58,1223	
6 J	11 33	19 25	2 12	03 30	35,4	+23 32	08	58,4605	
7 V	12 20	20 24	3 26	04 30	09,0	+26 48	27	58,8461	
8 S	13 16	21 24	4 33	05 31	32,4	+28 26	27	59,2683	
9 D	14 20	22 22	5 30	06 33	00,1	+28 20	08	59,7222	
10 L	15 29	23 17	6 16	07 32	34,1	+26 34	09	60,2065	
11 M	16 39	** **	6 52	08 28	47,2	+23 22	26	60,7178	
12 M	17 46	0 07	7 22	09 21	04,9	+19 04	04	61,2484	
13 J	18 51	0 53	7 47	10 09	40,3	+13 58	59	61,7820	
14 V	19 54	1 36	8 08	10 55	15,7	+08 25	19	62,2944	
15 S	20 55	2 16	8 28	11 38	47,4	+02 38	26	62,7551	
16 D	21 55	2 56	8 47	12 21	15,4	-03 08	55	63,1285	
17 L	22 56	3 35	9 07	13 03	40,0	-08 45	50	63,3788	
18 M	23 58	4 16	9 28	13 46	59,6	-14 02	16	63,4740	
19 M	** **	4 59	9 54	14 32	09,3	-18 48	03	63,3888	
20 J	1 01	5 45	10 24	15 19	56,7	-22 51	59	63,1097	
21 V	2 05	6 34	11 01	16 10	54,4	-26 01	18	62,6371	
22 S	3 07	7 27	11 47	17 05	07,6	-28 02	04	61,9869	
23 D	4 05	8 23	12 44	18 02	04,3	-28 40	45	61,1935	
24 L	4 55	9 20	13 50	19 00	34,7	-27 47	11	60,3064	
25 M	5 38	10 17	15 02	19 59	10,0	-25 17	41	59,3903	
26 M	6 13	11 11	16 18	20 56	33,1	-21 16	53	58,5180	
27 J	6 43	12 04	17 35	21 52	03,6	-15 57	28	57,7639	
28 V	7 10	12 54	18 51	22 45	43,9	-09 38	19	57,1928	

Cuarto creciente	05 <sup>d</sup> 08 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>
Luna llena	12 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	20 <sup>d</sup> 17 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>
Luna nueva	28 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>

Perigeo	2 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup>
Apogeo	18 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup>

## LUNA Marzo 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia $R_{\oplus}$
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s	Declinación ° ' "		
1 S	7 34	13 44	20 07	23 38 11,5	-02 42 29	56,8499	
2 D	7 59	14 35	21 24	00 30 24,7	+04 24 44	56,7547	
3 L	8 26	15 27	22 42	01 23 29,9	+11 17 13	56,8980	
4 M	8 56	16 21	** **	02 18 27,8	+17 29 13	57,2460	
5 M	9 33	17 19	0 01	03 15 57,6	+22 36 33	57,7494	
6 J	10 17	18 19	1 17	04 15 58,3	+26 18 29	58,3533	
7 V	11 10	19 19	2 27	05 17 36,0	+28 20 24	59,0073	
8 S	12 12	20 17	3 27	06 19 10,5	+28 36 51	59,6696	
9 D	13 19	21 12	4 16	07 18 50,1	+27 12 40	60,3118	
10 L	14 28	22 03	4 54	08 15 11,1	+24 21 17	60,9167	
11 M	15 35	22 50	5 25	09 07 40,0	+20 20 38	61,4761	
12 M	16 41	23 33	5 51	09 56 28,2	+15 29 27	61,9862	
13 J	17 43	** **	6 13	10 42 15,9	+10 04 56	62,4445	
14 V	18 44	0 14	6 33	11 25 56,6	+04 22 07	62,8456	
15 S	19 45	0 53	6 52	12 08 27,7	-01 25 59	63,1796	
16 D	20 45	1 33	7 11	12 50 46,0	-07 07 47	63,4313	
17 L	21 47	2 13	7 32	13 33 46,3	-12 32 24	63,5807	
18 M	22 50	2 55	7 56	14 18 19,4	-17 29 05	63,6053	
19 M	23 53	3 39	8 24	15 05 09,3	-21 46 29	63,4836	
20 J	** **	4 27	8 57	15 54 46,5	-25 12 31	63,1977	
21 V	0 55	5 18	9 39	16 47 19,6	-27 34 28	62,7387	
22 S	1 54	6 12	10 30	17 42 26,3	-28 40 12	62,1082	
23 D	2 46	7 07	11 31	18 39 12,9	-28 20 04	61,3239	
24 L	3 31	8 02	12 39	19 36 26,5	-26 29 09	60,4204	
25 M	4 08	8 56	13 52	20 32 58,5	-23 08 40	59,4501	
26 M	4 40	9 49	15 07	21 28 07,3	-18 26 19	58,4812	
27 J	5 08	10 40	16 23	22 21 48,3	-12 35 27	57,5932	
28 V	5 33	11 30	17 39	23 14 30,4	-05 54 17	56,8665	
29 S	5 58	12 21	18 57	00 07 06,6	+01 14 36	56,3719	
30 D	6 24	13 13	20 17	01 00 42,3	+08 24 58	56,1577	
31 L	6 54	14 08	21 38	01 56 21,5	+15 07 56	56,2394	

Cuarto creciente	06 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>
Luna llena	14 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	22 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>
Luna nueva	29 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>

Perigeo	1 <sup>d</sup> 21 <sup>h</sup>
Apogeo	17 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup>
Perigeo	30 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>

## LUNA Abril 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s			Declinación ° ' "		
1 M	7 28	15 07	22 59	02 54 50,1	+20 54 01	56,5984			
2 M	8 11	16 08	** **	03 56 12,8	+25 16 22	57,1867			
3 J	9 03	17 11	0 15	04 59 34,3	+27 55 10	57,9377			
4 V	10 04	18 11	1 21	06 03 03,6	+28 41 51	58,7790			
5 S	11 11	19 08	2 14	07 04 31,3	+27 40 55	59,6433			
6 D	12 20	20 01	2 56	08 02 20,0	+25 07 11	60,4758			
7 L	13 28	20 48	3 29	08 55 50,6	+21 20 26	61,2373			
8 M	14 33	21 32	3 56	09 45 16,2	+16 40 35	61,9039			
9 M	15 36	22 13	4 19	10 31 22,2	+11 25 08	62,4643			
10 J	16 37	22 53	4 39	11 15 06,8	+05 48 48	62,9162			
11 V	17 37	23 32	4 58	11 57 31,4	+00 03 59	63,2629			
12 S	18 37	** **	5 17	12 39 35,2	-05 38 10	63,5082			
13 D	19 38	0 12	5 37	13 22 14,3	-11 06 59	63,6543			
14 L	20 41	0 53	6 00	14 06 19,4	-16 11 30	63,6998			
15 M	21 44	1 37	6 26	14 52 33,8	-20 40 04	63,6386			
16 M	22 47	2 23	6 58	15 41 26,9	-24 20 15	63,4618			
17 J	23 46	3 13	7 37	16 33 06,8	-26 59 19	63,1583			
18 V	** **	4 05	8 24	17 27 11,7	-28 25 25	62,7185			
19 S	0 40	4 59	9 20	18 22 50,4	-28 29 29	62,1387			
20 D	1 27	5 53	10 24	19 18 53,2	-27 07 01	61,4238			
21 L	2 06	6 46	11 33	20 14 14,5	-24 19 03	60,5923			
22 M	2 39	7 37	12 45	21 08 13,6	-20 11 46	59,6778			
23 M	3 07	8 27	13 58	22 00 44,5	-14 55 35	58,7317			
24 J	3 32	9 16	15 12	22 52 14,4	-08 44 18	57,8207			
25 V	3 57	10 05	16 28	23 43 35,2	-01 55 09	57,0218			
26 S	4 22	10 56	17 46	00 35 54,4	+05 10 39	56,4132			
27 D	4 49	11 50	19 07	01 30 24,6	+12 07 15	56,0611			
28 L	5 21	12 48	20 30	02 28 08,2	+18 24 41	56,0074			
29 M	6 01	13 50	21 51	03 29 33,8	+23 31 19	56,2595			
30 M	6 50	14 55	23 04	04 34 06,4	+26 59 08	56,7898			

Cuarto creciente	05 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>
Luna llena	13 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	21 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>
Luna nueva	27 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>

Apogeo	13 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup>
Perigeo	27 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup>

## LUNA Mayo 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia $\mathcal{R}_{\oplus}$
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s	Declinación ° ' "		
1 J	7 49	15 59	** **	05 39 55,2	+28 30 40	57,5406	
2 V	8 57	16 59	0 06	06 44 24,0	+28 04 19	58,4364	
3 S	10 07	17 55	0 54	07 45 15,4	+25 53 37	59,3968	
4 D	11 17	18 45	1 30	08 41 20,2	+22 20 40	60,3479	
5 L	12 25	19 30	2 00	09 32 39,3	+17 48 54	61,2298	
6 M	13 29	20 13	2 24	10 19 58,6	+12 38 37	61,9991	
7 M	14 30	20 52	2 45	11 04 23,2	+07 05 55	62,6298	
8 J	15 30	21 32	3 04	11 47 01,9	+01 23 32	63,1107	
9 V	16 30	22 11	3 23	12 29 00,6	-04 17 54	63,4421	
10 S	17 31	22 52	3 43	13 11 20,9	-09 48 26	63,6328	
11 D	18 33	23 35	4 05	13 54 58,5	-14 57 52	63,6949	
12 L	19 36	** **	4 30	14 40 41,0	-19 34 56	63,6421	
13 M	20 39	0 20	5 00	15 29 02,6	-23 27 07	63,4852	
14 M	21 40	1 09	5 36	16 20 15,2	-26 21 10	63,2319	
15 J	22 36	2 01	6 21	17 13 59,6	-28 04 29	62,8855	
16 V	23 24	2 55	7 15	18 09 23,5	-28 27 14	62,4462	
17 S	** **	3 48	8 16	19 05 12,4	-27 24 38	61,9131	
18 D	0 05	4 41	9 23	20 00 13,3	-24 57 54	61,2880	
19 L	0 39	5 32	10 32	20 53 38,0	-21 13 47	60,5785	
20 M	1 08	6 21	11 43	21 45 14,9	-16 22 47	59,8021	
21 M	1 34	7 08	12 54	22 35 27,3	-10 37 45	58,9899	
22 J	1 57	7 55	14 06	23 25 05,4	-04 13 14	58,1866	
23 V	2 21	8 44	15 20	00 15 16,5	+02 33 55	57,4506	
24 S	2 46	9 35	16 38	01 07 17,8	+09 23 23	56,8475	
25 D	3 16	10 29	17 58	02 02 25,3	+15 50 15	56,4429	
26 L	3 51	11 29	19 20	03 01 35,6	+21 25 04	56,2886	
27 M	4 35	12 33	20 39	04 04 55,1	+25 36 49	56,4134	
28 M	5 30	13 39	21 48	05 11 09,9	+27 59 27	56,8149	
29 J	6 36	14 43	22 43	06 17 47,4	+28 20 20	57,4588	
30 V	7 48	15 43	23 26	07 21 53,1	+26 44 57	58,2848	
31 S	9 01	16 37	24 00	08 21 25,0	+23 33 22	59,2181	

Cuarto creciente	04 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>
Luna llena	12 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	20 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>
Luna nueva	27 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>

Apogeo	11 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup>
Perigeo	26 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup>

## LUNA Junio 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s			Declinación ° ' "		
1 D	10 11	17 25	** **	09 15 45,5	+19 11 39	60,1805			
2 L	11 18	18 09	0 26	10 05 24,2	+14 04 18	61,0999			
3 M	12 21	18 51	0 49	10 51 24,4	+08 31 01	61,9173			
4 M	13 22	19 30	1 09	11 34 59,7	+02 46 41	62,5911			
5 J	14 22	20 10	1 28	12 17 22,7	-02 57 14	63,0957			
6 V	15 23	20 50	1 48	12 59 41,3	-08 31 05	63,4219			
7 S	16 24	21 32	2 09	13 42 57,6	-13 45 27	63,5739			
8 D	17 27	22 17	2 33	14 28 06,2	-18 30 07	63,5659			
9 L	18 30	23 05	3 01	15 15 50,0	-22 33 22	63,4189			
10 M	19 32	23 55	3 36	16 06 31,0	-25 42 03	63,1569			
11 M	20 30	** **	4 18	17 00 00,3	-27 42 46	62,8032			
12 J	21 22	0 50	5 10	17 55 31,5	-28 24 07	62,3793			
13 V	22 05	1 44	6 10	18 51 48,0	-27 39 30	61,9011			
14 S	22 41	2 38	7 15	19 47 26,1	-25 28 59	61,3804			
15 D	23 11	3 29	8 24	20 41 22,7	-21 59 16	60,8243			
16 L	23 37	4 18	9 34	21 33 12,9	-17 21 49	60,2393			
17 M	** **	5 05	10 44	22 23 10,3	-11 50 38	59,6335			
18 M	0 01	5 52	11 54	23 11 58,8	-05 40 46	59,0202			
19 J	0 24	6 38	13 05	00 00 41,7	+00 51 54	58,4223			
20 V	0 47	7 26	14 19	00 50 34,3	+07 29 56	57,8720			
21 S	1 14	8 17	15 35	01 42 55,6	+13 52 57	57,4112			
22 D	1 45	9 13	16 55	02 38 55,8	+19 36 44	57,0865			
23 L	2 24	10 14	18 14	03 39 13,9	+24 13 38	56,9423			
24 M	3 13	11 18	19 27	04 43 25,4	+27 16 10	57,0112			
25 M	4 14	12 23	20 28	05 49 41,3	+28 24 15	57,3072			
26 J	5 24	13 26	21 18	06 55 12,6	+27 32 48	57,8195			
27 V	6 38	14 23	21 56	07 57 20,9	+24 53 51	58,5121			
28 S	7 52	15 15	22 26	08 54 39,1	+20 50 59	59,3300			
29 D	9 02	16 02	22 50	09 47 00,2	+15 50 47	60,2063			
30 L	10 08	16 46	23 12	10 35 10,2	+10 16 49	61,0715			

Cuarto creciente	03 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>
Luna llena	11 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	18 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>
Luna nueva	25 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>

Apogeo	7 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup>
Perigeo	23 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup>

## LUNA Julio 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia $\mathcal{R}_{\oplus}$
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s	Declinación ° ' "		
1 M	11 11	17 27	23 32	11 20 17,9	+04 27 35	61,8619	
2 M	12 12	18 06	23 51	12 03 37,0	-01 23 02	62,5245	
3 J	13 13	18 47	** **	12 46 18,6	-07 04 11	63,0213	
4 V	14 14	19 28	0 12	13 29 28,7	-12 26 28	63,3300	
5 S	15 16	20 12	0 34	14 14 07,4	-17 20 28	63,4442	
6 D	16 19	20 59	1 01	15 01 05,1	-21 35 38	63,3724	
7 L	17 22	21 49	1 33	15 50 55,5	-24 59 49	62,1346	
8 M	18 22	22 42	2 13	16 43 45,0	-27 19 50	62,7610	
9 M	19 16	23 37	3 02	17 39 03,0	-28 23 06	62,2862	
10 J	20 03	** **	4 00	18 35 41,9	-28 00 38	61,7477	
11 V	20 42	0 31	5 05	19 32 14,8	-26 09 39	61,1806	
12 S	21 14	1 25	6 14	20 27 24,6	-22 54 49	60,6146	
13 D	21 41	2 15	7 25	21 20 28,0	-18 27 09	60,0726	
14 L	22 06	3 04	8 36	22 11 22,9	-13 01 37	59,5690	
15 M	22 28	3 50	9 46	23 00 41,7	-06 55 03	59,1119	
16 M	22 51	4 36	10 56	23 49 20,3	-00 24 50	58,7049	
17 J	23 16	5 23	12 08	00 38 28,1	+06 11 04	58,3522	
18 V	23 45	6 12	13 22	01 29 20,2	+12 33 29	58,0606	
19 S	** **	7 05	14 39	02 23 08,0	+18 21 10	57,8434	
20 D	0 19	8 02	15 56	03 20 42,3	+23 10 27	57,7193	
21 L	1 03	9 03	17 10	04 22 08,2	+26 36 50	57,7107	
22 M	1 58	10 07	18 15	05 26 20,6	+28 19 31	57,8392	
23 M	3 03	11 10	19 08	06 31 06,6	+28 07 52	58,1188	
24 J	4 16	12 09	19 51	07 33 51,9	+26 05 56	58,5511	
25 V	5 30	13 04	20 24	08 32 43,1	+22 30 57	59,1217	
26 S	6 42	13 53	20 51	09 26 58,9	+17 47 08	59,7991	
27 D	7 51	14 38	21 14	10 16 59,2	+12 19 00	60,5384	
28 L	8 56	15 21	21 34	11 03 38,3	+06 27 45	61,2852	
29 M	9 59	16 02	21 54	11 48 03,2	+00 30 12	61,9832	
30 M	11 00	16 42	22 14	12 31 22,4	-05 20 34	62,5792	
31 J	12 02	17 23	22 36	13 14 41,6	-10 53 48	63,0283	

Cuarto creciente	02 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>
Luna llena	10 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	18 <sup>d</sup> 00 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>
Luna nueva	24 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>

Apogeo	5 <sup>d</sup> 02 <sup>h</sup>
Perigeo	20 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup>

## LUNA Agosto 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU				Distancia $R_{\oplus}$
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s	Declinación ° ' "			
1 V	13 04	18 06	23 01	13 59 01,2	-15 59 51	63,2983		
2 S	14 07	18 52	23 31	14 45 14,5	-20 28 47	63,3708		
3 D	15 10	19 40	** **	15 34 02,3	-24 09 40	63,2427		
4 L	16 11	20 32	0 07	16 25 43,9	-26 50 24	62,9265		
5 M	17 07	21 26	0 52	17 20 07,0	-28 18 37	62,4490		
6 M	17 57	22 21	1 46	18 16 22,4	-28 23 52	61,8486		
7 J	18 39	23 15	2 49	19 13 13,7	-27 00 25	61,1721		
8 V	19 14	** **	3 58	20 09 20,6	-24 09 13	60,4715		
9 S	19 43	0 08	5 10	21 03 45,9	-19 58 19	59,7965		
10 D	20 09	0 58	6 22	21 56 10,0	-14 41 23	59,1914		
11 L	20 33	1 46	7 34	22 46 50,5	-08 35 41	58,6892		
12 M	20 56	2 33	8 46	23 36 32,6	-02 00 24	58,3085		
13 M	21 20	3 21	9 59	00 26 18,1	+04 44 15	58,0550		
14 J	21 48	4 10	11 13	01 17 16,3	+11 17 18	57,9220		
15 V	22 20	5 01	12 29	02 10 34,4	+17 16 50	57,8967		
16 S	23 00	5 57	13 46	03 07 03,0	+22 20 05	57,9637		
17 D	23 50	6 56	15 00	04 06 56,2	+26 04 35	58,1120		
18 L	** **	7 58	16 06	05 09 29,6	+28 11 11	58,3343		
19 M	0 51	8 59	17 02	06 12 58,1	+28 28 47	58,6296		
20 M	2 00	9 59	17 48	07 15 07,1	+26 58 12	58,9993		
21 J	3 12	10 54	18 23	08 14 04,9	+23 52 07	59,4442		
22 V	4 24	11 45	18 52	09 08 57,4	+19 30 50	59,9593		
23 S	5 34	12 31	19 16	09 59 48,0	+14 16 55	60,5320		
24 D	6 40	13 15	19 37	10 47 17,7	+08 31 30	61,1388		
25 L	7 44	13 56	19 57	11 32 24,9	+02 32 39	61,7477		
26 M	8 47	14 37	20 17	12 16 12,3	-03 24 45	62,3188		
27 M	9 49	15 18	20 39	12 59 41,4	-09 08 16	62,8100		
28 J	10 51	16 00	21 02	13 43 49,9	-14 27 01	63,1799		
29 V	11 54	16 45	21 30	14 29 29,0	-19 10 39	63,3924		
30 S	12 56	17 32	22 03	15 17 20,2	-23 08 36	63,4210		
31 D	13 58	18 22	22 43	16 07 47,8	-26 09 44	63,2516		

Cuarto creciente	01 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>
------------------	---

Luna llena	09 <sup>d</sup> 07 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>
------------	---

Cuarto menguante	16 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>
------------------	---

Luna nueva	23 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>
------------	---

Cuarto creciente	31 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>
------------------	---

Apogeo	1 <sup>d</sup> 21 <sup>h</sup>
--------	--------------------------------

Perigeo	14 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup>
---------	---------------------------------

Apogeo	29 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup>
--------	---------------------------------

## LUNA Setiembre 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia $R_{\oplus}$
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s	Declinación ° ' "		
1 L	14 56	19 15	23 33	17 00 50,7	-28 02 41	62,8843	
2 M	15 48	20 09	** **	17 55 56,8	-28 37 15	62,3352	
3 M	16 33	21 03	0 31	18 52 05,9	-27 46 19	61,6363	
4 J	17 11	21 56	1 38	19 48 07,0	-25 27 55	60,8346	
5 V	17 42	22 47	2 48	20 43 01,0	-21 46 10	59,9884	
6 S	18 10	23 37	4 01	21 36 18,6	-16 50 57	59,1635	
7 D	18 35	** **	5 14	22 28 05,2	-10 56 50	58,4246	
8 L	18 59	0 25	6 28	23 18 55,7	-04 22 01	57,8298	
9 M	19 23	1 14	7 42	00 09 44,5	+02 32 27	57,4196	
10 M	19 50	2 03	8 58	01 01 36,4	+09 23 16	57,2144	
11 J	20 21	2 56	10 16	01 55 35,5	+15 45 32	57,2111	
12 V	20 59	3 51	11 34	02 52 31,4	+21 13 41	57,3870	
13 S	21 47	4 50	12 50	03 52 38,2	+25 23 24	57,7074	
14 D	22 44	5 52	14 00	04 55 14,5	+27 54 53	58,1317	
15 L	23 50	6 53	14 59	05 58 40,7	+28 37 06	58,6228	
16 M	** **	7 53	15 47	07 00 48,2	+27 30 49	59,1510	
17 M	1 01	8 49	16 25	07 59 48,9	+24 48 00	59,6959	
18 J	2 12	9 40	16 55	08 54 48,6	+20 47 36	60,2450	
19 V	3 22	10 27	17 20	09 45 48,8	+15 50 40	60,7910	
20 S	4 28	11 11	17 42	10 33 27,8	+10 17 04	61,3288	
21 D	5 32	11 53	18 02	11 18 41,6	+04 24 12	61,8504	
22 L	6 35	12 33	18 22	12 02 30,6	-01 33 00	62,3435	
23 M	7 37	13 14	18 43	12 45 54,2	-07 21 30	62,7886	
24 M	8 39	13 56	19 05	13 29 47,3	-12 49 30	63,1613	
25 J	9 41	14 40	19 31	14 14 58,9	-17 45 45	63,4332	
26 V	10 44	15 26	20 02	15 02 07,9	-21 59 10	63,5748	
27 S	11 46	16 14	20 39	15 51 38,3	-25 18 38	63,5591	
28 D	12 45	17 06	21 24	16 43 31,6	-27 33 16	63,3654	
29 L	13 39	17 58	22 18	17 37 22,3	-28 33 30	62,9833	
30 M	14 26	18 51	23 20	18 32 20,2	-28 12 33	62,4157	

Luna llena	07 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	14 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>
Luna nueva	21 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	29 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>

Perigeo	10 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup>
Apogeo	26 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup>

## LUNA Octubre 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU					
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s			Declinación ° ' "		
1 M	15 06	19 44	** **	19 27 23,4	-26 27 40	61,6806			
2 J	15 39	20 35	0 27	20 21 38,0	-23 20 54	60,8142			
3 V	16 08	21 24	1 37	21 14 34,3	-18 58 53	59,8687			
4 S	16 34	22 13	2 49	22 06 13,6	-13 32 11	58,9123			
5 D	16 58	23 01	4 02	22 57 05,5	-07 14 60	58,0207			
6 L	17 23	23 51	5 17	23 48 01,2	-00 25 10	57,2721			
7 M	17 49	** **	6 33	00 40 04,8	+06 35 24	56,7335			
8 M	18 19	0 43	7 52	01 34 23,9	+13 20 46	56,4514			
9 J	18 56	1 39	9 13	02 31 54,8	+19 21 56	56,4420			
10 V	19 41	2 39	10 34	03 32 59,4	+24 09 24	56,6918			
11 S	20 37	3 42	11 49	04 36 59,8	+27 17 52	57,1592			
12 D	21 42	4 46	12 53	05 42 09,4	+28 32 07	57,7871			
13 L	22 52	5 48	13 45	06 46 02,4	+27 51 18	58,5121			
14 M	** **	6 45	14 26	07 46 32,9	+25 28 07	59,2756			
15 M	0 04	7 38	14 59	08 42 36,9	+21 43 19	60,0306			
16 J	1 14	8 26	15 25	09 34 15,4	+16 59 21	60,7429			
17 V	2 20	9 10	15 47	10 22 11,1	+11 36 30	61,3924			
18 S	3 24	9 52	16 08	11 07 25,2	+05 51 47	61,9691			
19 D	4 26	10 32	16 28	11 51 02,8	-00 00 36	62,4701			
20 L	5 28	11 12	16 48	12 34 06,7	-05 48 19	62,8942			
21 M	6 29	11 54	17 10	13 17 33,9	-11 19 53	63,2397			
22 M	7 32	12 36	17 34	14 02 14,6	-16 23 59	63,5012			
23 J	8 34	13 22	18 03	14 48 48,8	-20 49 05	63,6687			
24 V	9 37	14 09	18 38	15 37 40,5	-24 23 27	63,7273			
25 S	10 37	15 00	19 20	16 28 51,7	-26 55 48	63,6595			
26 D	11 32	15 51	20 11	17 21 57,0	-28 16 23	63,4477			
27 L	12 21	16 43	21 09	18 16 06,3	-28 18 30	63,0776			
28 M	13 02	17 35	22 12	19 10 17,8	-26 59 43	62,5421			
29 M	13 37	18 25	23 19	20 03 37,2	-24 22 09	61,8455			
30 J	14 07	19 13	** **	20 55 33,7	-20 31 45	61,0070			
31 V	14 33	20 01	0 28	21 46 07,3	-15 37 20	60,0625			

Luna llena	07 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	13 <sup>d</sup> 18 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>
Luna nueva	21 <sup>d</sup> 12 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	29 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>

Perigeo	8 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup>
Apogeo	23 <sup>d</sup> 24 <sup>h</sup>

## LUNA Noviembre 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU		
	Orto	Culmin.	Ocaso	Asc. Recta	Declinación	Distancia
	<i>h m</i>	<i>h m</i>	<i>h m</i>	<i>h m s</i>	<i>° ' "</i>	<i>R<sub>⊕</sub></i>
1 S	14 57	20 48	1 38	22 35 46,2	-09 49 52	59,0668
2 D	15 21	21 36	2 50	23 25 21,0	-03 22 45	58,0904
3 L	15 46	22 26	4 04	00 15 57,7	+03 27 07	57,2148
4 M	16 15	23 21	5 21	01 08 50,8	+10 18 08	56,5225
5 M	16 48	** **	6 42	02 05 11,9	+16 43 04	56,0843
6 J	17 30	0 19	8 05	03 05 48,0	+22 10 09	55,9462
7 V	18 23	1 23	9 26	04 10 29,1	+26 07 08	56,1197
8 S	19 27	2 29	10 38	05 17 40,3	+28 09 09	56,5794
9 D	20 38	3 35	11 37	06 24 36,0	+28 06 59	57,2697
10 L	21 52	4 37	12 24	07 28 26,2	+26 09 51	58,1169
11 M	23 04	5 33	13 00	08 27 26,6	+22 40 07	59,0420
12 M	** **	6 23	13 28	09 21 17,8	+18 04 10	59,9726
13 J	0 13	7 09	13 52	10 10 40,4	+12 45 54	60,8506
14 V	1 18	7 51	14 13	10 56 41,9	+07 04 25	61,6344
15 S	2 20	8 32	14 33	11 40 36,2	+01 14 29	62,2996
16 D	3 21	9 12	14 53	12 23 33,7	-04 32 02	62,8355
17 L	4 22	9 53	15 15	13 06 38,4	-10 04 33	63,2427
18 M	5 24	10 35	15 38	13 50 46,7	-15 12 42	63,5270
19 M	6 26	11 19	16 06	14 36 44,2	-19 45 31	63,6977
20 J	7 29	12 06	16 39	15 25 01,1	-23 31 18	63,7622
21 V	8 30	12 56	17 19	16 15 44,5	-26 18 09	63,7245
22 S	9 27	13 47	18 07	17 08 32,1	-27 55 21	63,5842
23 D	10 17	14 39	19 03	18 02 32,5	-28 15 17	63,3365
24 L	11 01	15 30	20 04	18 56 38,0	-27 14 58	62,9739
25 M	11 37	16 20	21 09	19 49 45,2	-24 56 42	62,4891
26 M	12 08	17 08	22 16	20 41 14,5	-21 27 08	61,8788
27 J	12 34	17 54	23 23	21 30 59,0	-16 55 42	61,1482
28 V	12 58	18 40	** **	22 19 22,4	-11 33 10	60,3146
29 S	13 21	19 25	0 31	23 07 12,2	-05 31 19	59,4109
30 D	13 45	20 13	1 41	23 55 33,2	+00 56 35	58,4870

Luna llena	05 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	12 <sup>d</sup> 05 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>
Luna nueva	20 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	28 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>

Perigeo	5 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup>
Apogeo	20 <sup>d</sup> 03 <sup>h</sup>

## LUNA Diciembre 2025

Día	En Madrid (TU)			a 0 <sup>h</sup> de TU						
	Orto h m	Culmin. h m	Ocaso h m	Asc. Recta h m s			Declinación ° ' "			Distancia R <sub>⊕</sub>
1 L	14 11	21 03	2 54	00 45 41,5	+07 34 17	57,6086				
2 M	14 41	21 58	4 11	01 38 58,4	+14 00 44	56,8522				
3 M	15 18	22 59	5 31	02 36 35,9	+19 48 57	56,2949				
4 J	16 05	** **	6 53	03 39 08,7	+24 26 56	56,0015				
5 V	17 04	0 05	8 11	04 45 54,9	+27 22 58	56,0118				
6 S	18 14	1 12	9 19	05 54 34,5	+28 15 18	56,3308				
7 D	19 30	2 18	10 13	07 01 49,7	+27 01 13	56,9270				
8 L	20 46	3 19	10 55	08 04 53,3	+23 57 44	57,7393				
9 M	21 59	4 14	11 28	09 02 30,5	+19 32 56	58,6878				
10 M	23 07	5 03	11 55	09 54 53,6	+14 15 52	59,6886				
11 J	** **	5 48	12 17	10 43 04,0	+08 30 40	60,6646				
12 V	0 12	6 30	12 38	11 28 20,0	+02 35 32	61,5528				
13 S	1 14	7 11	12 58	12 11 59,4	-03 16 06	62,3085				
14 D	2 15	7 51	13 19	12 55 14,0	-08 53 34	62,9047				
15 L	3 16	8 33	13 42	13 39 07,4	-14 07 18	63,3314				
16 M	4 18	9 16	14 08	14 24 33,7	-18 47 31	63,5913				
17 M	5 21	10 02	14 40	15 12 12,4	-22 43 30	63,6975				
18 J	6 22	10 51	15 18	16 02 22,0	-25 43 45	63,6682				
19 V	7 21	11 43	16 03	16 54 51,1	-27 36 58	63,5237				
20 S	8 14	12 35	16 57	17 48 55,4	-28 14 03	63,2824				
21 D	9 00	13 27	17 58	18 43 26,1	-27 30 19	62,9587				
22 L	9 38	14 18	19 02	19 37 10,2	-25 26 48	62,5618				
23 M	10 11	15 06	20 09	20 29 14,0	-22 10 01	62,0965				
24 M	10 38	15 52	21 15	21 19 16,6	-17 50 17	61,5631				
25 J	11 02	16 37	22 22	22 07 31,0	-12 39 47	60,9631				
26 V	11 25	17 21	23 29	22 54 36,7	-06 51 17	60,3010				
27 S	11 47	18 06	** **	23 41 32,3	-00 37 60	59,5899				
28 D	12 11	18 54	0 38	00 29 28,9	+05 45 49	58,8546				
29 L	12 38	19 44	1 50	01 19 45,6	+12 03 17	58,1338				
30 M	13 10	20 40	3 06	02 13 41,0	+17 53 26	57,4785				
31 M	13 51	21 42	4 25	03 12 16,0	+22 50 14	56,9493				

Luna llena	04 <sup>d</sup> 23 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>
Cuarto menguante	11 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>
Luna nueva	20 <sup>d</sup> 01 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>
Cuarto creciente	27 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>

Perigeo	4 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup>
Apogeo	17 <sup>d</sup> 06 <sup>h</sup>

## 4.9. Ortos, ocasos y pasos de la Luna por el meridiano

### Cálculo del orto y ocaso 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 \*\*.

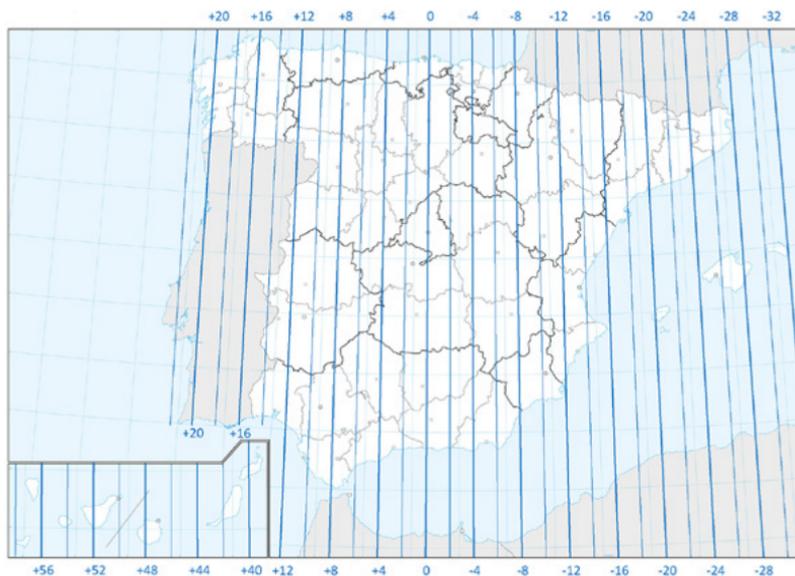
Para conocer el instante de salida o de puesta de la Luna en otro lugar de España es necesario aplicar dos correcciones, una debida a la diferente latitud y otra debida a la diferente longitud. Puede ocurrir que, hechas tales correcciones, el fenómeno tenga lugar el día anterior o el posterior.

#### 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°5
Almería	-5 <sup>m</sup> 37°	Ávila	+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
Castelló 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	+19 <sup>m</sup> 43°5	Cuenca	-6 <sup>m</sup> 40°
Donostia/San Sebastián	-7 <sup>m</sup> 43°5	Girona	-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	-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	+17 <sup>m</sup> 42°5

**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.
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°	València	-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



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.

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

$\delta$ (°)	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	

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 3° en declinación en la tabla anterior. El paralelo 28° corresponde a las Canarias.

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.

### 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 Bilbao (latitud  $43^{\circ}0'$ ) el día 6 de octubre, en que su declinación media es de  $3^{\circ}$  y el horario oficial es el de verano:

$$\text{orto} = 17^{\text{h}}23^{\text{m}} + (-3)^{\text{m}} + (-1^{\text{m}}) = 17^{\text{h}}19^{\text{m}} \text{ TU} = 19^{\text{h}}19^{\text{m}} \text{ TO}$$

$$\text{ocaso} = 5^{\text{h}}17^{\text{m}} + (-3)^{\text{m}} - (-1^{\text{m}}) = 5^{\text{h}}15^{\text{m}} \text{ TU} = 7^{\text{h}}15^{\text{m}} \text{ TO}$$

### 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):

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

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

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  $r_0$  (expresada en radios terrestres), o bien del semidiámetro  $s_0$  o de la paralaje  $\pi_0$  (expresados en minutos de arco) mediante las expresiones:

$$\text{paso semidiámetro (en } ^s) \approx 4,1 s_0 \approx 1,13 \pi_0 \approx 3900 / r_0$$

Los pasos por los bordes anterior y posterior serán:

$$\text{paso borde anterior} = \text{paso centro} - \text{paso semidiámetro}$$

$$\text{paso borde posterior} = \text{paso centro} + \text{paso semidiámetro}$$

## 4.10. 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 esta alrededor de la Tierra. El cambio de apariencia da lugar a las denominadas fases lunares o fases de la Luna.

**Fases de la Luna en 2025**

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	06 23 56	Ene	13 22 27	Ene	21 20 31
Ene	29 12 36	Feb	05 08 02	Feb	12 13 53	Feb	20 17 33
Feb	28 00 45	Mar	06 16 32	Mar	14 06 55	Mar	22 11 29
Mar	29 10 58	Abr	05 02 15	Abr	13 00 22	Abr	21 01 36
Abr	27 19 31	May	04 13 52	May	12 16 56	May	20 11 59
May	27 03 02	Jun	03 03 41	Jun	11 07 44	Jun	18 19 19
Jun	25 10 32	Jul	02 19 30	Jul	10 20 37	Jul	18 00 38
Jul	24 19 11	Ago	01 12 41	Ago	09 07 55	Ago	16 05 12
Ago	23 06 07	Ago	31 06 25	Set	07 18 09	Set	14 10 33
Set	21 19 54	Set	29 23 54	Oct	07 03 48	Oct	13 18 13
Oct	21 12 25	Oct	29 16 21	Nov	05 13 19	Nov	12 05 28
Nov	20 06 47	Nov	28 06 59	Dic	04 23 14	Dic	11 20 52
Dic	20 01 43	Dic	27 19 10				

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.

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.

## 4.11. 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			
fecha y hora			distancia	fecha y hora			distancia
mes	día	h	km	mes	día	h	km
Ene	8	0	370207	Ene	21	5	404258
Feb	2	3	367485	Feb	18	1	404847
Mar	1	21	361979	Mar	17	16	405729
Mar	30	5	358135	Abr	13	22	406287
Abr	27	16	357118	May	11	1	406256
May	26	1	359014	Jun	7	11	405580
Jun	23	5	363160	Jul	5	2	404662
Jul	20	14	368011	Ago	1	21	404201
Ago	14	18	369254	Ago	29	16	404585
Set	10	12	364756	Set	26	10	405578
Oct	8	13	359808	Oct	23	24	406462
Nov	5	23	356830	Nov	20	3	406690
Dic	4	11	356967	Dic	17	6	406301

## Valores extremos en los siglos XX y XXI

Intervalos menor y mayor entre lunas nuevas consecutivas:

$29^{\text{d}},274$  y  $29^{\text{d}},829$

Intervalos menor y mayor entre perigeos sucesivos:

$24^{\text{d}},65$  y  $28^{\text{d}},54$

Intervalos menor y mayor entre dos apogeos sucesivos:

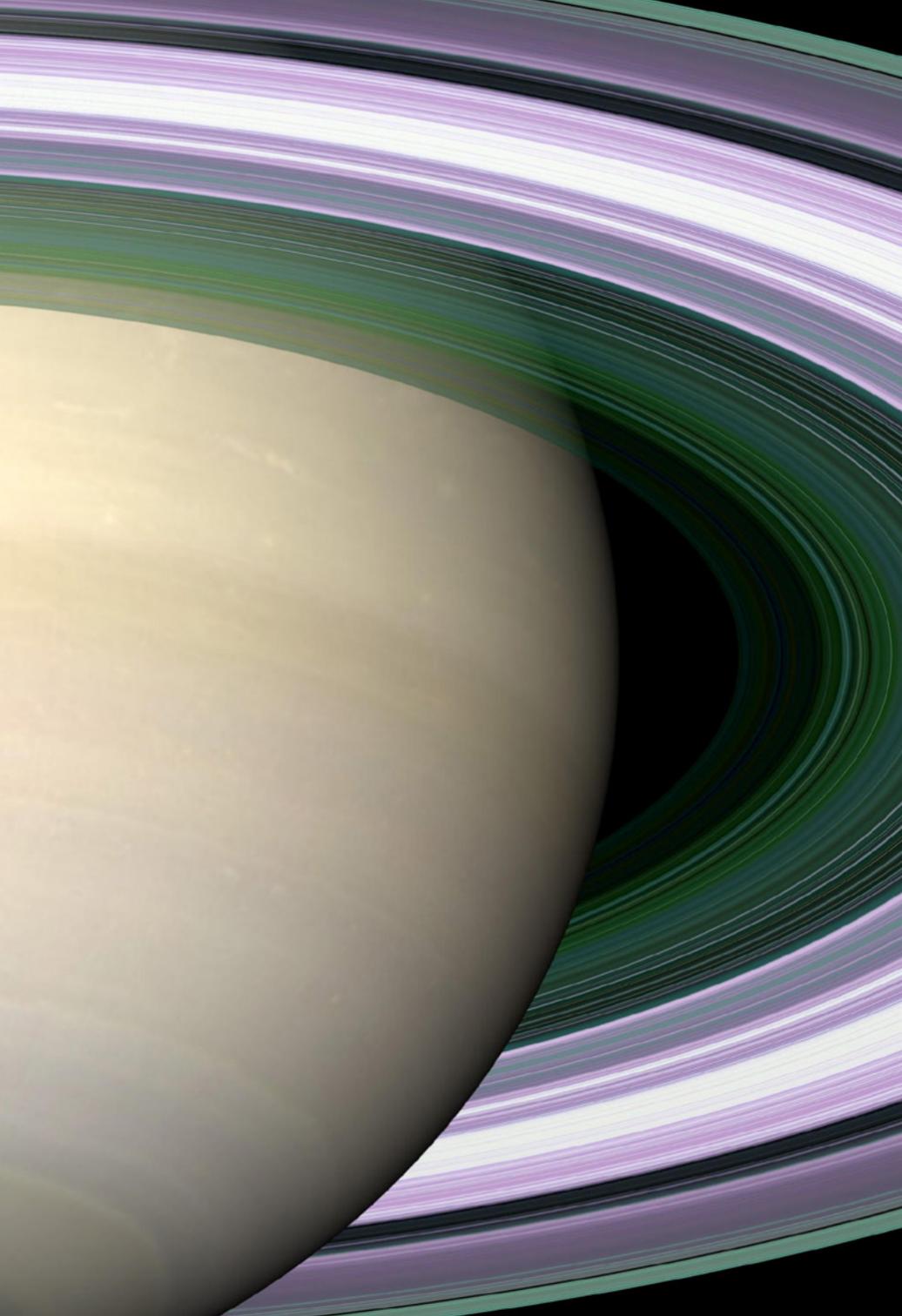
$26^{\text{d}},98$  y  $27^{\text{d}},90$

Valores extremos entre los que varía el perigeo lunar:

356 375 y 370 350 km

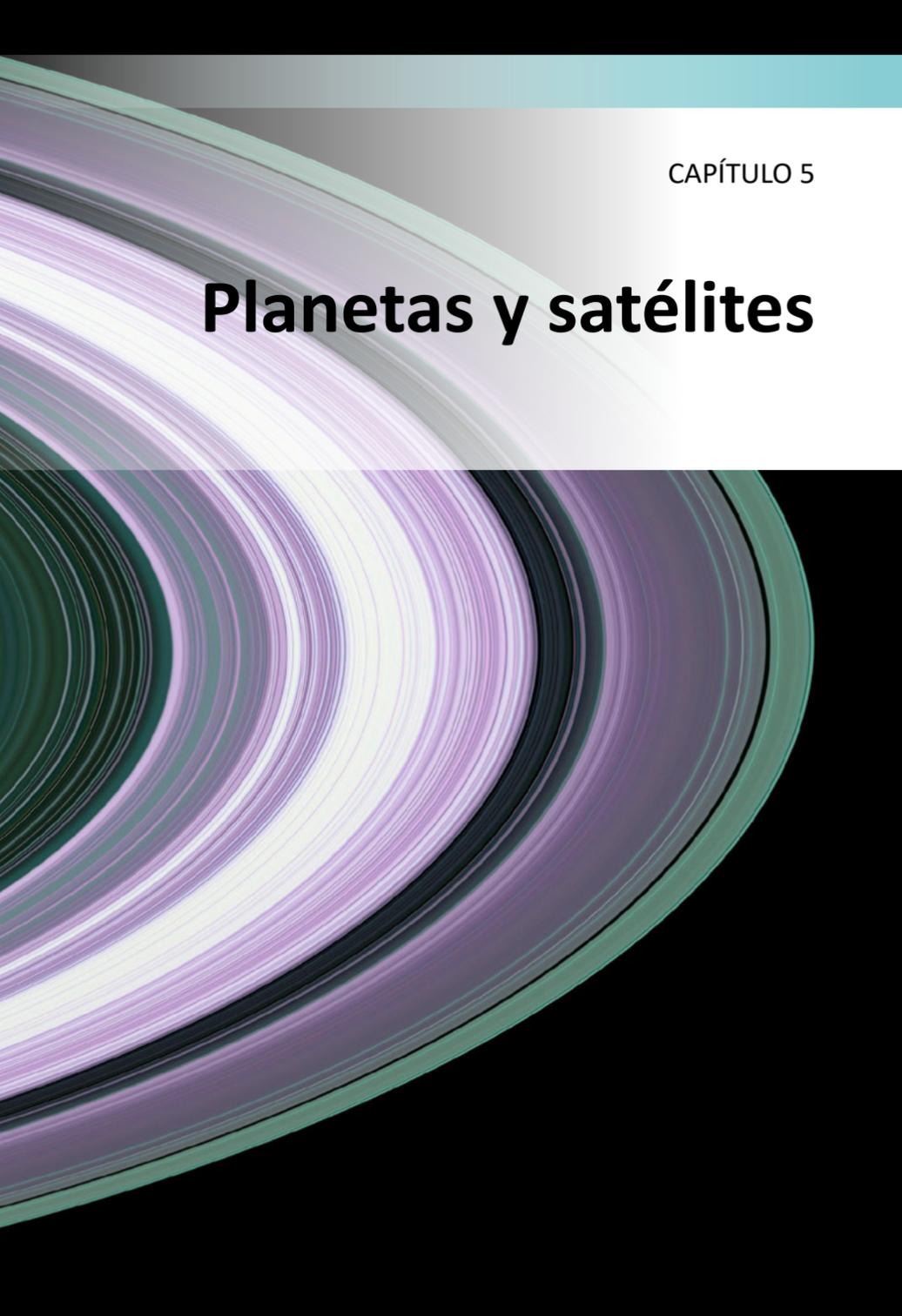
Valores extremos entre los que varía el apogeo lunar:

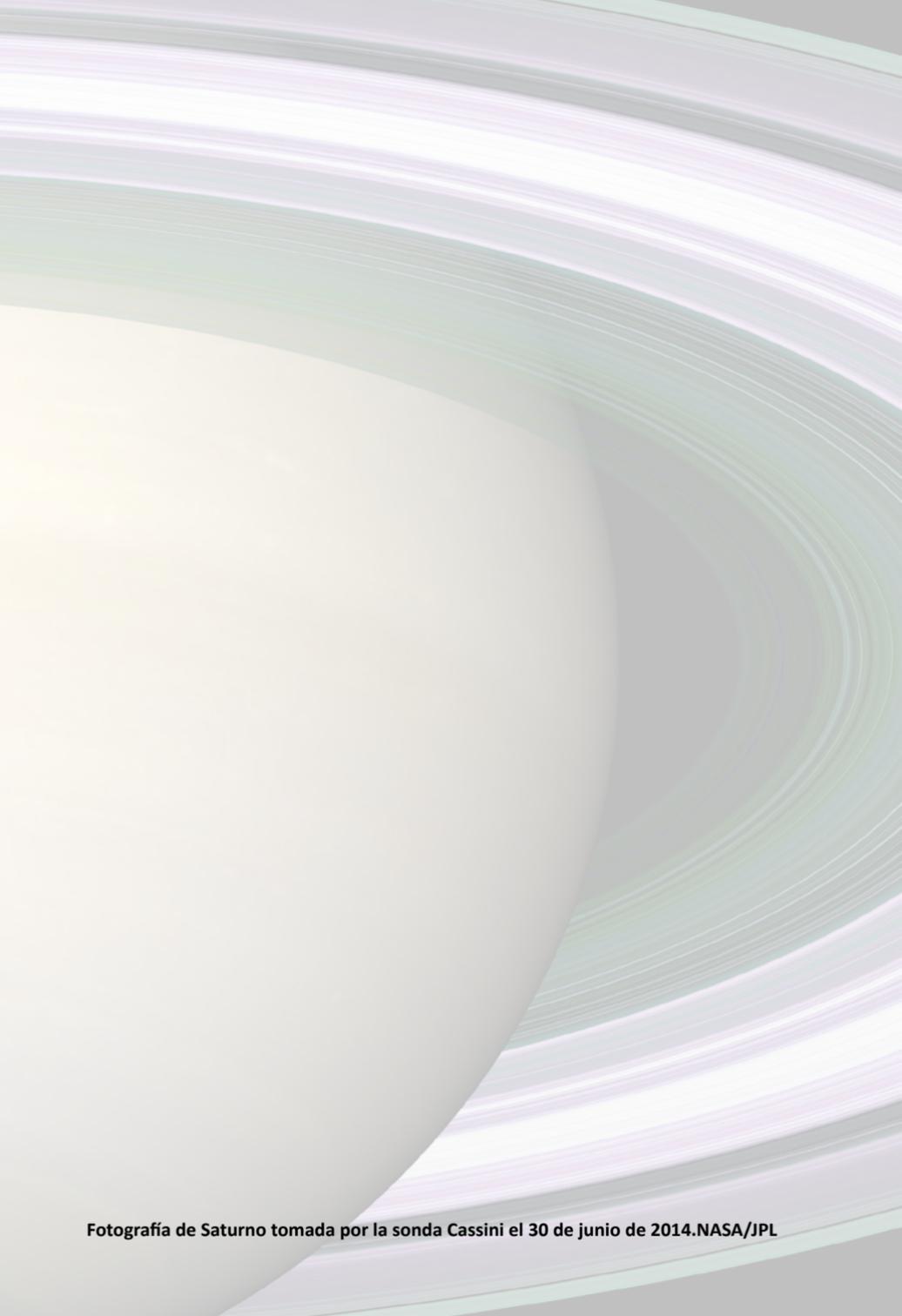
404 050 y 406 712 km



CAPÍTULO 5

# Planetas y satélites





Fotografía de Saturno tomada por la sonda Cassini el 30 de junio de 2014. NASA/JPL

Vivimos en un sistema multiplanetario, con nada menos que otros siete planetas, además del nuestro, orbitando en torno al Sol. Considerando la distancia a nuestra estrella, y de más cercano a más lejano, los ocho planetas del Sistema Solar son Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Entre ellos existe una importante variedad de características y propiedades, que hace que compongan un conjunto de enorme belleza e interés científico.

Atendiendo a su composición, los planetas del Sistema Solar se dividen en dos grandes grupos. En primer lugar tenemos los planetas terrestres, compuestos principalmente de materia sólida. Sus órbitas son las más cercanas al Sol, estando todas situadas en la zona interior de la órbita definida por el cinturón de asteroides. Son Mercurio, Venus, la Tierra y Marte. También entre ellos existe una gran diversidad. Mercurio, el de menor tamaño de todos, con la órbita más pequeña y más rápida, no tiene prácticamente atmósfera y es a grandes rasgos una densa bola rocosa que, al no tener atmósfera y estar tan cerca del Sol, tiene fortísimos contrastes térmicos entre los valores diurnos y nocturnos. Venus es el planeta gemelo en tamaño de la Tierra, pero con una atmósfera muy densa y con una composición química rica en dióxido de carbono y ácido sulfúrico, por lo que sufre un fortísimo efecto invernadero que le hace alcanzar las temperaturas más altas en superficie del Sistema Solar, convirtiéndolo en inhabitable para el ser humano. La Tierra, muy bien conocida para nosotros, es el único planeta donde se equilibran todos los factores para posibilitar el desarrollo de la vida tal como la conocemos. Y Marte, el planeta rojo, es a día de hoy un yermo pero que cuenta con casquetes polares de hielo y con señales de haber tenido agua líquida en superficie en el pasado. Se considera posible que albergue agua subterránea actualmente, por lo que es uno de los puntos donde se están buscando posibles rastros presentes o pasados de vida.

El segundo grupo lo componen los planetas gaseosos: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Son cuerpos gaseosos, mucho más grandes que los planetas terrestres, y con órbitas más externas. Júpiter es el más grande de todos, compuesto principalmente por hidrógeno y helio con trazas de otros elementos, con una rotación muy rápida. Su superficie se caracteriza por un patrón de franjas nubosas blancas y anaranjadas donde incluso pueden formarse tormentas como la Gran Mancha Roja. Saturno, el segundo en tamaño, se caracteriza por su imponente sistema de anillos (no es el único planeta que los tiene, pero es el caso más destacado), compuestos de fragmentos de roca y hielos. Los llamados gigantes de hielo, Urano y Neptuno, también están compuestos principalmente de hidrógeno y helio, pero con una cierta cantidad de hielos de agua, amoníaco y metano que les dan sus colores azules característicos. Urano presenta la particularidad de tener el eje de rotación más inclinado de todos los planetas, casi paralelo al plano de la eclíptica,

probablemente debido a una colisión en las fases iniciales del Sistema Solar. En Neptuno se alcanzan las temperaturas más bajas de los planetas del Sistema Solar, del orden de los  $-218^{\circ}\text{C}$ .

En el cielo nocturno terrestre los planetas han sido y son algunas de las grandes joyas de la observación astronómica. Venus es, de hecho, el objeto más brillante del cielo tras el Sol y la Luna, seguido de Júpiter y Marte. Durante toda su historia la humanidad ha observado aquellos planetas que eran visibles a simple vista (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno), estudiando sus movimientos y, cuando aún no éramos capaces de dar explicación científica a su existencia, dotándoles de papeles protagonistas en las mitologías de múltiples culturas. De ahí provienen, de hecho, sus nombres. Hubo que esperar hasta tiempos relativamente recientes, con la invención y correspondiente desarrollo de los telescopios, para añadir los últimos dos planetas a la lista: Urano, descubierto por William Herschel en 1781, y Neptuno, predicho por Le Verrier y observado por Galle en 1846.

Los satélites del Sistema Solar constituyen otro grupo de enorme variedad e interés. Entre los planetas terrestres solo encontramos tres (la Luna en la Tierra, y Fobos y Deimos en Marte), pero entre los planetas gaseosos se cuentan por decenas. Suman unos 300, número que aún aumenta cuando se descubren nuevos cuerpos pequeños orbitando en torno a los planetas gaseosos. Entre ese censo total, al menos 19 tienen masa suficiente como para que la gravedad les haga ser esféricos y estar en equilibrio hidrostático, y por tanto habrían sido planetas o planetas enanos si hubieran orbitado el Sol en vez girar entorno a su planeta correspondiente. Dos de ellos (Ganímedes y Titán) son, de hecho, de mayor tamaño que Mercurio. Estos satélites de gran tamaño tienen un interés científico análogo al de los planetas, y son el objeto de estudio de algunas de las más importantes misiones espaciales del presente y el futuro inmediato. Mención especial merecen los cuatro satélites galileanos, orbitando en torno a Júpiter: Ío, el cuerpo con mayor actividad volcánica del Sistema Solar; Europa, cubierto de hielo y con probable agua subterránea donde se investiga la posible presencia de vida; Ganímedes, el más grande y el único con magnetosfera, y Calisto, que también puede tener agua líquida bajo superficie. También es un caso de gran interés Titán, en Saturno, por ser el único satélite con atmósfera densa y el único otro cuerpo en el Sistema Solar (aparte de la Tierra) con masas líquidas en superficie, aunque en su caso de hidrocarburos, no de agua. Encélado, también en Saturno, es una luna pequeña cubierta de hielo que está expulsando vapor de agua al espacio mediante géiseres, indicando la presencia de agua líquida subterránea con posible actividad hidrotermal. Junto con sus compañeros, estos satélites nos proporcionan información clave sobre el Sistema Solar, su origen, y el desarrollo de la vida en el espacio.

## 5.1. Datos planetarios

### 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:	288
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:	$1 \mathcal{M}_{\odot} = 1,988547 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 333\,000 \mathcal{M}_{\oplus}$
Const. gravit. 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:

$$\begin{aligned}
 G &= k^2 = 2,959122083 \cdot 10^{-4} (\text{ua})^3 (\mathcal{M}_{\odot})^{-1} (\text{día})^{-2} \\
 &= 4 \pi^2 (\text{ua})^3 (\mathcal{M}_{\odot})^{-1} (\text{años})^{-2} \\
 &= 887 \text{ ua} (\mathcal{M}_{\odot})^{-1} (\text{km/s})^2 \\
 &= 4,302 \cdot 10^{-3} \text{ pc} (\mathcal{M}_{\odot})^{-1} (\text{km/s})^2 \\
 &= 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} \\
 &= 6,674 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}
 \end{aligned}$$

### 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 86 400 segundos.

Los elementos que caracterizan una órbita son:

- T** = instante de paso por el perihelio,
- a** = semieje mayor de la órbita,
- e** = excentricidad,
- $\omega$**  = 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, $\varpi$	longitud media, L
Mercurio	7°005	48°332	77°456	252°251
Venus	3°395	76°681	131°533	181°980
Tierra	0°000	0°000	102°947	100°464
Marte	1°851	49°579	336°041	355°453
Júpiter	1°305	100°556	14°754	34°404
Saturno	2°484	113°715	92°432	49°944
Urano	0°770	74°230	170°964	313°232
Neptuno	1°769	131°722	44°971	304°880

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

**Distancias orbitales (J2000.0)**

Planeta	semieje mayor, a		excentricidad, e	distancias (ua)	
	ua	10 <sup>6</sup> 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°092377	47,873	115,878
Venus	0,615183	1°602169	35,021	583,921
Tierra	0,999979	0°985647	29,786	
Marte	1,880711	0°524071	24,131	779,936
Júpiter	11,856525	0°083129	13,070	398,884
Saturno	29,423519	0°033498	9,672	378,092
Urano	83,747407	0°011769	6,835	369,656
Neptuno	163,723204	0°006020	5,478	367,487

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

**Otros datos referidos a la órbita**

Planeta	distancia a la Tierra (10 <sup>6</sup> km)		diámetro aparente desde la Tierra		diámetro medio del Sol visto desde el planeta
	máxima	mínima	mínimo	máximo	
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> 16 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> 5 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  $d = DJ - 2\,451\,545$  y  $T = d/36\,525$ . DJ es el día juliano.

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

### 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 ecuatorial en $R_{\oplus}$	diámetro ecuatorial en km	diámetro polar en km	achata- miento, $f$	tamaño angular a 1 ua	volumen Tierra=1 ( $\approx 10^{12}$ km <sup>3</sup> )
Mercurio	0,383	4879,4	= ecuatorial	$\sim 0$	6",73	0,0562
Venus	0,949	12103,6	= ecuatorial	$\sim 0$	16",69	0,8571
Tierra	1,000	12756,3	12713,5	0,0033528	17",59	1,0000
Marte	0,532	6792,4	6752,4	0,0058860	9",37	0,1506
Júpiter	11,209	142984	133708	0,0648744	197",15	1321
Saturno	9,449	120536	108728	0,0979624	166",19	764
Urano	4,007	51118	49946	0,0229273	70",48	63
Neptuno	3,883	49528	48682	0,0171	68",29	58

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

Planeta	Masa			
	masa, $M_p$ ( $M_{\oplus}$ )	densidad media (g cm <sup>-3</sup> )	gravedad superf. ecu. (m s <sup>-2</sup> )	constante gravit., $GM_p$ ( $10^{15}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> )
Mercurio	0,0553	5,43	3,70	0,022032
Venus	0,8150	5,24	8,87	0,324858
Tierra	1,0000	5,52	9,80	0,398600
Marte	0,1074	3,93	3,71	0,042828
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	5,794550
Neptuno	17,15	1,64	11,15	6,837

Planeta	Parámetros dinámicos			
	momento de inercia ( $I/M_p R_p^2$ )	$J_2$ ( $10^{-6}$ )	velocidad de escape ecuatorial (km s <sup>-1</sup> )	aceleración centrífuga ecuatorial (m s <sup>-2</sup> )
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,  $R_p$  y  $M_p$  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 <sup>-4</sup> 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:  $7,91 \cdot 10^{15} \text{ T m}^3$ .

### Descubrimiento de planetas

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

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

## Fórmulas

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

Anomalía media:  $M = L - \varpi$

Anomalía verdadera:  $v \simeq M + 2e \sin M + 1,25 e^2 \sin (2M)$

Longitud verdadera:  $L_v = v + \varpi$

Distancia al Sol :

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

Velocidad de traslación:

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

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

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

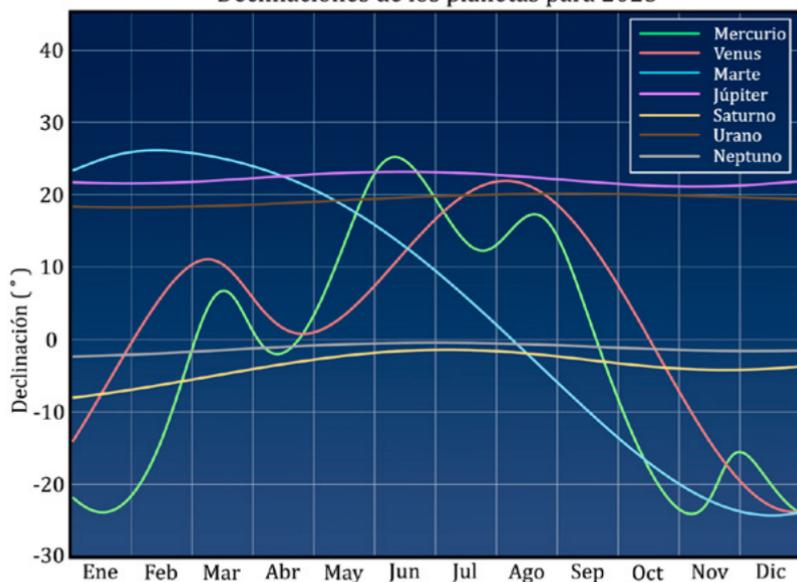
Planeta	Longitud media $L$	Longitud del perihelio $\varpi$
Mercurio	177°;35 + 4°09234 $d$	77°;497
Venus	50°;23 + 1°60213 $d$	131°;565
Tierra + Luna	99°;57 + 0°98561 $d$	103°;020
Marte	100°;12 + 0°52403 $d$	336°;173
Júpiter	73°;02 + 0°08309 $d$	14°;386
Saturno	355°;58 + 0°03346 $d$	93°;201
Urano	61°;16 + 0°01173 $d$	173°;028
Neptuno	358°;97 + 0°00598 $d$	48°;131

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)

Declinaciones de los planetas para 2025



## 5.2. Efemérides planetarias para el año

En las páginas siguientes figuran las efemérides de los planetas distribuidas en dos tablas y una figura. En esta 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 (ascensión recta y declinación) 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 solo 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 solo 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. Solo se da para Mercurio, Venus y Marte, pues para el resto de los planetas la fase es siempre  $\geq 0,99$ .

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

## Orientación

$L_p$  es la longitud planetográfica del meridiano central del planeta, siendo este aquel 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.

La salida, culminación y ocaso de los planetas 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 ua = 149 597 870 700 m

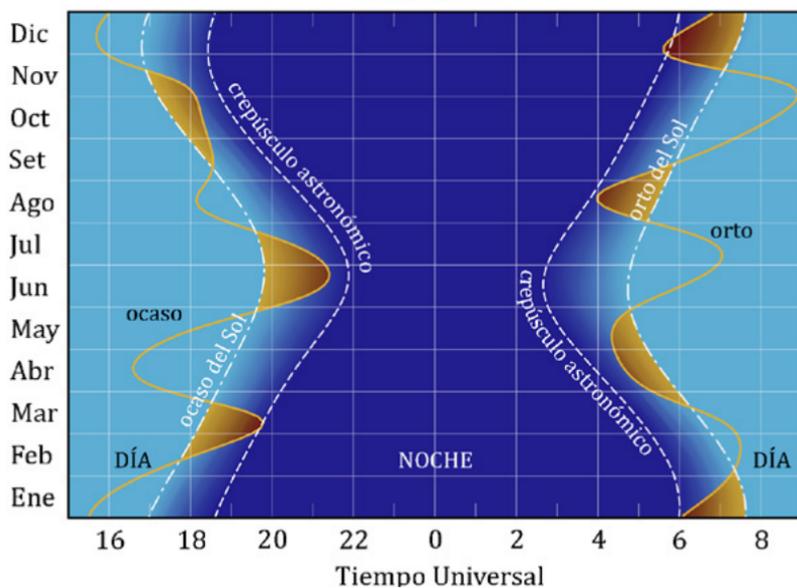
### MERCURIO 2025

Mes	día	en Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua			
		Orto		Culm.		Ocaso		Asc.recta				Declinación		
		h	m	h	m	h	m	h	m	s	°	'	"	
Ene.	1	6	5	10	48	15	31	17	16	17	-21	56	29	1,1481
	11	6	32	11	9	15	45	18	16	5	-23	36	39	1,2891
	21	6	58	11	35	16	13	19	21	49	-23	24	51	1,3753
	31	7	16	12	5	16	53	20	30	15	-20	58	46	1,4109
Feb.	10	7	27	12	35	17	43	21	39	41	-16	8	34	1,3906
	20	7	31	13	4	18	39	22	48	44	-8	57	49	1,2935
Mar.	2	7	24	13	27	19	31	23	51	33	-0	25	44	1,0890
	12	6	59	13	22	19	45	0	28	9	+5	57	1	0,8172
	22	6	11	12	32	18	52	0	19	18	+5	52	19	0,6287
Abr.	1	5	22	11	27	17	30	23	52	49	+0	58	56	0,6068
	11	4	52	10	48	16	44	23	51	45	-1	50	56	0,7006
	21	4	35	10	35	16	37	0	18	2	-0	41	11	0,8397
May.	1	4	25	10	40	16	56	1	1	35	+3	26	59	0,9925
	11	4	21	10	58	17	36	1	58	8	+9	32	50	1,1456
	21	4	27	11	30	18	36	3	9	9	+16	36	35	1,2748
	31	4	50	12	19	19	50	4	36	35	+22	46	9	1,3204
Jun.	10	5	32	13	12	20	52	6	9	16	+25	18	9	1,2347
	20	6	19	13	51	21	22	7	28	10	+23	46	59	1,0729
	30	6	53	14	8	21	22	8	25	53	+19	58	49	0,9010
Jul.	10	7	4	14	1	20	58	9	0	19	+15	43	8	0,7463
	20	6	41	13	27	20	13	9	7	16	+12	46	0	0,6292
	30	5	40	12	26	19	12	8	46	14	+12	49	51	0,5887
Ago.	9	4	29	11	25	18	23	8	23	50	+15	29	59	0,6767
	19	3	59	11	4	18	9	8	39	32	+17	23	25	0,8953
	29	4	26	11	24	18	21	9	37	23	+15	24	35	1,1573
Set.	8	5	23	11	58	18	32	10	50	49	+9	16	42	1,3334
	18	6	19	12	27	18	33	11	59	16	+1	28	29	1,3961
	28	7	7	12	48	18	29	13	0	40	-6	12	13	1,3831
Oct.	8	7	49	13	6	18	22	13	57	48	-13	2	1	1,3181
	18	8	25	13	21	18	16	14	52	19	-18	37	27	1,2079
	28	8	51	13	31	18	11	15	42	14	-22	32	17	1,0510
Nov.	7	8	49	13	23	17	57	16	15	50	-24	0	16	0,8536
	17	7	42	12	27	17	13	16	1	57	-21	17	26	0,6889
	27	6	0	11	6	16	12	15	18	22	-15	56	3	0,7541
Dic.	7	5	38	10	42	15	46	15	31	13	-16	34	41	0,9898
	17	6	2	10	52	15	42	16	20	4	-20	9	3	1,1959
	27	6	36	11	14	15	52	17	21	15	-23	7	42	1,3327

## MERCURIO 2025

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	fase defilu. "	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$ °	
Ene 1	9,55	5,86	-0,4	2,9	56,9	0,773	1,33	153,9	-4,7	10,3
Ene 21	11,44	4,89	-0,5	2,6	27,3	0,944	0,27	247,7	-4,8	355,5
Feb 10	11,57	4,84	-1,6	1,6	5,0	0,998	0,01	337,1	-5,0	340,6
Mar 2	9,06	6,18	-1,0	2,4	63,6	0,722	1,72	63,7	-5,9	332,1
Mar 22	5,23	10,70	4,5	5,2	163,4	0,021	10,48	177,3	-8,1	331,4
Abr 11	5,83	9,60	0,9	4,2	117,8	0,267	7,04	309,9	-4,6	332,2
May 1	8,25	6,78	0,1	3,4	79,1	0,594	2,75	54,7	-1,0	331,6
May 21	10,60	5,28	-1,2	2,0	34,0	0,914	0,45	143,6	1,1	337,3
Jun 10	10,27	5,45	-1,1	2,1	42,7	0,868	0,72	223,6	2,9	355,8
Jun 30	7,49	7,47	0,3	3,6	92,2	0,481	3,88	314,6	6,0	11,9
Jul 20	5,23	10,69	2,0	4,7	136,6	0,137	9,23	65,8	10,6	16,5
Ago 9	5,63	9,94	2,4	4,6	144,5	0,093	9,02	199,7	10,5	11,8
Ago 29	9,62	5,81	-1,1	2,2	54,5	0,790	1,22	305,1	5,8	19,2
Set 18	11,61	4,82	-1,4	1,8	10,4	0,992	0,04	30,2	4,0	28,0
Oct 8	10,96	5,10	-0,3	2,8	38,9	0,889	0,57	120,1	3,0	27,0
Oct 28	8,74	6,40	-0,1	3,2	70,5	0,667	2,13	216,3	1,6	19,9
Nov 17	5,73	9,77	3,3	4,6	155,2	0,046	9,31	335,2	-1,1	18,1
Dic 7	8,23	6,80	-0,4	3,0	78,9	0,596	2,75	106,4	-3,1	20,9
Dic 27	11,08	5,05	-0,5	2,6	32,7	0,921	0,40	202,5	-3,8	9,8

## MERCURIO



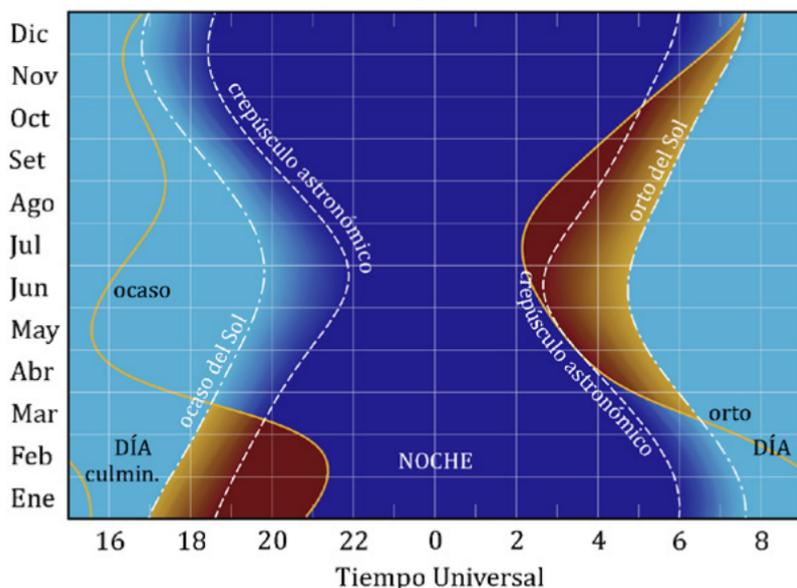
## VENUS 2025

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	10 16	15 33	20 50	22 1 34	-13 35 10	0,7508	
	11	9 59	15 32	21 5	22 40 10	-9 3 12	0,6768	
	21	9 38	15 27	21 16	23 14 47	-4 20 23	0,6028	
	31	9 13	15 17	21 22	23 44 49	+0 18 44	0,5298	
Feb.	10	8 42	15 1	21 21	0 8 56	+4 37 28	0,4591	
	20	8 6	14 37	21 8	0 24 42	+8 13 43	0,3935	
Mar.	2	7 22	14 1	20 40	0 28 53	+10 36 29	0,3373	
	12	6 31	13 11	19 51	0 19 2	+11 2 37	0,2969	
	22	5 39	12 11	18 43	23 58 33	+9 5 15	0,2807	
Abr.	1	4 53	11 13	17 33	23 39 24	+5 39 7	0,2933	
	11	4 17	10 28	16 38	23 32 28	+2 35 34	0,3319	
	21	3 51	9 56	16 2	23 39 59	+1 2 2	0,3890	
May.	1	3 30	9 36	15 43	23 58 49	+1 4 4	0,4574	
	11	3 13	9 23	15 35	0 25 16	+2 21 54	0,5322	
	21	2 57	9 16	15 35	0 56 47	+4 34 9	0,6107	
	31	2 43	9 12	15 40	1 31 52	+7 21 5	0,6907	
Jun.	10	2 31	9 10	15 50	2 9 44	+10 25 15	0,7710	
	20	2 21	9 11	16 2	2 50 7	+13 31 36	0,8507	
	30	2 13	9 15	16 17	3 32 53	+16 25 49	0,9289	
Jul.	10	2 9	9 20	16 32	4 17 57	+18 54 32	1,0051	
	20	2 9	9 28	16 48	5 5 11	+20 45 45	1,0788	
	30	2 14	9 38	17 1	5 54 12	+21 48 59	1,1494	
Ago.	9	2 25	9 49	17 12	6 44 20	+21 56 39	1,2167	
	19	2 39	10 0	17 20	7 34 53	+21 4 56	1,2803	
	29	2 58	10 10	17 23	8 25 6	+19 14 12	1,3399	
Set.	8	3 19	10 20	17 21	9 14 22	+16 29 0	1,3953	
	18	3 41	10 29	17 16	10 2 28	+12 56 54	1,4464	
	28	4 3	10 36	17 9	10 49 24	+8 47 38	1,4928	
Oct.	8	4 26	10 43	16 59	11 35 28	+4 12 21	1,5347	
	18	4 49	10 49	16 49	12 21 10	-0 37 31	1,5721	
	28	5 12	10 56	16 39	13 7 6	-5 29 51	1,6047	
Nov.	7	5 36	11 3	16 30	13 53 53	-10 12 3	1,6328	
	17	6 0	11 12	16 23	14 42 5	-14 31 16	1,6564	
	27	6 25	11 23	16 20	15 32 9	-18 14 9	1,6756	
Dic.	7	6 49	11 35	16 22	16 24 10	-21 7 35	1,6905	
	17	7 11	11 50	16 29	17 17 55	-23 0 6	1,7014	
	27	7 29	12 5	16 41	18 12 44	-23 43 12	1,7081	

## VENUS 2025

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	fase defilu. "	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$ °	
Ene 1	6,24	22,23	-4,4	1,4	83,7	0,555	9,90	191,8	0,8	340,9
Ene 21	5,01	27,69	-4,6	1,4	95,7	0,450	15,22	241,6	-1,4	337,9
Feb 10	3,82	36,35	-4,8	1,4	111,9	0,313	24,96	287,1	-4,5	337,1
Mar 2	2,81	49,48	-4,8	1,3	136,6	0,137	42,70	323,7	-8,0	337,0
Mar 22	2,33	59,46	-3,8	-0,1	168,0	0,011	58,81	345,8	-9,6	336,9
Abr 11	2,76	50,28	-4,7	1,2	140,8	0,112	44,63	6,8	-6,1	337,4
May 1	3,80	36,49	-4,7	1,5	115,0	0,289	25,94	41,9	-2,2	337,2
May 21	5,08	27,33	-4,5	1,5	97,9	0,431	15,54	86,3	0,2	337,6
Jun 10	6,41	21,64	-4,3	1,4	85,2	0,542	9,91	134,8	1,3	340,3
Jun 30	7,73	17,97	-4,2	1,4	74,6	0,633	6,60	185,6	1,5	345,7
Jul 20	8,97	15,47	-4,0	1,3	65,2	0,710	4,48	237,5	1,2	353,7
Ago 9	10,12	13,72	-4,0	1,2	56,3	0,777	3,06	290,2	0,7	3,2
Ago 29	11,14	12,46	-3,9	1,1	47,9	0,835	2,05	343,5	0,1	12,4
Set 18	12,03	11,54	-3,9	1,0	39,7	0,884	1,33	37,3	-0,3	19,2
Oct 8	12,76	10,87	-3,9	0,9	31,9	0,925	0,82	91,5	-0,4	22,5
Oct 28	13,35	10,40	-3,9	0,9	24,3	0,956	0,46	146,0	-0,3	22,1
Nov 17	13,78	10,08	-3,9	0,8	17,0	0,978	0,22	200,7	0,1	17,9
Dic 7	14,06	9,87	-3,9	0,8	10,1	0,992	0,08	255,4	0,5	10,0
Dic 27	14,21	9,77	-3,9	0,8	3,5	0,999	0,01	310,2	0,9	359,8

## VENUS



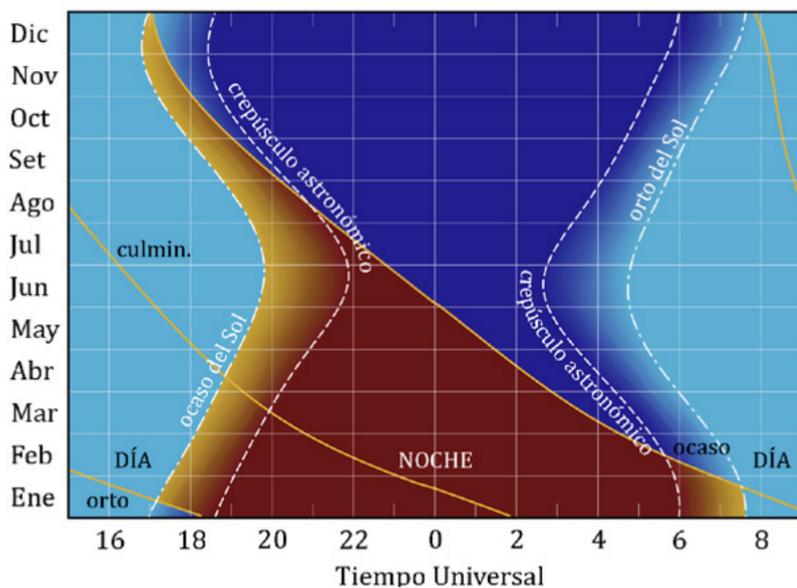
## MARTE 2025

Mes	día	en Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						
		Orto		Culm.		Ocaso	Asc.recta			Declinación			Distancia ua	
		h	m	h	m	h	m	s	°	'	"			
Ene.	1	18	17	1	51	9	20	8	20	30	+23	32	42	0,6567
	11	17	17	0	57	8	30	8	5	7	+24	37	34	0,6426
	21	16	17	*0	0	7	38	7	48	5	+25	30	48	0,6502
	31	15	20	23	1	6	46	7	32	41	+26	3	14	0,6797
Feb.	10	14	29	22	11	5	57	7	21	42	+26	13	55	0,7288
	20	13	46	21	27	5	12	7	16	22	+26	7	26	0,7936
Mar.	2	13	8	20	48	4	31	7	16	40	+25	48	49	0,8703
	12	12	37	20	14	3	55	7	21	58	+25	20	52	0,9552
	22	12	10	19	45	3	23	7	31	19	+24	44	42	1,0455
Abr.	1	11	46	19	18	2	52	7	43	50	+24	0	4	1,1389
	11	11	26	18	54	2	24	7	58	51	+23	6	12	1,2337
	21	11	8	18	31	1	57	8	15	41	+22	2	29	1,3282
May.	1	10	52	18	10	1	31	8	33	55	+20	48	21	1,4217
	11	10	38	17	50	1	5	8	53	10	+19	23	29	1,5130
	21	10	25	17	31	0	39	9	13	8	+17	48	5	1,6016
	31	10	13	17	12	0	13	9	33	38	+16	2	20	1,6868
Jun.	10	10	2	16	54	23	45	9	54	32	+14	6	47	1,7681
	20	9	51	16	35	23	19	10	15	42	+12	2	15	1,8453
	30	9	41	16	17	22	53	10	37	9	+9	49	29	1,9180
Jul.	10	9	32	16	0	22	27	10	58	49	+7	29	32	1,9860
	20	9	23	15	42	22	1	11	20	43	+5	3	36	2,0491
	30	9	14	15	25	21	35	11	42	55	+2	32	44	2,1072
Ago.	9	9	6	15	8	21	10	12	5	27	-0	1	36	2,1601
	19	8	58	14	52	20	45	12	28	24	-2	37	57	2,2080
	29	8	52	14	36	20	20	12	51	52	-5	14	53	2,2508
Set.	8	8	45	14	21	19	56	13	15	56	-7	50	31	2,2884
	18	8	39	14	6	19	32	13	40	41	-10	22	59	2,3211
	28	8	34	13	52	19	10	14	6	16	-12	50	13	2,3489
Oct.	8	8	30	13	39	18	48	14	32	44	-15	9	49	2,3718
	18	8	26	13	27	18	28	15	0	11	-17	19	20	2,3904
	28	8	23	13	16	18	10	15	28	41	-19	16	6	2,4045
Nov.	7	8	20	13	7	17	53	15	58	14	-20	57	15	2,4146
	17	8	17	12	58	17	39	16	28	49	-22	20	3	2,4209
	27	8	13	12	50	17	27	17	0	21	-23	21	49	2,4237
Dic.	7	8	9	12	43	17	17	17	32	40	-24	0	9	2,4232
	17	8	3	12	36	17	10	18	5	34	-24	13	15	2,4201
	27	7	56	12	30	17	5	18	38	50	-23	59	55	2,4144

## MARTE 2025

Fecha	$\tau$ <i>min</i>	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	fase defilu. "	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$ °	
Ene 1	5,46	14,26	-1,2	4,3	12,9	0,987	0,18	87,8	12,8	352,2
Ene 21	5,41	14,41	-1,4	4,2	4,9	0,998	0,03	272,7	9,6	347,5
Feb 10	6,06	12,85	-0,8	4,4	19,3	0,972	0,36	96,0	7,4	343,8
Mar 2	7,24	10,76	-0,3	4,6	29,2	0,937	0,68	274,8	7,4	343,1
Mar 22	8,70	8,96	0,2	4,6	34,5	0,912	0,79	89,4	9,4	345,0
Abr 11	10,26	7,59	0,6	4,6	36,8	0,901	0,75	261,0	12,4	348,9
May 1	11,82	6,59	0,9	4,6	37,0	0,899	0,67	70,5	15,9	354,1
May 21	13,32	5,85	1,2	4,6	36,1	0,904	0,56	238,4	19,4	0,3
Jun 10	14,71	5,30	1,4	4,6	34,3	0,913	0,46	45,1	22,5	7,0
Jun 30	15,95	4,88	1,5	4,6	32,0	0,924	0,37	210,6	24,8	14,0
Jul 20	17,04	4,57	1,6	4,5	29,3	0,936	0,29	15,2	26,1	21,0
Ago 9	17,97	4,34	1,6	4,5	26,3	0,948	0,22	179,1	26,2	27,4
Ago 29	18,72	4,16	1,6	4,4	23,2	0,960	0,17	342,8	24,8	32,9
Set 18	19,30	4,04	1,6	4,3	19,8	0,970	0,12	146,5	22,1	36,8
Oct 8	19,73	3,95	1,5	4,2	16,4	0,980	0,08	310,5	18,0	38,6
Oct 28	20,00	3,90	1,5	4,1	12,9	0,987	0,05	114,8	12,9	38,0
Nov 17	20,13	3,87	1,4	4,0	9,4	0,993	0,03	279,3	6,9	34,9
Dic 7	20,15	3,87	1,3	3,9	5,8	0,997	0,01	83,8	0,4	29,4
Dic 27	20,08	3,88	1,1	3,8	2,4	1,000	0,00	248,0	-6,3	22,0

## MARTE

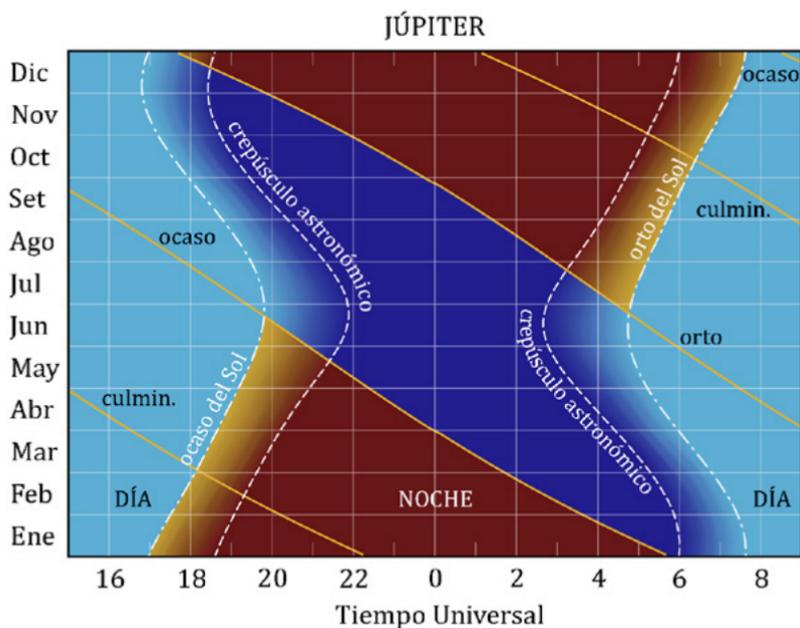


## JÚPITER 2025

Mes	día	en Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						
		Orto		Culm.		Ocaso		Asc.recta			Declinación		Distancia ua	
		h	m	h	m	h	m	h	m	s	°	'		"
Ene.	1	14	53	22	15	5	41	4	47	31	+21	47	14	4,1907
	11	14	10	21	31	4	57	4	43	30	+21	42	8	4,2814
	21	13	28	20	49	4	15	4	40	43	+21	39	7	4,3955
	31	12	48	20	9	3	34	4	39	20	+21	38	39	4,5286
Feb.	10	12	8	19	30	2	55	4	39	24	+21	40	56	4,6758
	20	11	30	18	52	2	17	4	40	53	+21	45	51	4,8323
Mar.	2	10	53	18	16	1	42	4	43	44	+21	53	6	4,9934
	12	10	17	17	40	1	7	4	47	49	+22	2	13	5,1548
	22	9	43	17	6	0	34	4	53	1	+22	12	36	5,3126
Abr.	1	9	9	16	33	0	1	4	59	13	+22	23	42	5,4636
	11	8	36	16	1	23	27	5	6	17	+22	34	51	5,6046
	21	8	3	15	30	22	56	5	14	5	+22	45	31	5,7333
May.	1	7	32	14	59	22	26	5	22	29	+22	55	13	5,8477
	11	7	1	14	28	21	56	5	31	24	+23	3	28	5,9458
	21	6	30	13	58	21	26	5	40	42	+23	9	56	6,0266
	31	6	0	13	28	20	57	5	50	19	+23	14	20	6,0889
Jun.	10	5	30	12	59	20	27	6	0	7	+23	16	29	6,1318
	20	5	1	12	29	19	58	6	10	2	+23	16	17	6,1551
	30	4	32	12	0	19	28	6	19	58	+23	13	40	6,1585
Jul.	10	4	3	11	30	18	58	6	29	50	+23	8	43	6,1419
	20	3	33	11	1	18	28	6	39	33	+23	1	36	6,1057
	30	3	4	10	31	17	58	6	49	2	+22	52	29	6,0503
Ago.	9	2	35	10	1	17	27	6	58	11	+22	41	43	5,9766
	19	2	5	9	30	16	55	7	6	54	+22	29	38	5,8855
	29	1	35	8	59	16	23	7	15	5	+22	16	44	5,7784
Set.	8	1	4	8	27	15	50	7	22	39	+22	3	31	5,6570
	18	0	32	7	54	15	17	7	29	28	+21	50	34	5,5234
	28	23	56	7	21	14	42	7	35	26	+21	38	32	5,3800
Oct.	8	23	23	6	47	14	7	7	40	25	+21	28	6	5,2297
	18	22	48	6	11	13	31	7	44	18	+21	19	53	5,0758
	28	22	11	5	34	12	54	7	46	58	+21	14	30	4,9220
Nov.	7	21	33	4	56	12	16	7	48	19	+21	12	27	4,7729
	17	20	54	4	17	11	37	7	48	18	+21	13	59	4,6329
	27	20	12	3	36	10	56	7	46	52	+21	19	11	4,5069
Dic.	7	19	30	2	54	10	15	7	44	6	+21	27	42	4,3998
	17	18	45	2	11	9	32	7	40	8	+21	38	55	4,3160
	27	18	0	1	27	8	49	7	35	12	+21	51	56	4,2597

## JÚPITER 2025

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	def.filu. "	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	34,85	47,04	-2,7	5,3	5,1	0,09	155,3	3,2	353,1
Ene 21	36,56	44,85	-2,6	5,3	8,5	0,24	286,6	3,1	352,4
Feb 10	38,89	42,16	-2,4	5,3	10,5	0,35	56,2	3,1	352,2
Mar 2	41,53	39,48	-2,3	5,3	11,2	0,38	184,4	3,0	352,7
Mar 22	44,18	37,11	-2,2	5,3	10,7	0,33	311,3	2,9	353,7
Abr 11	46,61	35,18	-2,1	5,3	9,4	0,23	77,5	2,8	355,1
May 1	48,63	33,71	-2,0	5,3	7,3	0,14	203,2	2,7	356,8
May 21	50,12	32,71	-1,9	5,3	4,8	0,06	328,9	2,7	358,8
Jun 10	51,00	32,15	-1,9	5,3	2,1	0,01	94,6	2,5	0,8
Jun 30	51,22	32,01	-1,9	5,3	0,8	0,00	220,7	2,4	3,0
Jul 20	50,78	32,29	-1,9	5,3	3,6	0,03	347,1	2,3	5,1
Ago 9	49,71	32,99	-1,9	5,3	6,2	0,10	114,2	2,2	7,0
Ago 29	48,06	34,12	-2,0	5,3	8,4	0,18	242,0	2,0	8,8
Set 18	45,94	35,69	-2,1	5,4	10,1	0,28	10,7	1,9	10,2
Oct 8	43,49	37,70	-2,2	5,4	11,0	0,35	140,3	1,8	11,3
Oct 28	40,94	40,05	-2,3	5,4	10,9	0,36	271,1	1,7	11,9
Nov 17	38,53	42,55	-2,4	5,4	9,5	0,29	43,0	1,6	12,1
Dic 7	36,59	44,81	-2,6	5,3	6,8	0,16	175,9	1,6	11,7
Dic 27	35,43	46,28	-2,7	5,3	3,1	0,03	309,4	1,6	10,8

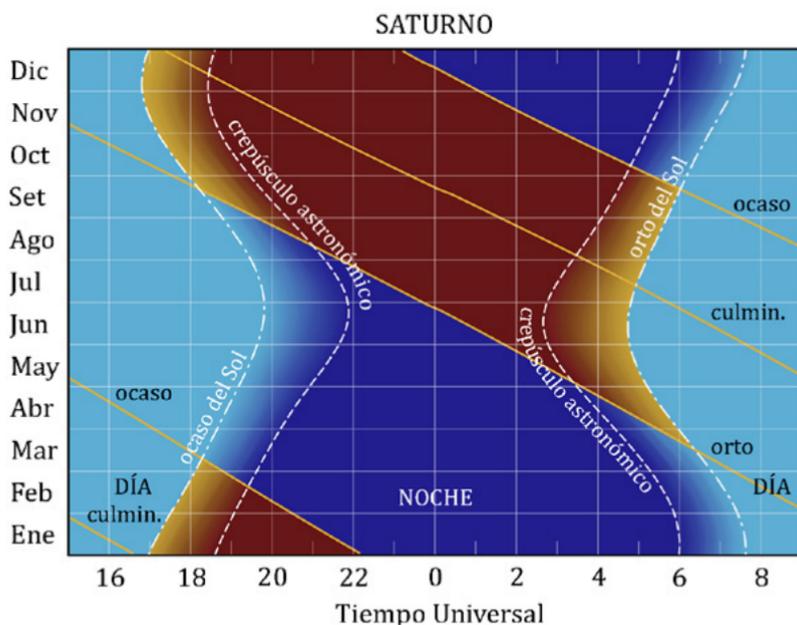


## SATURNO 2025

Mes	día	en Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						
		Orto		Culm.		Ocaso		Asc.recta			Declinación			Distancia ua
		h	m	h	m	h	m	h	m	s	°	'	"	
Ene.	1	11	0	16	35	22	10	23	6	3	-7	55	0	10,0253
	11	10	22	15	58	21	35	23	9	5	-7	34	47	10,1672
	21	9	45	15	23	21	0	23	12	32	-7	12	0	10,2934
	31	9	8	14	47	20	26	23	16	21	-6	47	3	10,4009
Feb.	10	8	31	14	12	19	52	23	20	27	-6	20	24	10,4871
	20	7	55	13	37	19	19	23	24	46	-5	52	32	10,5501
Mar.	2	7	18	13	2	18	46	23	29	15	-5	23	53	10,5888
	12	6	42	12	27	18	13	23	33	48	-4	54	56	10,6021
	22	6	5	11	52	17	40	23	38	21	-4	26	9	10,5903
Abr.	1	5	29	11	18	17	6	23	42	50	-3	57	58	10,5535
	11	4	52	10	43	16	33	23	47	12	-3	30	51	10,4926
	21	4	16	10	7	15	59	23	51	22	-3	5	13	10,4093
May.	1	3	39	9	32	15	25	23	55	17	-2	41	29	10,3053
	11	3	2	8	56	14	50	23	58	52	-2	20	6	10,1828
	21	2	25	8	20	14	15	0	2	6	-2	1	24	10,0448
	31	1	47	7	43	13	40	0	4	53	-1	45	45	9,8942
Jun.	10	1	10	7	6	13	3	0	7	10	-1	33	31	9,7346
	20	0	32	6	29	12	26	0	8	56	-1	24	54	9,5698
	30	23	49	5	51	11	48	0	10	6	-1	20	9	9,4037
Jul.	10	23	10	5	12	11	9	0	10	41	-1	19	24	9,2409
	20	22	31	4	33	10	30	0	10	38	-1	22	38	9,0857
	30	21	52	3	53	9	49	0	9	59	-1	29	44	8,9426
Ago.	9	21	12	3	12	9	8	0	8	45	-1	40	25	8,8161
	19	20	31	2	31	8	26	0	6	59	-1	54	15	8,7101
	29	19	51	1	49	7	44	0	4	46	-2	10	36	8,6283
Set.	8	19	10	1	8	7	1	0	2	12	-2	28	41	8,5738
	18	18	29	0	25	6	18	23	59	26	-2	47	34	8,5485
	28	17	48	23	39	5	35	23	56	36	-3	6	18	8,5536
Oct.	8	17	7	22	57	4	52	23	53	51	-3	23	52	8,5890
	18	16	26	22	15	4	9	23	51	21	-3	39	19	8,6535
	28	15	45	21	34	3	27	23	49	12	-3	51	53	8,7450
Nov.	7	15	5	20	53	2	45	23	47	33	-4	0	53	8,8600
	17	14	25	20	13	2	5	23	46	28	-4	5	53	8,9946
	27	13	45	19	33	1	25	23	46	0	-4	6	36	9,1443
Dic.	7	13	6	18	54	0	46	23	46	12	-4	2	59	9,3041
	17	12	27	18	15	0	8	23	47	3	-3	55	7	9,4690
	27	11	48	17	38	23	27	23	48	33	-3	43	10	9,6341

## SATURNO 2025

Fecha	$\tau$ min	$D_{ecu}$ "	V	BS	a.fase °	def.ilu. "	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$ °
Ene 1	83,38	16,58	1,0	6,9	5,3	0,03	321,0	5,2	5,2
Ene 21	85,61	16,15	1,1	6,8	4,2	0,02	334,1	4,2	5,1
Feb 10	87,22	15,85	1,1	6,8	2,7	0,01	347,2	2,9	5,0
Mar 2	88,06	15,70	1,1	6,8	1,0	0,00	0,5	1,5	4,8
Mar 22	88,08	15,69	1,1	6,8	0,9	0,00	14,2	0,1	4,7
Abr 11	87,26	15,84	1,1	6,8	2,6	0,01	28,4	-1,2	4,5
May 1	85,71	16,13	1,1	6,8	4,1	0,02	43,2	-2,4	4,3
May 21	83,54	16,55	1,0	6,9	5,3	0,04	58,6	-3,4	4,2
Jun 10	80,96	17,07	1,0	6,9	6,0	0,05	74,8	-4,1	4,1
Jun 30	78,21	17,67	0,9	6,9	6,1	0,05	91,5	-4,4	4,0
Jul 20	75,56	18,29	0,8	6,9	5,5	0,04	108,7	-4,4	4,0
Ago 9	73,32	18,85	0,7	6,8	4,3	0,03	126,3	-4,0	4,0
Ago 29	71,76	19,26	0,6	6,8	2,5	0,01	144,0	-3,3	4,1
Set 18	71,10	19,44	0,6	6,7	0,4	0,00	161,5	-2,4	4,2
Oct 8	71,43	19,35	0,7	6,8	1,8	0,01	178,6	-1,5	4,3
Oct 28	72,73	19,00	0,8	6,8	3,8	0,02	194,8	-0,8	4,5
Nov 17	74,81	18,48	0,9	6,8	5,1	0,04	210,2	-0,5	4,5
Dic 7	77,38	17,86	1,0	6,9	5,8	0,05	224,7	-0,5	4,5
Dic 27	80,12	17,25	1,0	6,9	5,8	0,04	238,5	-1,0	4,5

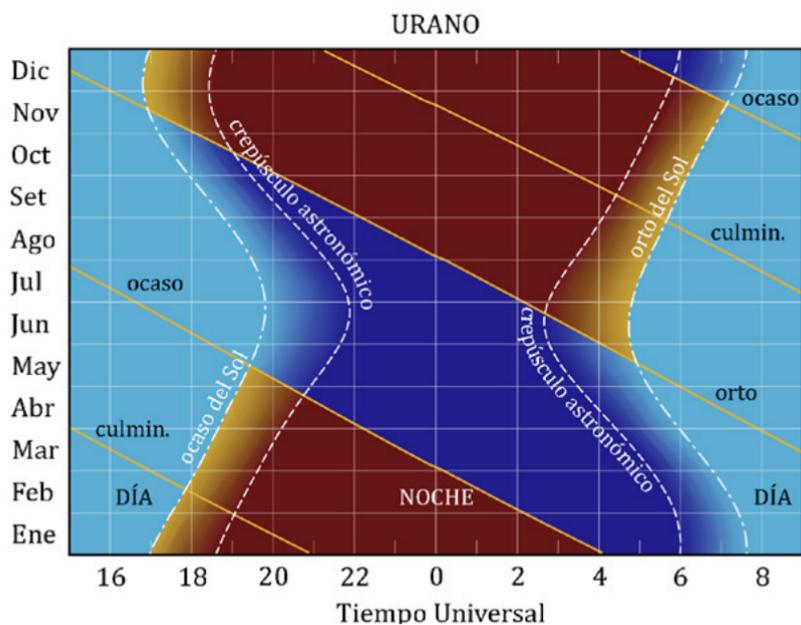


## URANO 2025

Mes	día	en Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU			Distancia ua			
		Orto		Culm.		Ocaso		Asc.recta				Declinación		
		h	m	h	m	h	m	h	m	s	°	'	"	
Ene.	1	13	45	20	53	4	5	3	25	16	+18	26	11	18,8717
	11	13	5	20	13	3	25	3	24	25	+18	23	17	19,0068
	21	12	25	19	33	2	45	3	23	54	+18	21	35	19,1583
	31	11	46	18	53	2	5	3	23	44	+18	21	11	19,3213
Feb.	10	11	7	18	14	1	26	3	23	55	+18	22	6	19,4904
	20	10	28	17	36	0	48	3	24	28	+18	24	19	19,6605
Mar.	2	9	49	16	57	0	9	3	25	21	+18	27	48	19,8265
	12	9	11	16	19	23	28	3	26	34	+18	32	24	19,9835
	22	8	32	15	41	22	50	3	28	4	+18	38	0	20,1272
Abr.	1	7	54	15	4	22	13	3	29	49	+18	44	27	20,2539
	11	7	17	14	26	21	36	3	31	48	+18	51	35	20,3602
	21	6	39	13	49	21	0	3	33	57	+18	59	12	20,4436
May.	1	6	1	13	12	20	23	3	36	13	+19	7	8	20,5021
	11	5	24	12	35	19	47	3	38	35	+19	15	13	20,5345
	21	4	46	11	58	19	10	3	40	59	+19	23	17	20,5402
	31	4	9	11	21	18	34	3	43	23	+19	31	9	20,5191
Jun.	10	3	31	10	44	17	57	3	45	43	+19	38	43	20,4718
	20	2	54	10	7	17	21	3	47	57	+19	45	49	20,3996
	30	2	16	9	30	16	44	3	50	2	+19	52	21	20,3041
Jul.	10	1	38	8	53	16	7	3	51	57	+19	58	12	20,1877
	20	1	0	8	15	15	30	3	53	37	+20	3	17	20,0533
	30	0	22	7	37	14	52	3	55	3	+20	7	31	19,9040
Ago.	9	23	40	6	59	14	14	3	56	10	+20	10	49	19,7438
	19	23	1	6	20	13	36	3	56	58	+20	13	10	19,5766
	29	22	22	5	41	12	57	3	57	26	+20	14	30	19,4069
Set.	8	21	43	5	2	12	18	3	57	33	+20	14	49	19,2395
	18	21	3	4	23	11	38	3	57	19	+20	14	7	19,0791
	28	20	24	3	43	10	58	3	56	44	+20	12	25	18,9306
Oct.	8	19	44	3	3	10	18	3	55	50	+20	9	46	18,7986
	18	19	3	2	22	9	37	3	54	39	+20	6	17	18,6873
	28	18	23	1	41	8	56	3	53	14	+20	2	4	18,6007
Nov.	7	17	42	1	0	8	15	3	51	38	+19	57	17	18,5417
	17	17	2	0	19	7	33	3	49	56	+19	52	8	18,5125
	27	16	21	23	34	6	52	3	48	12	+19	46	50	18,5143
Dic.	7	15	40	22	53	6	10	3	46	30	+19	41	38	18,5471
	17	15	0	22	12	5	29	3	44	56	+19	36	45	18,6098
	27	14	19	21	32	4	48	3	43	33	+19	32	26	18,7005

## URANO 2025

Fecha	$\tau$ <i>min</i>	$D_{ecu}$ "	V	a.fase °	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$
Ene 1	156,95	3,73	5,7	2,1	316,3	65,6	273,3
Ene 21	159,33	3,68	5,7	2,7	258,4	65,3	273,0
Feb 10	162,10	3,62	5,7	2,9	200,7	65,3	273,0
Mar 2	164,89	3,55	5,8	2,8	143,2	65,6	273,4
Mar 22	167,39	3,50	5,8	2,3	86,0	66,2	274,0
Abr 11	169,33	3,46	5,8	1,6	29,3	67,1	275,0
May 1	170,51	3,44	5,8	0,8	333,0	68,1	276,2
May 21	170,83	3,43	5,8	0,1	277,1	69,1	277,5
Jun 10	170,26	3,44	5,8	1,1	221,7	70,1	279,0
Jun 30	168,86	3,47	5,8	1,9	166,5	71,1	280,4
Jul 20	166,78	3,51	5,8	2,5	111,4	71,8	281,7
Ago 9	164,20	3,57	5,8	2,9	56,3	72,4	282,7
Ago 29	161,40	3,63	5,7	3,0	0,9	72,6	283,1
Set 18	158,68	3,69	5,7	2,7	305,0	72,6	283,1
Oct 8	156,34	3,75	5,7	2,1	248,6	72,3	282,5
Oct 28	154,70	3,79	5,6	1,3	191,5	71,7	281,6
Nov 17	153,96	3,81	5,6	0,2	134,1	71,0	280,4
Dic 7	154,25	3,80	5,6	0,8	76,3	70,3	279,3
Dic 27	155,53	3,77	5,6	1,8	18,3	69,7	278,3



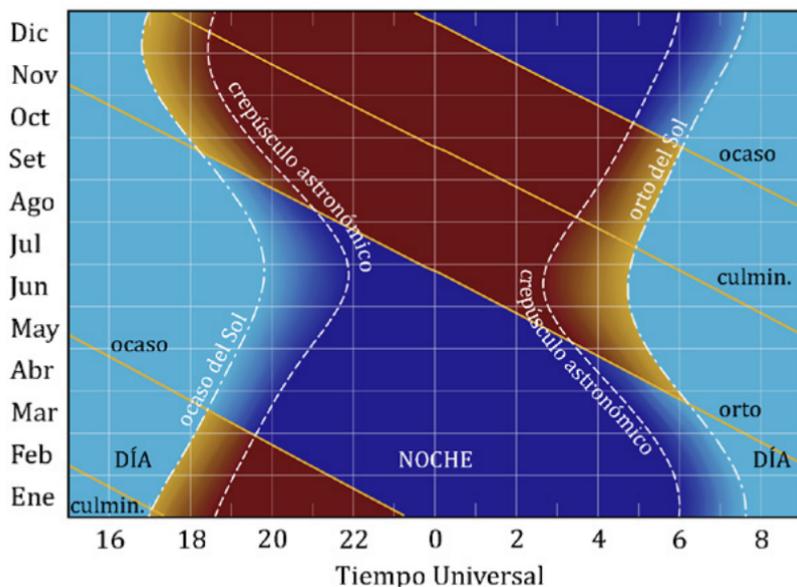
## NEPTUNO 2025

Mes	día	en Madrid (TU)						a 0 <sup>h</sup> de TU						
		Orto		Culm.		Ocaso		Asc.recta			Declinación		Distancia ua	
		h	m	h	m	h	m	h	m	s	°	'		"
Ene.	1	11	26	17	20	23	15	23	52	7	-2	15	13	30,1088
	11	10	47	16	42	22	36	23	52	43	-2	10	59	30,2731
	21	10	8	16	3	21	58	23	53	30	-2	5	33	30,4256
	31	9	30	15	25	21	20	23	54	27	-1	59	4	30,5619
Feb.	10	8	51	14	47	20	42	23	55	33	-1	51	41	30,6778
	20	8	12	14	9	20	5	23	56	46	-1	43	37	30,7705
Mar.	2	7	34	13	31	19	27	23	58	4	-1	35	2	30,8373
	12	6	55	12	53	18	50	23	59	26	-1	26	8	30,8766
	22	6	17	12	15	18	12	0	0	49	-1	17	9	30,8877
Abr.	1	5	39	11	37	17	35	0	2	13	-1	8	15	30,8703
	11	5	0	10	59	16	57	0	3	34	-0	59	39	30,8251
	21	4	22	10	21	16	20	0	4	51	-0	51	33	30,7538
May.	1	3	43	9	43	15	42	0	6	3	-0	44	7	30,6582
	11	3	4	9	4	15	4	0	7	7	-0	37	31	30,5411
	21	2	26	8	26	14	26	0	8	4	-0	31	53	30,4057
	31	1	47	7	47	13	48	0	8	50	-0	27	20	30,2558
Jun.	10	1	8	7	9	13	9	0	9	26	-0	23	59	30,0953
	20	0	29	6	30	12	30	0	9	51	-0	21	52	29,9288
	30	23	46	5	51	11	51	0	10	3	-0	21	3	29,7606
Jul.	10	23	7	5	11	11	12	0	10	4	-0	21	32	29,5957
	20	22	27	4	32	10	32	0	9	53	-0	23	17	29,4385
	30	21	48	3	52	9	53	0	9	31	-0	26	13	29,2935
Ago.	9	21	8	3	12	9	12	0	8	58	-0	30	15	29,1653
	19	20	28	2	32	8	32	0	8	16	-0	35	13	29,0574
	29	19	48	1	52	7	52	0	7	26	-0	40	57	28,9735
Set.	8	19	9	1	12	7	11	0	6	31	-0	47	14	28,9162
	18	18	29	0	32	6	30	0	5	31	-0	53	50	28,8874
	28	17	49	23	47	5	50	0	4	30	-1	0	30	28,8883
Oct.	8	17	9	23	7	5	9	0	3	31	-1	6	59	28,9193
	18	16	29	22	27	4	28	0	2	34	-1	13	1	28,9793
	28	15	49	21	46	3	48	0	1	43	-1	18	22	29,0668
Nov.	7	15	9	21	6	3	8	0	0	59	-1	22	49	29,1792
	17	14	29	20	27	2	28	0	0	25	-1	26	11	29,3130
	27	13	50	19	47	1	48	0	0	2	-1	28	19	29,4641
Dic.	7	13	10	19	7	1	8	23	59	51	-1	29	7	29,6277
	17	12	31	18	28	0	29	23	59	52	-1	28	33	29,7988
	27	11	52	17	49	23	46	0	0	6	-1	26	35	29,9721

## NEPTUNO 2025

Fecha	$\tau$ <i>min</i>	$D_{ecu}$ "	V	a.fase °	$L_p$ °	$B_p$ °	$P_{PN}$
Ene 1	250,41	2,27	7,8	1,8	265,7	-21,6	318,2
Ene 21	253,04	2,24	7,8	1,6	190,6	-21,4	318,1
Feb 10	255,14	2,23	7,8	1,1	115,5	-21,3	317,9
Mar 2	256,47	2,21	7,8	0,6	40,5	-21,1	317,6
Mar 22	256,88	2,21	7,8	0,1	325,9	-20,8	317,3
Abr 11	256,36	2,22	7,8	0,7	251,6	-20,5	317,1
May 1	254,98	2,23	7,8	1,2	177,7	-20,3	316,8
May 21	252,88	2,25	7,8	1,7	104,2	-20,1	316,6
Jun 10	250,30	2,27	7,8	1,9	31,1	-20,0	316,5
Jun 30	247,51	2,29	7,7	1,9	318,2	-19,9	316,5
Jul 20	244,83	2,32	7,7	1,8	245,5	-19,9	316,5
Ago 9	242,56	2,34	7,7	1,4	172,9	-20,0	316,6
Ago 29	240,97	2,36	7,7	0,8	100,2	-20,1	316,7
Set 18	240,25	2,36	7,7	0,2	27,2	-20,3	316,9
Oct 8	240,51	2,36	7,7	0,5	313,9	-20,5	317,1
Oct 28	241,74	2,35	7,7	1,1	240,2	-20,6	317,3
Nov 17	243,79	2,33	7,7	1,6	166,1	-20,8	317,4
Dic 7	246,41	2,30	7,7	1,8	91,5	-20,8	317,5
Dic 27	249,27	2,28	7,8	1,9	16,6	-20,8	317,4

## NEPTUNO



## 5.3. Ortos, ocasos y pasos de los planetas por el meridiano

### Cálculo del orto y ocaso 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 2º 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. Puede ocurrir que, hechas tales correcciones, el fenómeno tenga lugar el día anterior o posterior.

Son aplicables aquí el procedimiento y comentarios realizados en el caso de la Luna (ver el apartado *Cálculo del orto y ocaso de la Luna* en la página 221). Para un lugar de longitud  $\lambda_E$  (positiva al este de Greenwich) es:

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

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

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.

Para conocer el tiempo oficial TO, habrá que añadir una tercera corrección, que depende de la época del año:

$$+1^h \text{ o } +2^h \text{ en la península y Baleares}$$

$$0^h \text{ o } +1^h \text{ en Canarias}$$

La corrección en latitud depende de la diferencia de latitudes y de la declinación de los planetas (indicada en la tabla). Puede encontrarse, para varios paralelos y cada 3º en declinación en la tabla siguiente. El paralelo 28º corresponde a las Canarias.

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

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

### Paso de los planetas por el meridiano

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

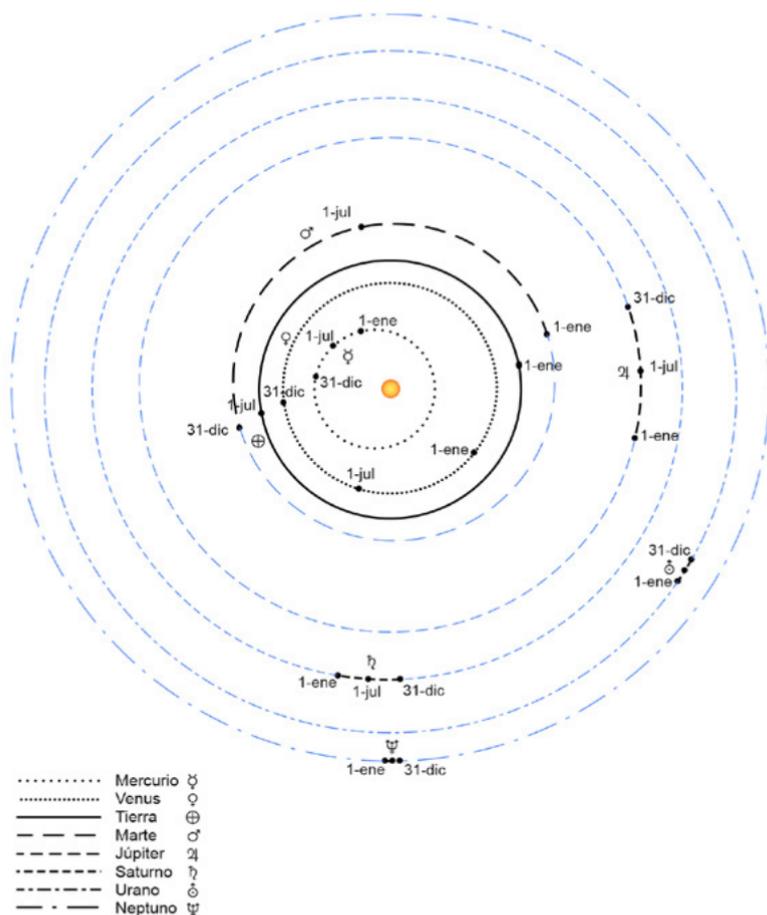
$$\text{paso meridiano} = \text{paso meridiano Madrid} - 15^m - \lambda_E$$

Al valor obtenido habrá que añadirle la corrección para obtener el tiempo oficial TO.

## 5.4. Situación y apariencia de los planetas

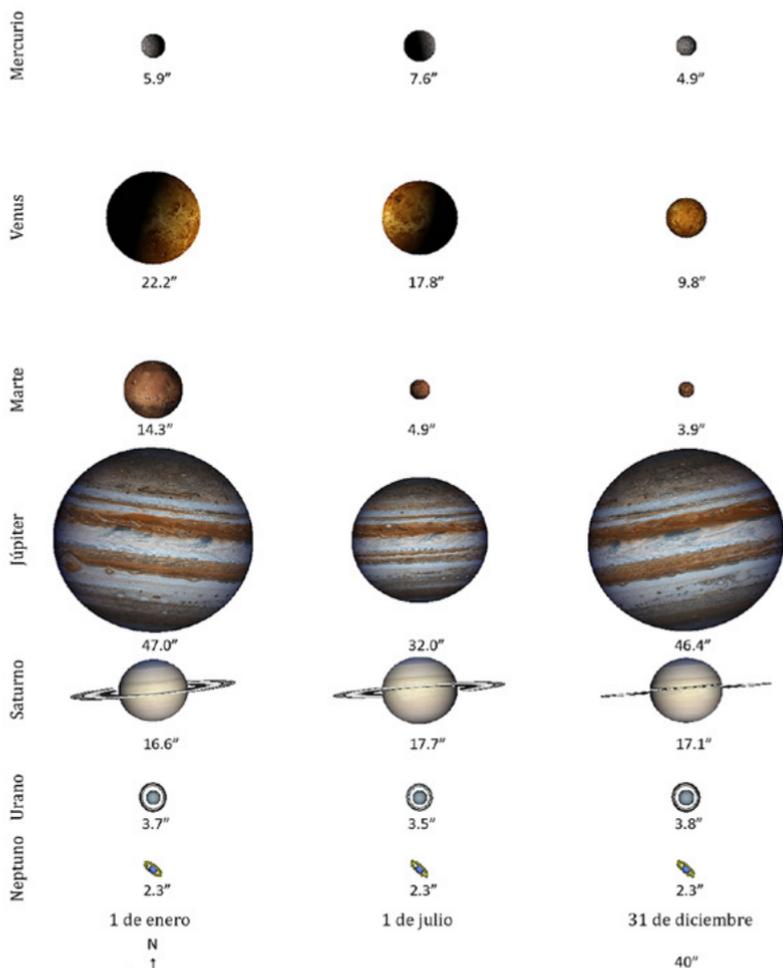
### Posición heliocéntrica de los planetas

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



## Orientaciones y tamaños de los planetas

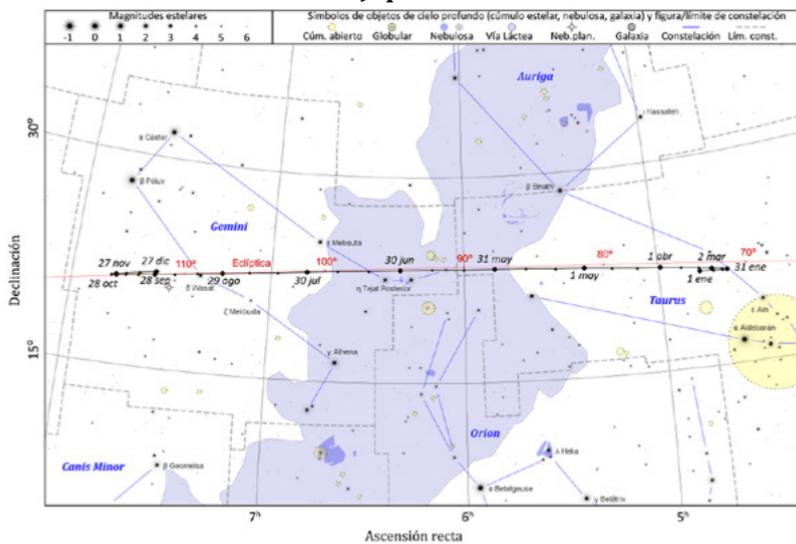
Aspecto aparente de los planetas los días 1 de enero, 1 de julio y 31 de diciembre, a las cero horas de Tiempo Universal. Las figuras están dibujadas a escala y orientadas con el Norte hacia arriba y el Este a la izquierda. Los valores que aparecen debajo de cada figura corresponden a los diámetros ecuatoriales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



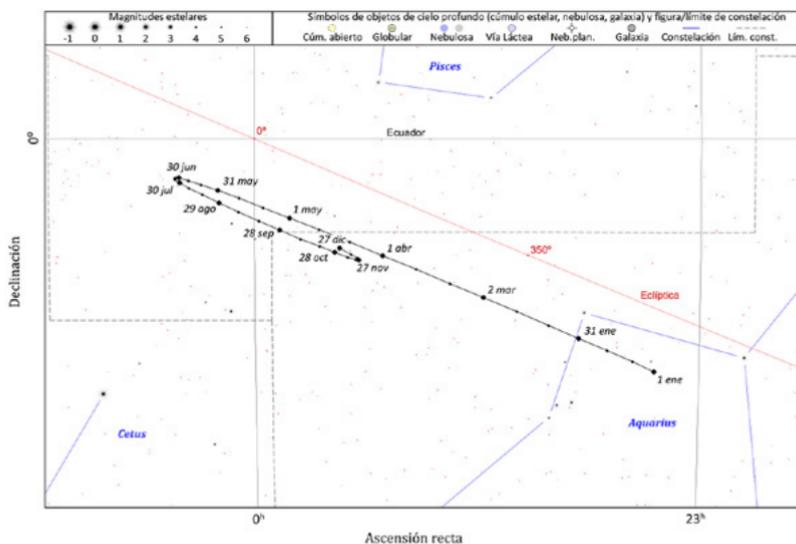
## Trayectorias de los planetas a lo largo del año

Para Júpiter y Saturno los puntos en las trayectorias tienen una separación de 10 días y las fechas se muestran cada 30 días.

### Júpiter

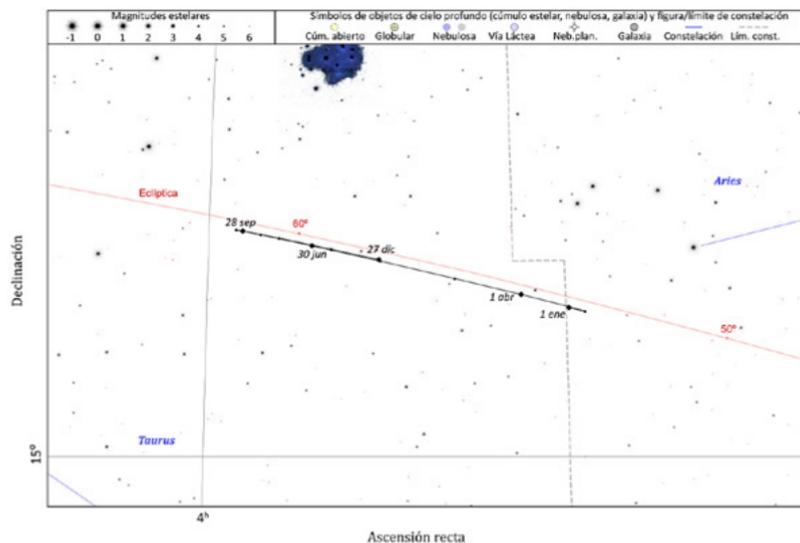


### Saturno

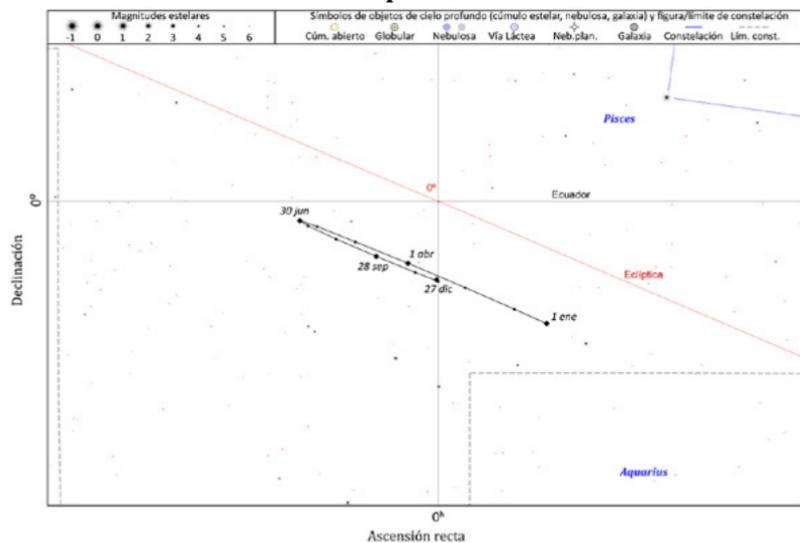


En el caso de Urano y Neptuno la separación en los puntos de la trayectoria es de 30 días con fechas cada 90 días.

### Urano



### Neptuno



## 5.5. Satélites naturales

Los satélites naturales, también conocidos como lunas, son cuerpos celestes que orbitan alrededor de planetas, planetas enanos y asteroides.

Todos los planetas del sistema solar, excepto Mercurio y Venus, tienen satélites naturales. En la actualidad se conocen 288, la mayor parte orbitando alrededor de los dos planetas gigantes gaseosos, Júpiter y Saturno.

Planeta	Número de satélites
Mercurio	0
Venus	0
Tierra	1
Marte	2
Júpiter	95
Saturno	146
Urano	28
Neptuno	16

Los satélites generalmente son cuerpos sólidos con distintas formas y tamaños, los más grandes del sistema solar, con más de 2500 kilómetros de diámetro son: los cuatro satélites galileanos de Júpiter (Ganimedes, Calisto, Io y Europa), el satélite Titán de Saturno, la Luna de la Tierra y el satélite Tritón de Neptuno.

El siguiente grupo de satélites naturales, con diámetros entre 1000 y 1600 kilómetros, estaría formado por las lunas de Saturno: Tetis, Dione, Rea y Jápeto y por las de Urano: Ariel, Umbriel, Titania y Oberón. En esa franja de diámetros estaría también Caronte, el satélite más grande del planeta enano Plutón.

### 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 solo 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 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 estos 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. Este 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.

En la siguiente figura se muestran a escala los primeros satélites de los planetas del sistema solar. Se incluye el planeta Tierra a modo de comparación de tamaños.



## Elementos orbitales y datos físicos de los satélites

Debido al elevado ritmo de descubrimiento de nuevos satélites hemos considerado oportuno reducir las tablas publicadas en el ANUARIO a partir de la edición de 2023. La edición de 2022 contenía las tablas con los 205 satélites descubiertos hasta ese año, en las siguientes ediciones el número se reduce a 67. Si se necesita disponer de los elementos orbitales y datos físicos de todos los satélites, se puede recurrir a la página de la NASA: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html>.

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. 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 periodos 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 utiliza el acrónimo SJFM para el equipo formado por S. Sheppard, D. Jewitt, Y. Fernandez y G. Magnier. 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 indica la masa cuando es inferior a  $10^{15}$  kg. 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 Júpeter 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.

## 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	5,16	
Marte:						
I	Fobos	9,377	2,76	0,015	1,1	25"
II	Deimos	23,463	6,91	0,000	1,8	1' 03"
Júpiter:						
I	Io	421,8	5,90	0,004	0,0	2' 19"
II	Europa	671,1	9,39	0,009	0,5	3' 41"
III	Ganimedes	1070,4	14,97	0,001	0,2	5' 52"
IV	Calisto	1882,7	26,33	0,007	0,3	10' 19"
V	Amaltea	181,4	2,54	0,003	0,4	1' 00"
VI	Himalia	11440	160,00	0,160	28,1	1° 02' 39"
VII	Elara	11712	163,80	0,211	27,94	1° 04' 10"
VIII	Pasífae	23468	328,22	0,412	148,4	2° 09' 07"
IX	Sinope	23684	331,24	0,264	157,3	2° 10' 50"
X	Lisitea	11701	163,65	0,117	27,2	1° 04' 10"
XI	Carme	23144	323,69	0,256	164,6	2° 07' 52"
XII	Ananké	21035	294,20	0,237	147,6	1° 56' 09"
XIII	Leda	11146	155,89	0,162	28,6	1° 01' 02"
XIV	Tebe	221,9	3,10	0,018	1,1	1' 13"
XV	Adrastea	129	1,80	0,000	0,0	42"
XVI	Metis	128	1,79	0,000	0,0	42"
XVII	Calíroo	23796	332,81	0,297	145,1	2° 11' 41"
XVIII	Temisto	7399	103,48	0,340	43,8	41' 01"
Saturno:						
I	Mimas	186,0	3,09	0,020	1,6	30"
II	Encélado	238,4	3,96	0,005	0,0	38"
III	Tetis	295,0	4,90	0,001	1,1	48"
IV	Dione	377,7	6,27	0,002	0,0	1' 01"
V	Rea	527,2	8,75	0,001	0,3	1' 25"
VI	Titán	1221,9	20,28	0,3	0,306	3' 17"
VII	Hiperión	1481,5	24,59	0,105	0,6	4' 02"
VIII	Jápeto	3561,7	59,13	0,028	7,6	9' 35"
IX	Febe	12929,4	214,63	0,164	175,2	34' 51"
X	Jano	151,5	2,51	0,007	0,2	24"
XI	Epimeteo	151,4	2,51	0,020	0,3	24"
XII	Helena	377,6	6,27	0,007	0,2	1' 01"

## Elementos orbitales

planeta	satélite	semieje mayor ( $10^3$ km)	(en $R_p$ )	excentricidad	inclinación (°)	máxima elongac.
XIII	Telesto	295,0	4,90	0,001	1,2	48"
XIV	Calipso	295,0	4,90	0,001	1,5	48"
XV	Atlas	137,7	2,29	0,001	0,0	22"
XVI	Prometeo	139,4	2,31	0,002	0,0	23"
XVII	Pandora	141,7	2,35	0,004	0,0	23"
XVIII	Pan	133,6	2,22	0,000	0,0	22"
Urano:						
I	Ariel	190,9	7,47	0,001	0,0	14"
II	Umbriel	266	10,41	0,004	0,1	20"
III	Titania	436,3	17,07	0,001	0,1	33"
IV	Oberón	583,5	22,83	0,001	0,1	44"
V	Miranda	129,9	5,08	0,001	4,4	10"
VI	Cordelia	49,8	1,95	0,000	0,2	4"
VII	Ofelia	53,8	2,10	0,011	0,1	4"
VIII	Bianca	59,2	2,32	0,001	0,1	4"
IX	Cresida	61,8	2,42	0,000	0,1	5"
X	Desdémona	62,7	2,45	0,000	0,1	5"
XI	Julieta	64,4	2,52	0,001	0,0	5"
XII	Porcia	66,1	2,59	0,000	0,0	5"
XIII	Rosalinda	69,9	2,73	0,000	0,0	5"
XIV	Belinda	75,3	2,95	0,000	0,0	6"
XV	Puck	86	3,36	0,000	0,3	6"
XVI	Calibán	7167	280,40	0,200	141,4	9' 06"
XVII	Sícorax	12193,2	477,04	0,520	157,0	15' 20"
XVIII	Próspero	16221	634,62	0,441	149,4	20' 30"
XIX	Setebos	17519,8	685,44	0,579	153,9	21' 56"
XX	Esteban	7951,4	311,09	0,235	143,6	10' 05"
Neptuno:						
I	Tritón	354,8	14,33	0,000	157,3	17"
II	Nereida	5504,0	222,29	0,749	5,8	4' 20"
III	Náyade	48,2	1,95	0,000	4,7	2"
IV	Talasa	50,1	2,02	0,000	0,2	2"
V	Despina	52,5	2,12	0,000	0,0	2"
VI	Galatea	62,0	2,50	0,000	0,0	3"
VII	Larisa	73,5	2,97	0,001	0,2	3"
VIII	Proteo	117,6	4,75	0,000	0,0	6"

### Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
<b>Tierra:</b>				
	Luna	27,321582	sincr.	
<b>Marte:</b>				
I	Fobos	0,319033	sincr.	1877 A.Hall
II	Deimos	1,262361	sincr.	1877 A.Hall
<b>Júpiter:</b>				
I	Io	1,762732	sincr.	1610 Galileo
II	Europa	3,525463	sincr.	1610 Galileo
III	Ganimedes	7,155588	sincr.	1610 Galileo
IV	Calisto	16,690440	sincr.	1610 Galileo
V	Amaltea	0,499918	sincr.	1892 E.Barnard
VI	Himalia	250,562210	0,4	1904 C.Perrine
VII	Elara	259,639884	0,5	1905 C.Perrine
VIII	Pasífae	R 743,612321		1908 P.Melotte
IX	Sinope	R 758,849903		1914 S.Nicholson
X	Lisitea	259,198081		1938 S.Nicholson
XI	Carme	R 734,185280		1938 S.Nicholson
XII	Ananké	R 629,791691		1951 S.Nicholson
XIII	Leda	240,926609		1974 C.Kowal
XIV	Tebe	0,676105	sincr.	1979 Voyager 1
XV	Adrastea	0,298260		1979 Voyager 1
XVI	Metis	0,294779		1979 Voyager 1
XVII	Calíroo	R 758,860222		1999 Spacewatch, MPC
XVIII	Temisto	130,028096		1975/2000 SJFM
<b>Saturno:</b>				
I	Mimas	0,942422	sincr.	1789 W.Herschel
II	Encélado	1,370218	sincr.	1789 W.Herschel
III	Tetis	1,887802	sincr.	1684 G.Cassini
IV	Dione	2,736916	sincr.	1684 G.Cassini
V	Rea	4,517503	sincr.	1672 G.Cassini
VI	Titán	15,945448	sincr.	1655 C.Huygens
VII	Hiperión	21,276658		1848 Bond et al
VIII	Jápeto	79,331002	sincr.	1671 G.Cassini
IX	Febe	R 550,303910	0,4	1898 W.Pickering
X	Jano	0,697353	sincr.	1966 A.Dollfus
XI	Epimeteo	0,697012	sincr.	1978 Fountain et al
XII	Helena	2,736916		1980 Laques et al

## Periodos y descubrimiento

planeta	satélite	periodo orbital (d)	periodo de rotación (d)	descubrimiento
XIII	Telesto	1,887802		1980 Smith et al
XIV	Calipso	1,887803		1980 Pascu et al
XV	Atlas	0,604602		1980 Voyager 1
XVI	Prometeo	0,615878		1980 Voyager 1
XVII	Pandora	0,631369		1980 Voyager 1
XVIII	Pan	0,575051		1990 M.Showalter
Urano:				
I	Ariel	2,520680	sincr.	1851 W.Lassell
II	Umbriel	4,144548	sincr.	1851 W.Lassell
III	Titania	8,706444	sincr.	1787 W.Herschel
IV	Oberón	13,463606	sincr.	1787 W.Herschel
V	Miranda	1,413784	sincr.	1948 G.Kuiper
VI	Cordelia	0,334569		1986 Voyager 2
VII	Ofelia	0,376855		1986 Voyager 2
VIII	Bianca	0,435007		1986 Voyager 2
IX	Cresida	0,463154		1986 Voyager 2
X	Desdémona	0,473228		1986 Voyager 2
XI	Julieta	0,493479		1986 Voyager 2
XII	Porcia	0,513196		1986 Voyager 2
XIII	Rosalinda	0,558459		1986 Voyager 2
XIV	Belinda	0,623527		1986 Voyager 2
XV	Puck	0,761447		1985 Voyager 2
XVI	Calibán	R 579,759509		1997 Gladman et al
XVII	Sícorax	R 1288,404787		1997 Gladman et al
XVIII	Próspero	R 1979,406729		1999 Holman et al
XIX	Setebos	R 2224,938324		1999 Kavelaars et al
XX	Esteban	R 677,557462		1999 Gladman et al
Neptuno:				
I	Tritón	R 5,876994	sincr.	1846 W.Lassell
II	Nereida	360,140332		1949 G.Kuiper
III	Náyade	0,293980		1989 Voyager 2
IV	Talasa	0,311078		1989 Voyager 2
V	Despina	0,334656		1989 Voyager 2
VI	Galatea	0,428744		1989 Voyager 2
VII	Larisa	0,554989		1989 Voyager 2
VIII	Proteo	1,122315		1989 Voyager 2

### Datos físicos y fotométricos

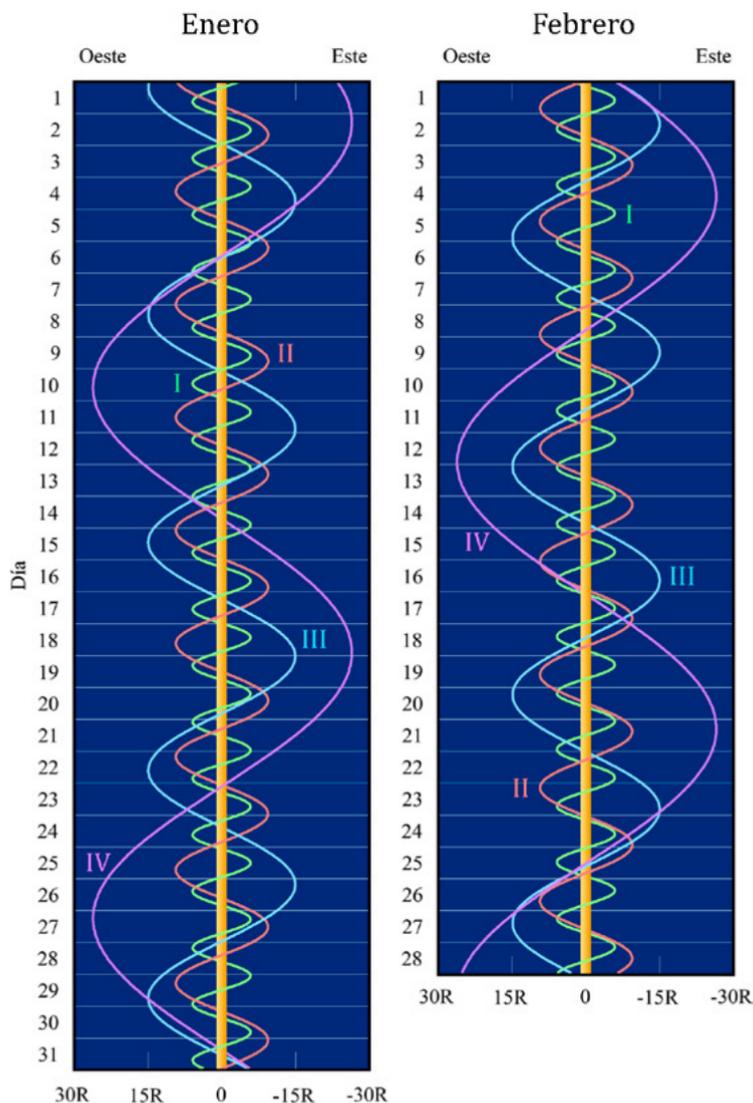
planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
Tierra:						
	Luna	3475	735	3,344	-12,74	0,12
Marte:						
I	Fobos	26×22×19	$1,1 \cdot 10^{-4}$	1,90	11,8	0,06
II	Deimos	16×12×10	$1,8 \cdot 10^{-5}$	1,76	12,89	0,06
Júpiter:						
I	Io	3643	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	0,025	0,849	14,1	0,09
VI	Himalia	~170	0,023	0,883	14,2 R	0,04
VII	Elara	~80	0,009	2,6	16,0 R	0,03
VIII	Pasífae	~36	0,003	2,6	16,8 R	0,10
IX	Sinope	~28	0,001	2,6	18,2 R	0,05
X	Lisitea	~24	0,001	2,6	18,1 R	0,04
XI	Carme	~30	0,001	2,6	18,1 R	0,06
XII	Ananké	~20	$3 \cdot 10^{-4}$	2,6	19,1 R	0,06
XIII	Leda	~10	$10^{-4}$	2,6	19,2 R	0,04
XIV	Tebe	99	0,005	3,0	16,0	0,05
XV	Adrastea	16,4	$2 \cdot 10^{-5}$	3,0	18,7	~0,1
XVI	Metis	43	$3 \cdot 10^{-4}$	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
Saturno:						
I	Mimas	398	0,375	1,152	12,8	0,60
II	Encélado	505	1,080	1,606	11,8	1,04
III	Tetis	1073	6,176	0,956	10,2	0,80
IV	Dione	1125	10,957	1,469	10,4	0,6
V	Rea	1529	23,09	1,233	9,6	0,6
VI	Titán	5151	1345,53	1,880	8,4	0,2
VII	Hiperión	266	0,108	0,569	14,4	0,3
VIII	Jápeto	1469	18,059	1,088	11	0,6
IX	Febe	213	0,083	1,633	16,4	0,08
X	Jano	204×186×152	0,020	0,650	14,4	0,5
XI	Epimeteo	130×114×106	0,006	0,630	15,6	0,5
XII	Helena	32	0,003	1,5	18,4	0,6

## Datos físicos y fotométricos

planeta	satélite	diámetro (km)	masa ( $10^{20}$ kg)	densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	magn. oposic.	albedo geom.
XIII	Telesto	32×24×20	$7 \cdot 10^{-5}$	1,0	18,5	1,0
XIV	Calipso	31×19×13	$4 \cdot 10^{-5}$	1,0	18,7	0,7
XV	Atlas	41×36×19	$7 \cdot 10^{-5}$	0,460	19,0	0,5
XVI	Prometeo	136×83×56	0,001	0,270	15,8	0,5
XVII	Pandora	104×82×63	0,001	0,420	16,4	0,5
XVIII	Pan	34×31×21	$5 \cdot 10^{-5}$	0,420	19,4	0,5
Urano:						
I	Ariel	1162×1156×1155	13,53	1,670	13,70	0,34
II	Umbriel	1169	11,72	1,400	14,47	0,18
III	Titania	1578	35,27	1,710	13,49	0,27
IV	Oberón	1523	30,14	1,630	13,70	0,24
V	Miranda	480×468×466	0,659	1,200	15,79	0,27
VI	Cordelia	26	$4 \cdot 10^{-4}$	1,3	23,62	0,07
VII	Ofelia	32	$5 \cdot 10^{-4}$	1,3	23,26	0,07
VIII	Bianca	44	$9 \cdot 10^{-4}$	1,3	22,52	0,07
IX	Cresida	66	0,003	1,3	21,58	0,07
X	Desdémona	59	0,002	1,3	21,99	0,07
XI	Julieta	84	0,006	1,3	21,12	0,07
XII	Porcia	110	0,017	1,3	20,42	0,07
XIII	Rosalinda	58	0,003	1,3	21,79	0,07
XIV	Belinda	68	0,004	1,3	21,47	0,07
XV	Puck	154	0,029	1,3	19,75	0,07
XVI	Calibán	~60	0,003	1,5	22,4 R	0,04
XVII	Sícorax	~120	0,027	1,5	20,8 R	0,04
XVIII	Próspero	<100	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
Neptuno:						
I	Tritón	2705	214,029	2,065	13,54	0,70
II	Nereida	340	0,309	1,5	19,2 R	0,20
III	Náyade	58	0,001	1,251	23,91	0,06
IV	Talasa	80	0,003	1,318	23,32	0,06
V	Despina	148	0,017	1,030	22,00	0,06
VI	Galatea	158	0,028	1,378	21,85	0,06
VII	Larisa	192	0,038	1,030	21,49	0,06
VIII	Proteo	416	0,387	1,030	19,75	0,06

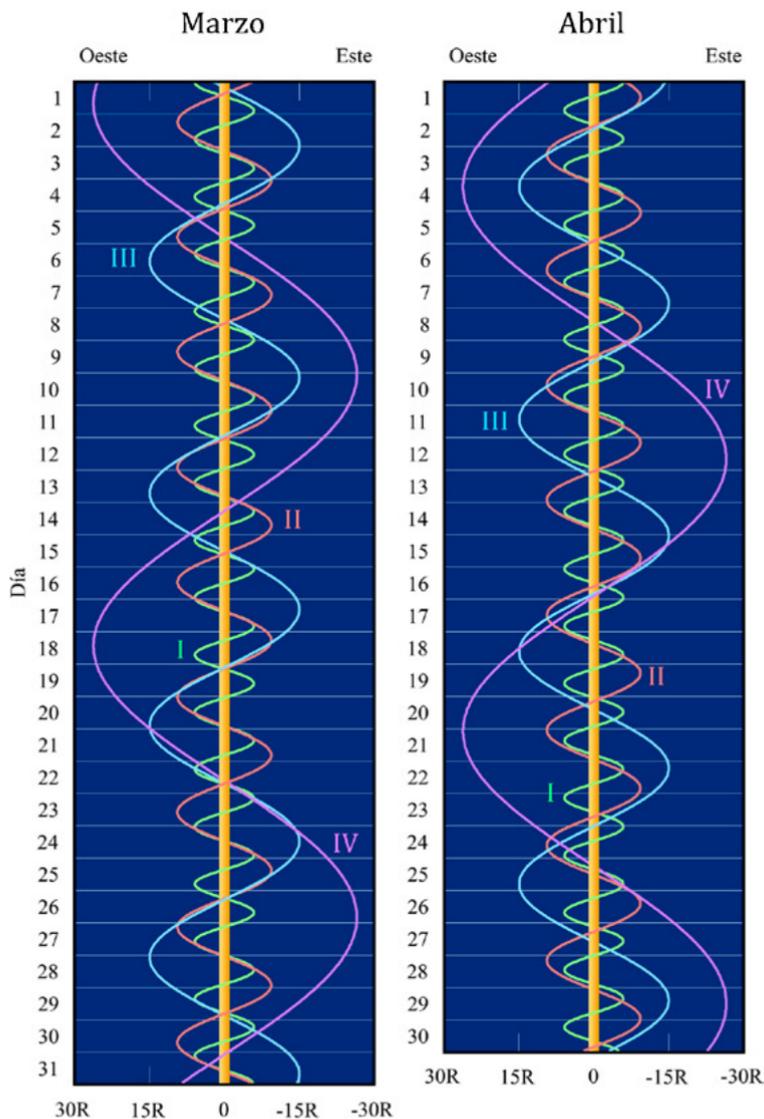
## Posiciones relativas de los satélites galileanos de Júpiter

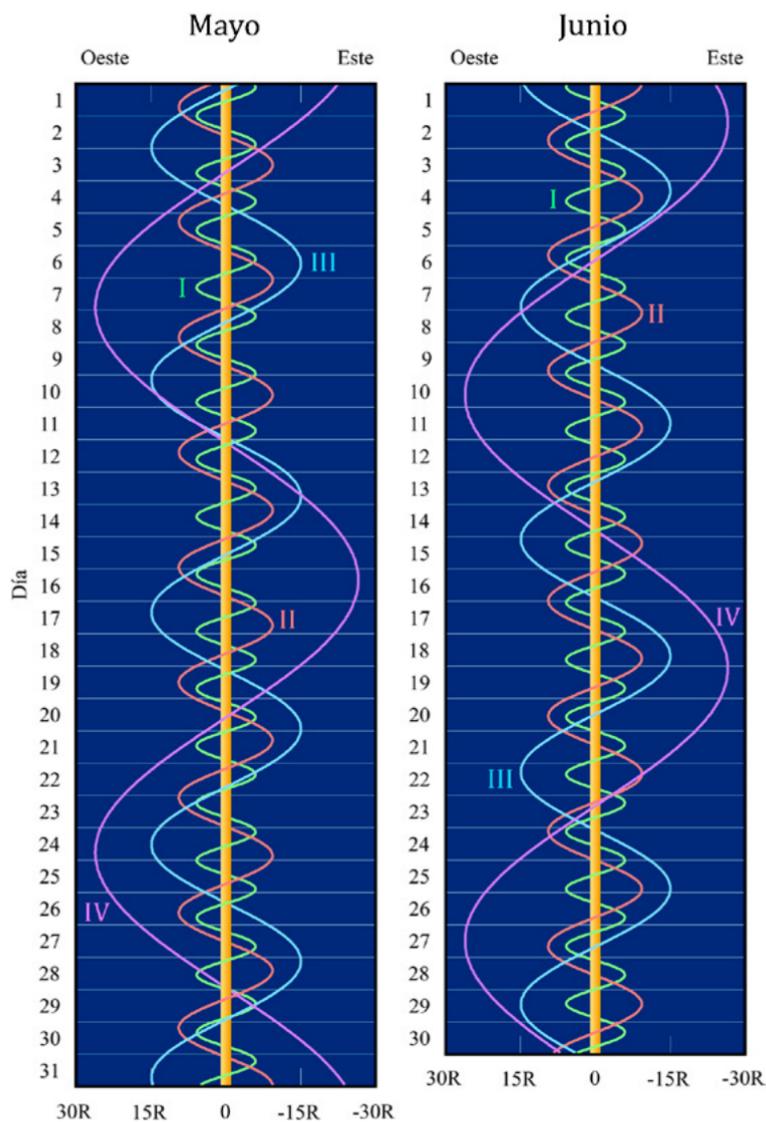
De menor a mayor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Io (I), Europa (II), Ganímedes (III) y Calisto (IV).

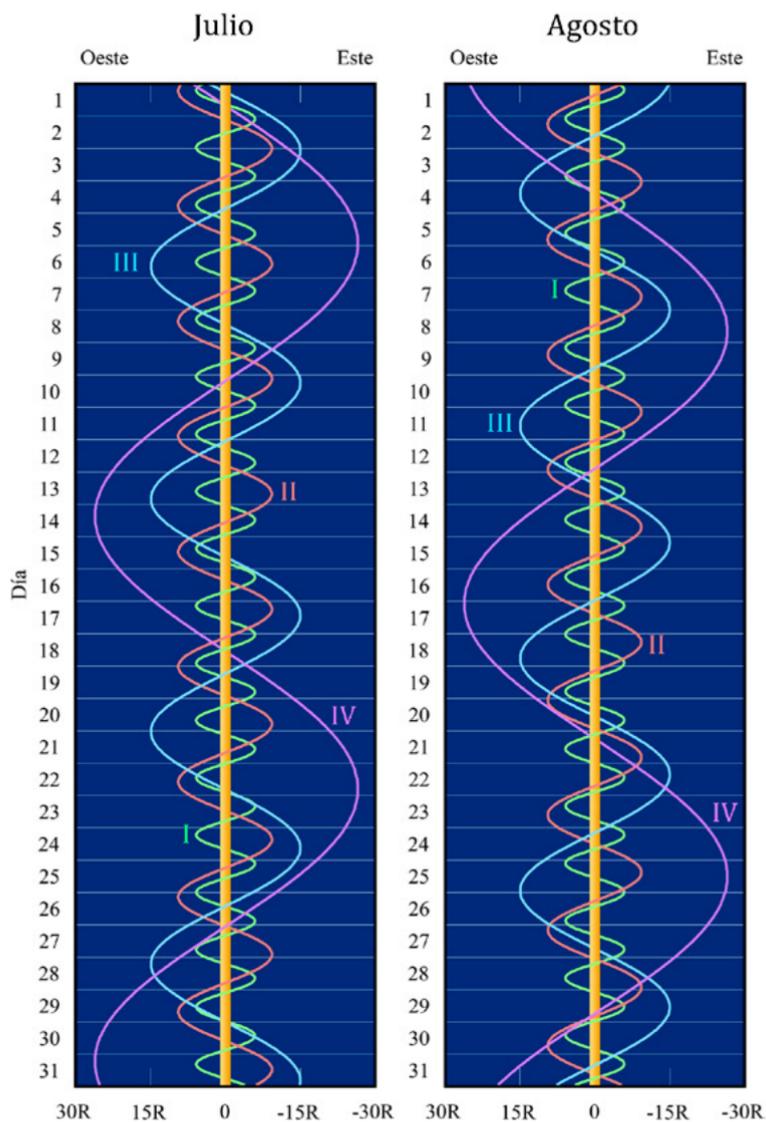


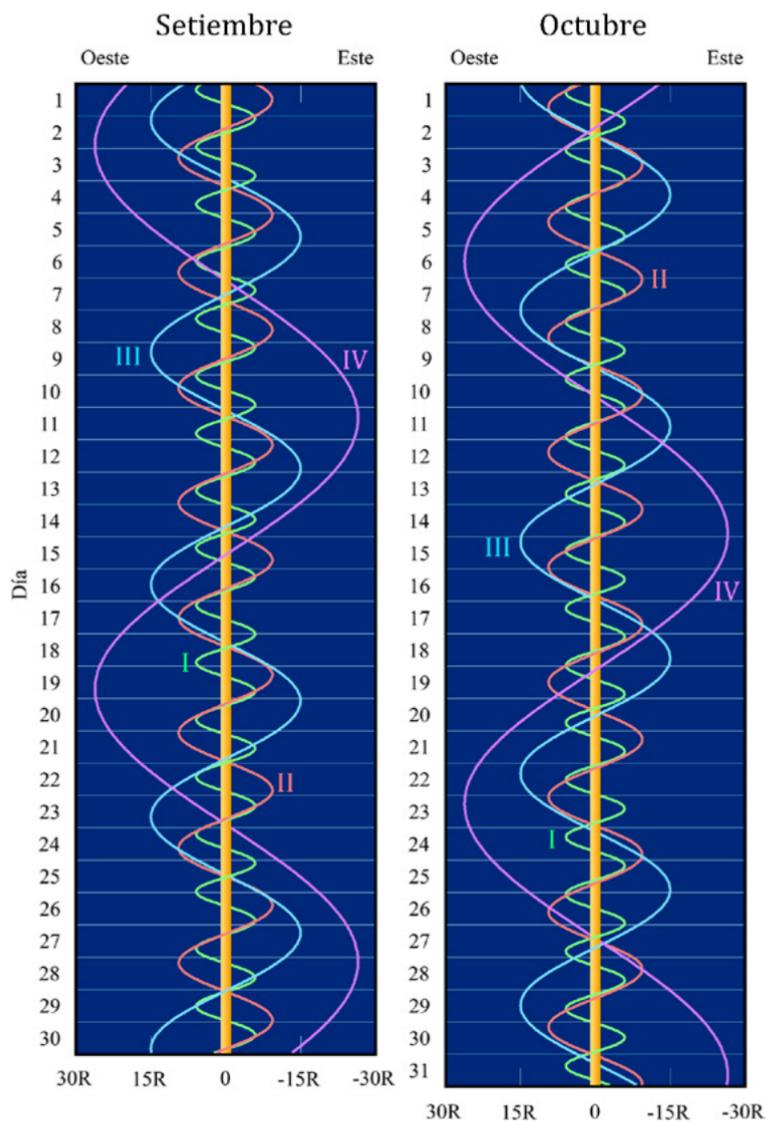
Obsérvese que Oeste y Este están colocados como se ven en un telescopio y al revés de cómo se ven con unos prismáticos.

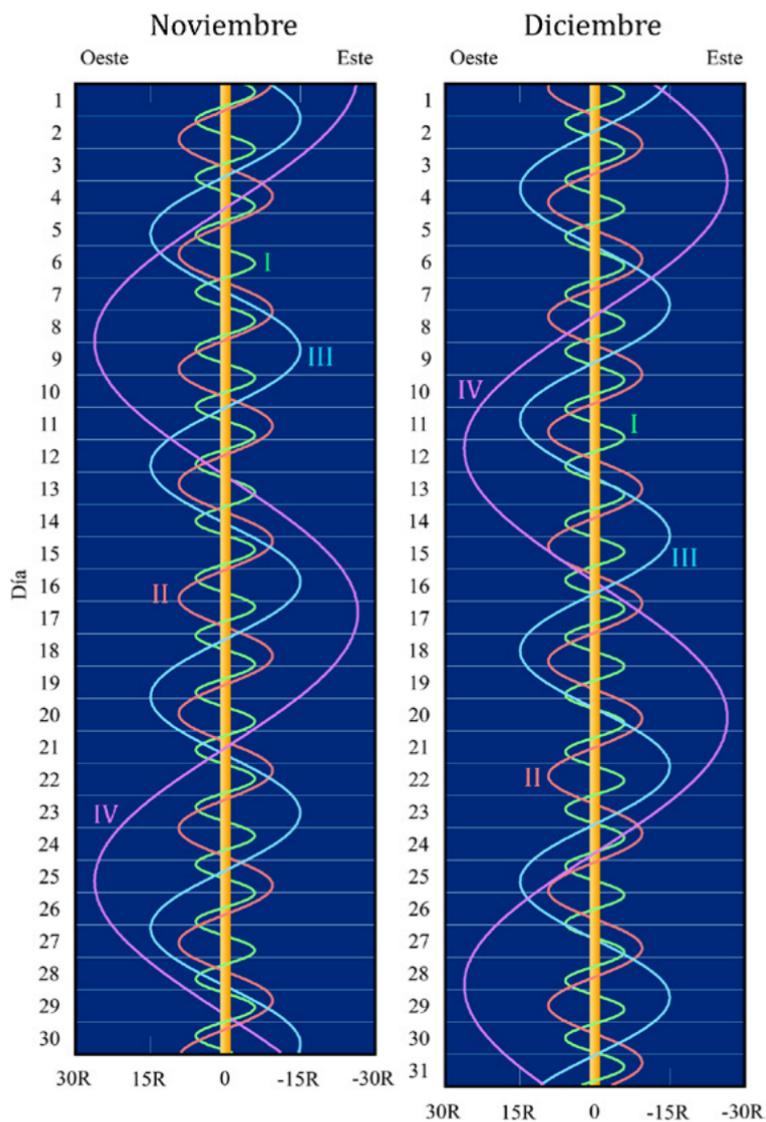
La línea vertical central indica el tamaño del planeta. La separación respecto del centro del planeta viene dada en radios planetarios (R).





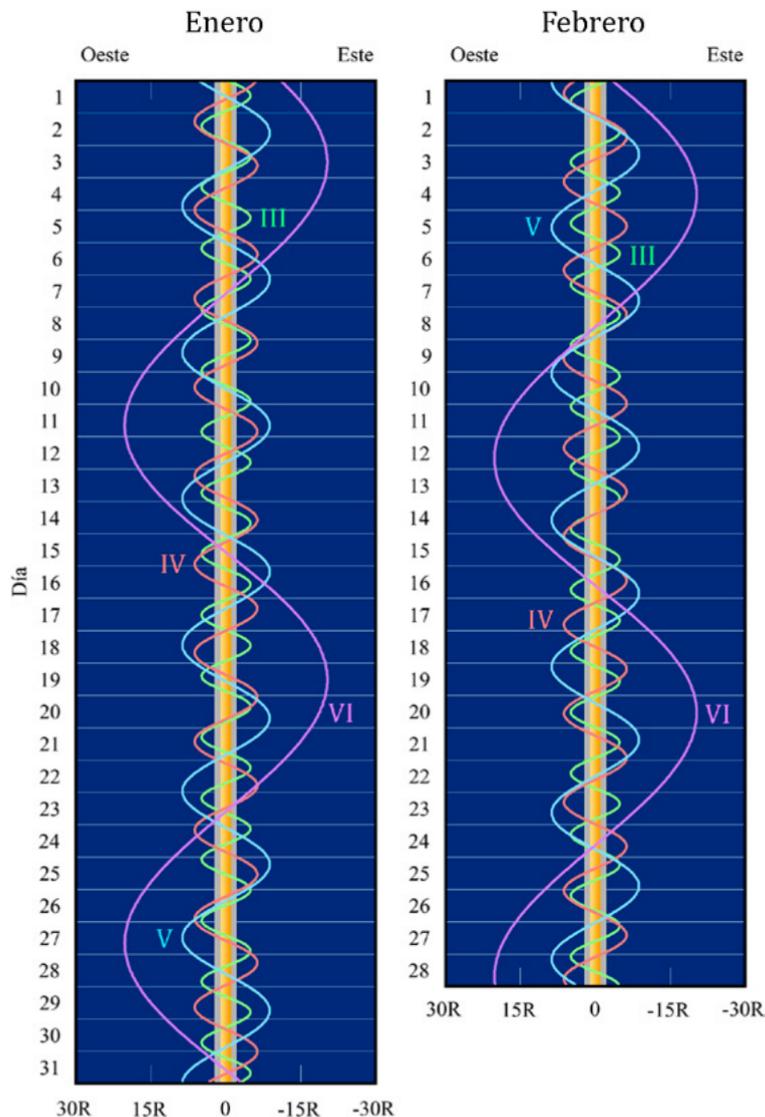






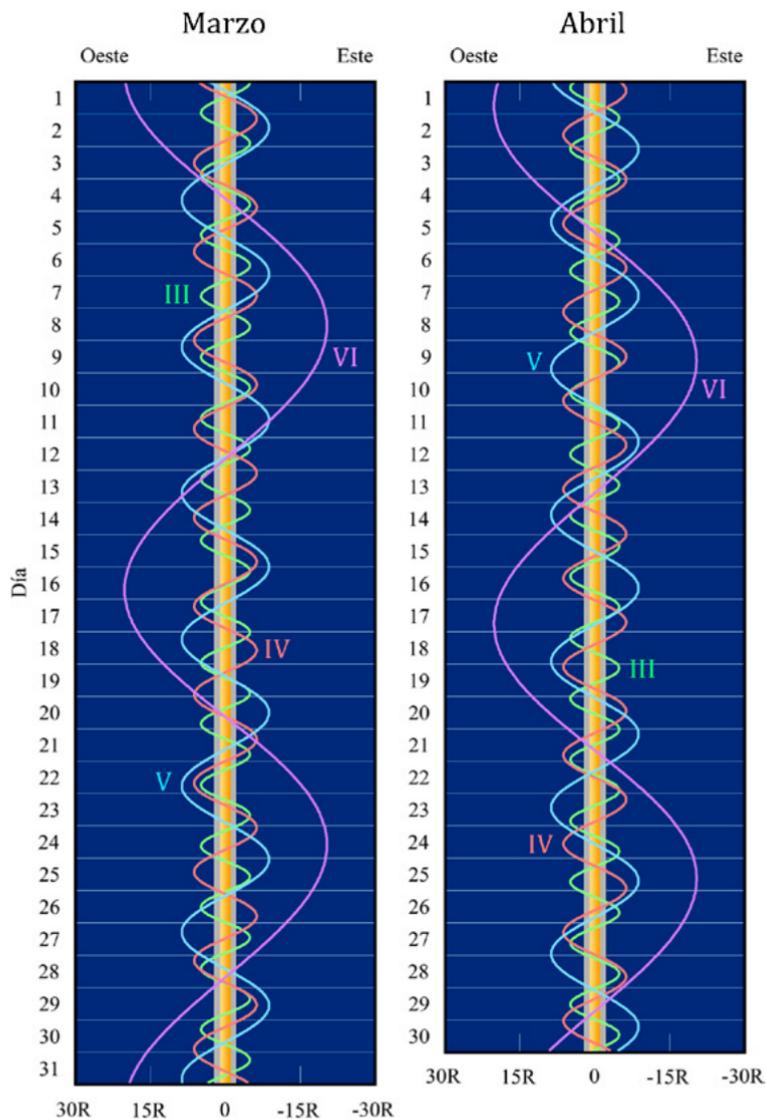
## Posiciones relativas de los satélites de Saturno

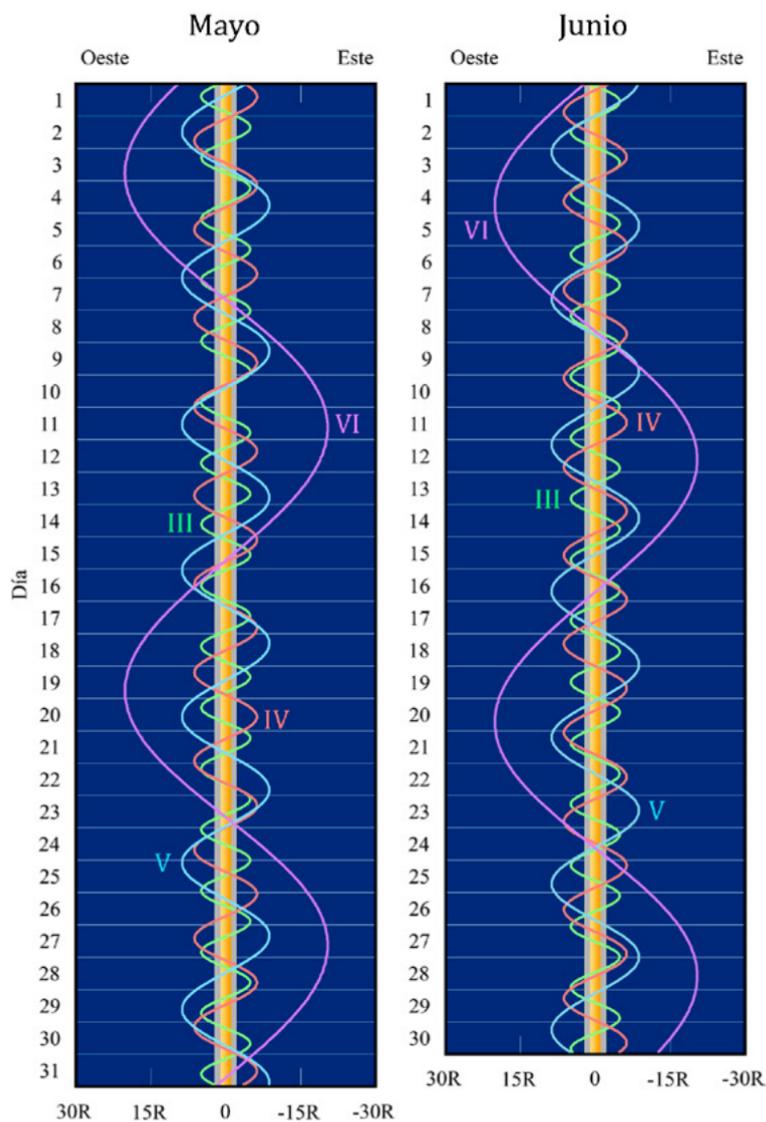
De menor a mayor amplitud, las posiciones dibujadas corresponden a Tetis (III), Dione (IV), Rea (V) y Titán (VI).

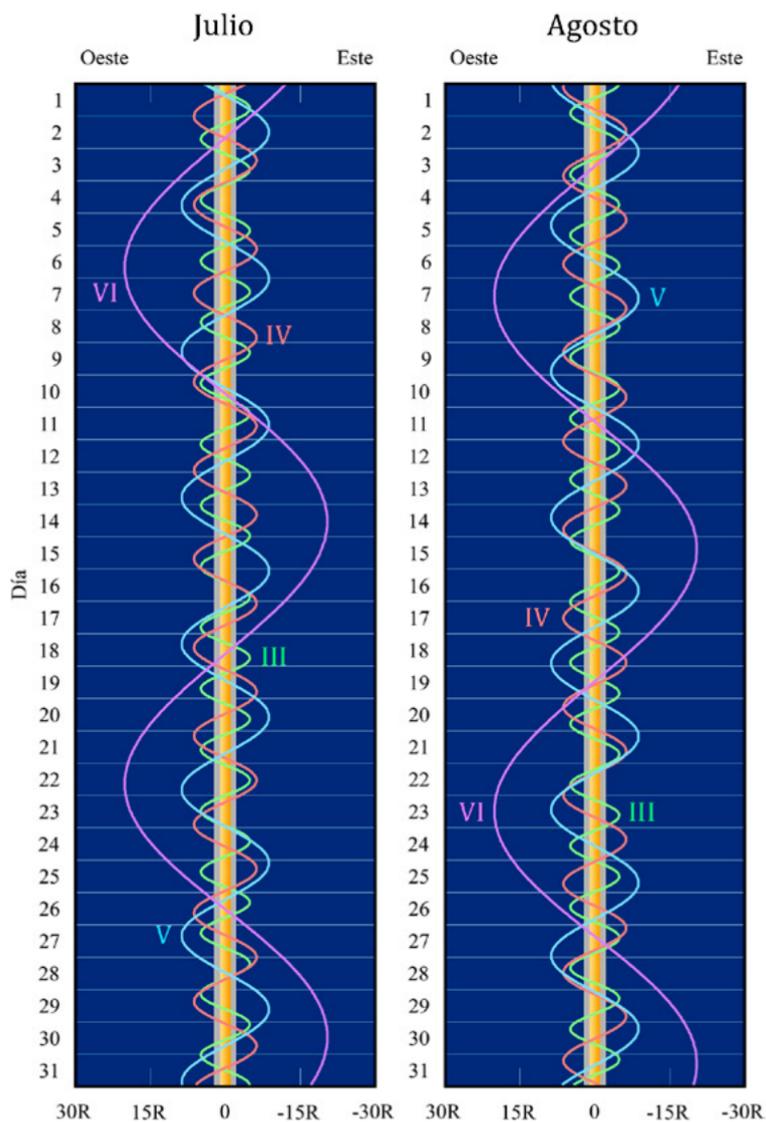


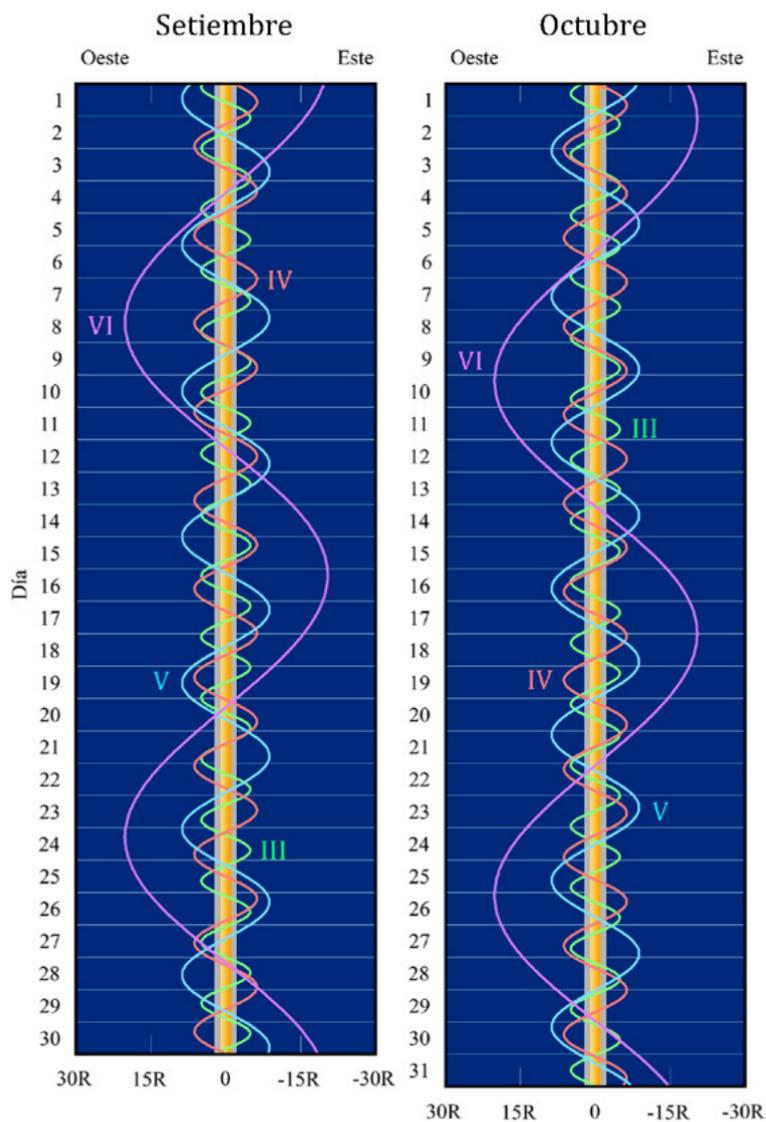
Obsérvese que Oeste y Este están colocados como se ven en un telescopio y al revés de cómo se ven con unos prismáticos.

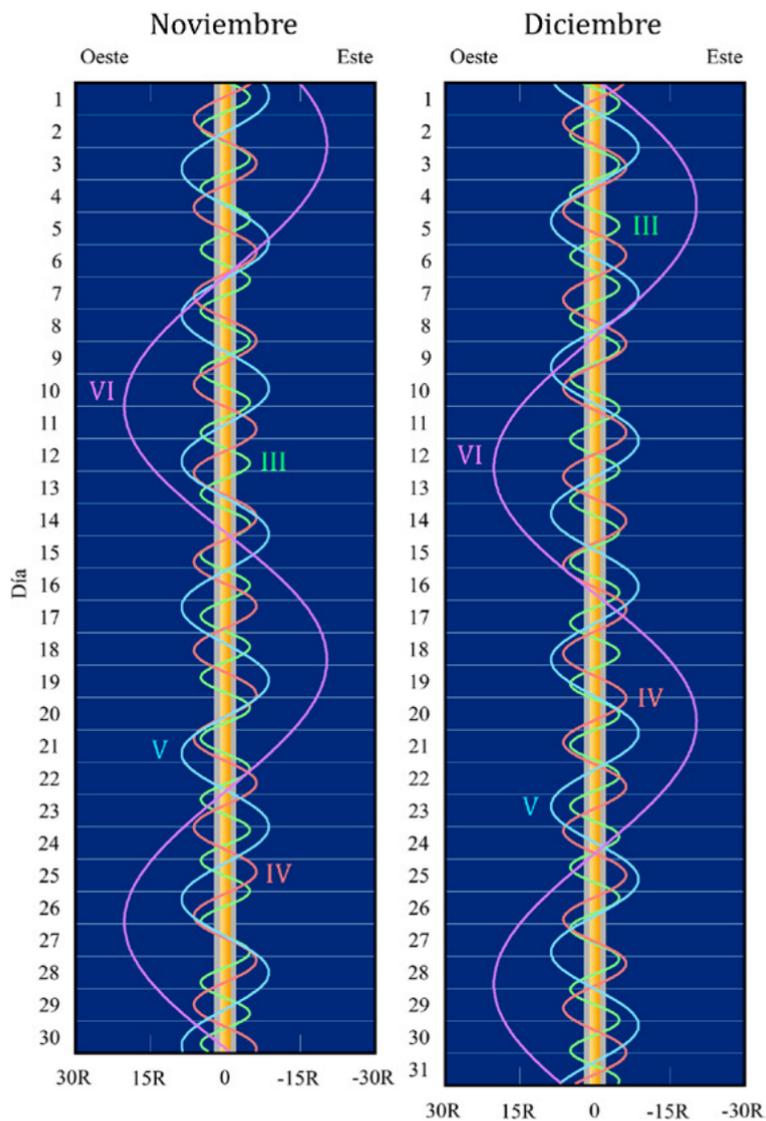
La línea vertical central indica el tamaño del planeta. La separación respecto del centro del planeta viene dada en radios planetarios (R).

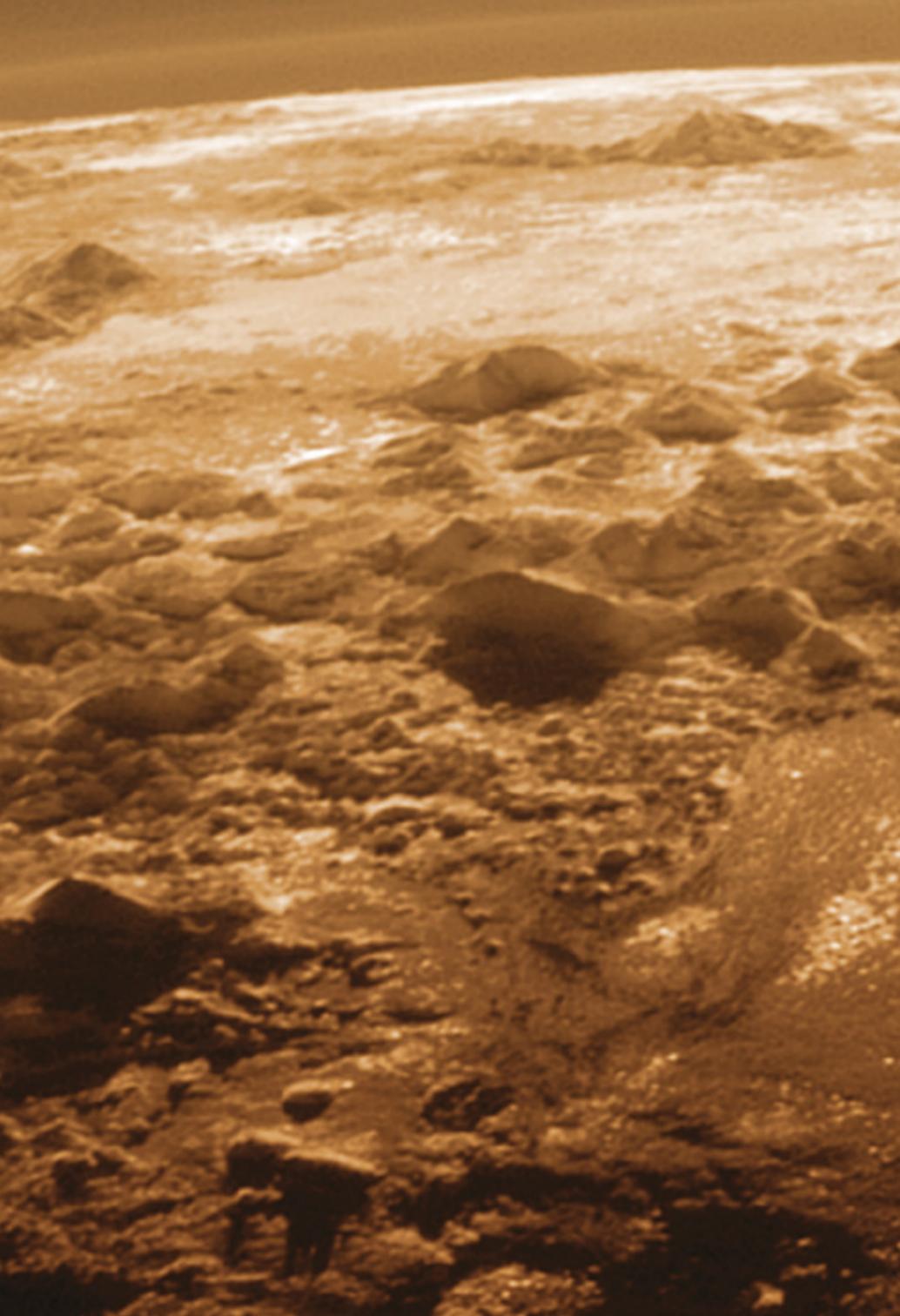


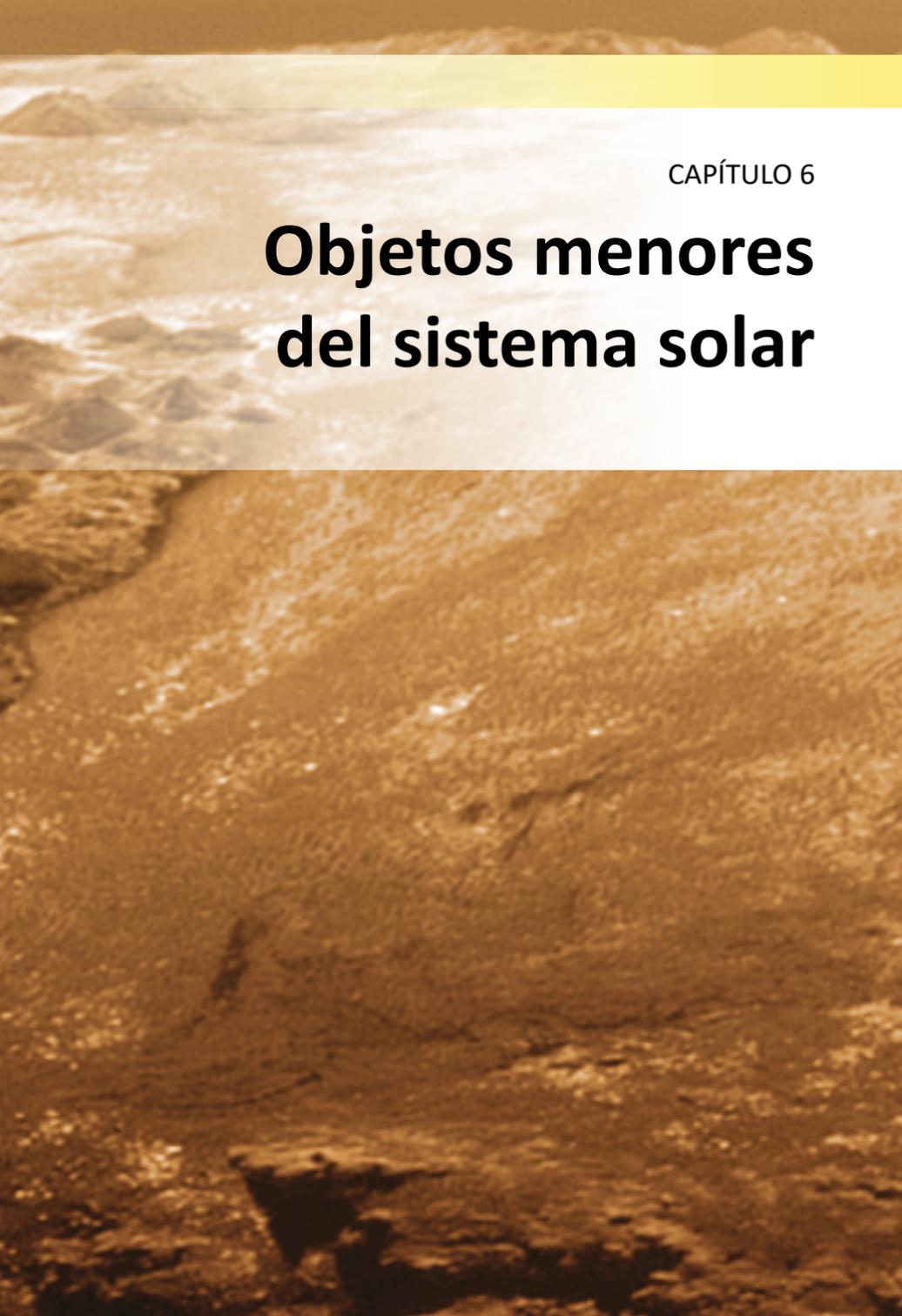












CAPÍTULO 6

# Objetos menores del sistema solar



Superficie de Plutón. NASA/JHUAPL/SwRI

Además de los ocho planetas con sus satélites, en el sistema solar se encuentran presentes otros cientos de miles de cuerpos de menor tamaño que orbitan en torno al Sol. Entre estos astros, cuyas principales efemérides se muestran en este capítulo, podemos considerar tres grupos: planetas enanos, asteroides y cometas. También se mencionan las principales lluvias de estrellas, producidas por cuerpos de menor tamaño, los meteoroides.

La categoría de planeta enano fue introducida por la Unión Astronómica Internacional (IAU, por sus siglas en inglés) en 2006. Hasta entonces Plutón se había considerado el noveno planeta del Sistema Solar. Sin embargo el descubrimiento de otros cuerpos de similares características (y que por tanto también habrían sido considerado planetas), pero cuyas propiedades en conjunto diferían de forma significativa de las de los otros ocho, llevó a la clarificación de las categorías. La IAU establece que se considera planeta al cuerpo que cumple tres propiedades: 1. Orbita en torno al Sol (y no respecto a otro cuerpo, como los satélites), 2. tiene suficiente masa como para que su propia gravedad supere la fuerza de cuerpo rígido, por lo que tiene una forma casi esférica, y 3. su efecto gravitatorio es suficientemente marcado como para que haya limpiado su órbita, mediante atracción o expulsión, de la presencia de otros cuerpos similares. Los ocho planetas considerados actualmente cumplen las tres características. Sin embargo hay algunos cuerpos, entre ellos Plutón, que cumplen las dos primeras, pero no la tercera. Para ellos se creó la categoría de planetas enanos.

Actualmente existen cinco cuerpos clasificados como planetas enanos: el propio Plutón, Ceres, Eris, Makemake y Haumea. Ceres está en el cinturón de asteroides, ubicado entre las órbitas de Marte y Júpiter, mientras que los demás están, como Plutón, en el cinturón de Kuiper, más allá de la órbita de Neptuno. Otros cuerpos, como Quaoar, Sedna, Orcus o Gonggong, están en consideración. Plutón orbita junto a otro cuerpo, Caronte, que también fue propuesto como posible planeta enano, aunque actualmente está clasificado como satélite de Plutón. En caso de que fuera considerado planeta enano, conformarían un sistema doble.

Los asteroides son cuerpos rocosos de menor tamaño que los planetas enanos, y por tanto sin la capacidad gravitatoria de alcanzar forma cuasi-esférica, por lo que tienen formas muy irregulares. Actualmente se sabe que hay más de 1 300 000 asteroides en el Sistema Solar. La mayor parte de ellos se concentran en el llamado cinturón de asteroides, entre las órbitas de Marte y Júpiter. Otros, denominados troyanos, se acumulan en los puntos de Lagrange de las órbitas de alguno de los planetas, formando una población

especialmente significativa en el caso de Júpiter. El resto tienen trayectorias dispersas que cruzan las órbitas de los planetas. Ceres era el mayor asteroide conocido hasta la creación de la categoría de planeta enano y su reclasificación como tal. Desde entonces, el mayor asteroide es Vesta, con un diámetro de unos 530 kilómetros, pero el rango de tamaños llega hasta asteroides con apenas 10 metros de diámetro. La masa sumada de todos los asteroides del Sistema Solar es muy inferior a la de nuestra propia Luna.

Los cometas son cuerpos de roca y polvo, como los asteroides, pero que también están compuestos parcialmente de hielos. Tienen órbitas con una alta elipticidad y, cuando sus trayectorias les acercan al Sol, la radiación solar recibida hace que parte de sus hielos se derritan. Esto produce la formación de una brillante cola característica, que puede alcanzar un tamaño mayor que algunos de los planetas. Estas “estrellas con cabellera” son a veces visibles en el cielo terrestre, en algunos casos excepcionales incluso de día, lo que ha sido registrado por diversas civilizaciones a lo largo de nuestra historia. Actualmente tenemos identificados casi 4000 cometas. A día de hoy sabemos que los cometas son material residual de los orígenes del Sistema Solar, por lo que su análisis proporciona información de gran relevancia sobre el proceso de formación de nuestro sistema planetario. De hecho se considera que los cometas pueden haber jugado un papel esencial al traer agua u otros compuestos orgánicos a la Tierra en estas primeras fases de su existencia, aportando ingredientes claves para el posterior desarrollo de la vida.

En este capítulo se habla también sobre las lluvias de meteoros, o lluvias de estrellas fugaces, observables desde la Tierra. Los meteoroides son rocas, con tamaños que van desde granos de polvo hasta pequeños asteroides, que flotan en el espacio. Cuando un meteoroide entra en la atmósfera de la Tierra, la interacción con el aire hace que se queme, y vemos la traza brillante que deja en el cielo hasta que se consume y desaparece. En este caso tenemos un meteorito. Cuando el meteoroide tiene suficiente masa como para sobrevivir a su paso por la atmósfera terrestre y aún queda un resto rocoso cuando llega a tierra, tenemos un meteorito. Podemos ver meteoros en el cielo nocturno en cualquier momento del año, pero hay épocas con una incidencia mucho más alta de estos fenómenos. A esos episodios los conocemos como lluvias de estrellas. Esto ocurre en momentos específicos del año, cuando la Tierra, en su recorrido por su órbita alrededor del Sol, atraviesa la zona de restos dejada por algún cometa. Un ejemplo de ello son las Perseidas, una de las lluvias más intensas del año, que tiene su pico de actividad a mediados de agosto y que se produce cuando la Tierra atraviesa el rastro de escombros dejado por el cometa Swift-Tuttle.

## 6.1. Estadísticas de objetos menores

Número de objetos conocidos de distinto tipo en mayo de 2023:

Planetas enanos:	5
Satélites de los planetas enanos:	9
Asteroides descubiertos:	~ 1 382 000
Asteroides numerados:	~ 720 000
Asteroides nombrados:	~ 24 000
Ritmo anual de descubrimiento de asteroides:	~ 100 000
Asteroides potencialmente peligrosos:	2437
Objetos Atenas ( $Q > 0,983$ ua, $a < 1$ ua):	2865
Objetos Apolo ( $q < 1,017$ ua, $a > 1$ ua):	18 289
Objetos Amor ( $1,017 < q < 1,3$ ua):	14 532
Objetos Centauro (entre Júpiter y Neptuno):	336
Objetos transneptunianos:	3518
Cometas con denominación IAU:	~ 4550
Cometas de corto periodo numerados:	486
Ritmo de descubrimiento de cometas:	~ 100 por año
Masa total de los asteroides:	0,0005 $M_{\oplus}$
Masa del cinturón de Kuiper:	0,03-0,1 $M_{\oplus}$
Masa de la nube exterior de Oort:	~ 5 $M_{\oplus}$

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 *Asteroides cercanos a la Tierra* en la página 301.

## 6.2. 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:

- 1) está en órbita alrededor del Sol,
- 2) 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),

- 3) no ha limpiado de otros cuerpos similares la vecindad de su órbita y
- 4) 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 físicos de los planetas enanos

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	$10^6$ 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	~0,6	~0,5	15,1	0,85	0,0007
Haumea	0,7		16,5		0,0005
Makemake	0,8		16,0		0,0005
Eris	0,9		17,1		0,0002

La constante solar de la Tierra es:  $1361 \text{ W m}^{-2} = 1,96 \text{ cal min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ .

**Tamaño**

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

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

**Masa**

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

### Descubrimiento de los planetas enanos

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

### Satélites de los planetas enanos

planeta	satélite	dimensiones (km)	mag.	periodo orbital (d)	descubrimiento
Plutón:					
I	Caronte	1208	16,8	6,387	1978 Christy
II	Nix	50 × 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 de los planetas enanos

Coordenadas astrométricas, incluyendo perturbaciones planetarias.

## CERES 2025

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

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
Ene 1	20 52 26,7	-24 50 53	3,798	2,977	9	9,2
Ene 11	21 08 24,1	-23 48 05	3,860	2,979	7	9,2
Ene 21	21 24 22,7	-22 40 58	3,908	2,980	6	9,1
Ene 31	21 40 18,6	-21 30 05	3,940	2,982	4	9,1
Feb 10	21 56 07,7	-20 16 07	3,958	2,983	3	9,0
Feb 20	22 11 46,6	-18 59 50	3,960	2,984	3	9,0
Mar 2	22 27 13,2	-17 41 58	3,948	2,985	4	9,1
Mar 12	22 42 24,6	-16 23 24	3,921	2,985	6	9,2
Mar 22	22 57 18,7	-15 04 58	3,879	2,986	7	9,2
Abr 1	23 11 54,0	-13 47 31	3,824	2,986	9	9,3
Abr 11	23 26 07,5	-12 32 02	3,755	2,985	11	9,3
Abr 21	23 39 57,2	-11 19 25	3,675	2,985	13	9,3
May 1	23 53 20,5	-10 10 34	3,582	2,984	14	9,3
May 11	00 06 13,3	-09 06 32	3,480	2,983	16	9,3
May 21	00 18 31,9	-08 08 16	3,368	2,981	17	9,3
May 31	00 30 10,9	-07 16 46	3,248	2,980	18	9,2
Jun 10	00 41 03,4	-06 33 11	3,122	2,978	19	9,2
Jun 20	00 51 02,1	-05 58 27	2,990	2,976	20	9,1
Jun 30	00 59 57,1	-05 33 44	2,856	2,973	20	9,0
Jul 10	01 07 37,0	-05 20 01	2,720	2,971	20	8,9
Jul 20	01 13 49,7	-05 18 09	2,586	2,968	20	8,8
Jul 30	01 18 20,4	-05 28 51	2,456	2,965	19	8,6
Ago 9	01 20 54,9	-05 52 13	2,334	2,961	17	8,5
Ago 19	01 21 21,6	-06 27 38	2,222	2,958	16	8,3
Ago 29	01 19 31,6	-07 13 28	2,126	2,954	13	8,1
Set 8	01 15 26,4	-08 06 22	2,048	2,950	11	7,9
Set 18	01 09 20,1	-09 01 39	1,994	2,945	8	7,8
Set 28	01 01 41,2	-09 53 24	1,965	2,941	5	7,6
Oct 8	00 53 15,2	-10 35 10	1,964	2,936	5	7,6
Oct 18	00 44 54,3	-11 01 50	1,990	2,931	8	7,7
Oct 28	00 37 29,9	-11 10 04	2,043	2,926	11	7,9
Nov 7	00 31 45,0	-10 58 48	2,119	2,920	13	8,1
Nov 17	00 28 05,3	-10 29 10	2,214	2,915	16	8,3
Nov 27	00 26 42,6	-09 43 10	2,325	2,909	18	8,4
Dic 7	00 27 36,6	-08 43 24	2,447	2,903	19	8,6
Dic 17	00 30 37,9	-07 32 31	2,576	2,897	20	8,7
Dic 27	00 35 34,8	-06 12 38	2,708	2,890	20	8,8

**PLUTÓN 2025**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
Ene 1	20 14 48,0	-23 11 18	36,090	35,171	1	14,5
Ene 11	20 16 08,1	-23 07 42	36,143	35,178	0	14,5
Ene 21	20 17 30,3	-23 04 06	36,167	35,185	0	14,5
Ene 31	20 18 52,7	-23 00 37	36,162	35,192	0	14,5
Feb 10	20 20 13,3	-22 57 21	36,127	35,198	1	14,5
Feb 20	20 21 30,1	-22 54 25	36,066	35,205	1	14,6
Mar 2	20 22 41,5	-22 51 53	35,978	35,212	1	14,6
Mar 12	20 23 45,8	-22 49 52	35,868	35,219	1	14,6
Mar 22	20 24 41,5	-22 48 25	35,739	35,226	1	14,6
Abr 1	20 25 27,4	-22 47 36	35,595	35,233	2	14,6
Abr 11	20 26 02,5	-22 47 28	35,439	35,239	2	14,5
Abr 21	20 26 26,3	-22 48 01	35,278	35,246	2	14,5
May 1	20 26 38,2	-22 49 16	35,115	35,253	2	14,5
May 11	20 26 38,2	-22 51 10	34,956	35,260	2	14,5
May 21	20 26 26,6	-22 53 42	34,805	35,267	1	14,5
May 31	20 26 04,0	-22 56 46	34,667	35,274	1	14,5
Jun 10	20 25 31,4	-23 00 19	34,546	35,280	1	14,5
Jun 20	20 24 50,0	-23 04 12	34,446	35,287	1	14,5
Jun 30	20 24 01,4	-23 08 20	34,370	35,294	1	14,4
Jul 10	20 23 07,3	-23 12 35	34,320	35,301	0	14,4
Jul 20	20 22 09,7	-23 16 49	34,298	35,308	0	14,4
Jul 30	20 21 10,7	-23 20 55	34,305	35,315	0	14,4
Ago 9	20 20 12,6	-23 24 44	34,341	35,322	0	14,4
Ago 19	20 19 17,5	-23 28 12	34,405	35,328	1	14,5
Ago 29	20 18 27,4	-23 31 10	34,496	35,335	1	14,5
Set 8	20 17 44,2	-23 33 36	34,612	35,342	1	14,5
Set 18	20 17 09,8	-23 35 26	34,748	35,349	1	14,5
Set 28	20 16 45,3	-23 36 36	34,902	35,356	1	14,5
Oct 8	20 16 32,0	-23 37 05	35,068	35,363	2	14,5
Oct 18	20 16 30,5	-23 36 54	35,243	35,370	2	14,5
Oct 28	20 16 41,3	-23 36 04	35,422	35,377	2	14,6
Nov 7	20 17 04,2	-23 34 36	35,598	35,383	2	14,6
Nov 17	20 17 38,8	-23 32 33	35,768	35,390	1	14,6
Nov 27	20 18 24,5	-23 29 59	35,926	35,397	1	14,6
Dic 7	20 19 20,1	-23 26 58	36,068	35,404	1	14,6
Dic 17	20 20 24,3	-23 23 36	36,190	35,411	1	14,6
Dic 27	20 21 35,6	-23 19 59	36,289	35,418	1	14,6

La magnitud de Plutón incluye la de su satélite principal Caronte

**HAUMEA 2025**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
Ene 1	14 40 01,8	+13 58 16	50,239	49,920	1	17,6
Ene 11	14 40 29,0	+14 01 34	50,090	49,917	1	17,6
Ene 21	14 40 48,7	+14 05 46	49,935	49,915	1	17,6
Ene 31	14 41 00,4	+14 10 46	49,779	49,912	1	17,6
Feb 10	14 41 04,0	+14 16 23	49,627	49,910	1	17,6
Feb 20	14 40 59,4	+14 22 25	49,484	49,907	1	17,5
Mar 2	14 40 46,9	+14 28 41	49,354	49,905	1	17,5
Mar 12	14 40 27,1	+14 34 57	49,240	49,902	1	17,5
Mar 22	14 40 00,8	+14 41 01	49,147	49,900	1	17,5
Abr 1	14 39 28,9	+14 46 41	49,076	49,897	1	17,5
Abr 11	14 38 52,7	+14 51 44	49,029	49,894	1	17,5
Abr 21	14 38 13,6	+14 56 00	49,009	49,892	1	17,5
May 1	14 37 32,8	+14 59 22	49,014	49,889	1	17,5
May 11	14 36 51,8	+15 01 42	49,045	49,887	1	17,5
May 21	14 36 12,1	+15 02 55	49,101	49,884	1	17,5
May 31	14 35 34,9	+15 03 00	49,179	49,882	1	17,5
Jun 10	14 35 01,7	+15 01 56	49,277	49,879	1	17,5
Jun 20	14 34 33,4	+14 59 44	49,392	49,876	1	17,5
Jun 30	14 34 11,0	+14 56 30	49,521	49,874	1	17,6
Jul 10	14 33 55,3	+14 52 17	49,659	49,871	1	17,6
Jul 20	14 33 46,8	+14 47 12	49,803	49,869	1	17,6
Jul 30	14 33 45,9	+14 41 25	49,949	49,866	1	17,6
Ago 9	14 33 52,7	+14 35 04	50,093	49,864	1	17,6
Ago 19	14 34 07,1	+14 28 18	50,230	49,861	1	17,6
Ago 29	14 34 28,9	+14 21 19	50,356	49,858	1	17,6
Set 8	14 34 57,7	+14 14 17	50,469	49,856	1	17,6
Set 18	14 35 32,6	+14 07 22	50,564	49,853	1	17,6
Set 28	14 36 13,1	+14 00 45	50,638	49,851	1	17,6
Oct 8	14 36 58,1	+13 54 37	50,690	49,848	1	17,6
Oct 18	14 37 46,5	+13 49 06	50,718	49,846	1	17,5
Oct 28	14 38 37,3	+13 44 21	50,720	49,843	1	17,5
Nov 7	14 39 29,1	+13 40 30	50,697	49,840	1	17,5
Nov 17	14 40 20,6	+13 37 39	50,648	49,838	1	17,6
Nov 27	14 41 10,6	+13 35 53	50,575	49,835	1	17,6
Dic 7	14 41 57,6	+13 35 14	50,480	49,833	1	17,6
Dic 17	14 42 40,7	+13 35 43	50,365	49,830	1	17,6
Dic 27	14 43 18,4	+13 37 20	50,234	49,827	1	17,6

**MAKEMAKE 2025**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
Ene 1	13 26 13,9	+20 38 42	52,703	52,698	1	17,2
Ene 11	13 26 25,0	+20 43 00	52,550	52,699	1	17,2
Ene 21	13 26 28,2	+20 48 00	52,401	52,700	1	17,1
Ene 31	13 26 23,6	+20 53 33	52,260	52,700	1	17,1
Feb 10	13 26 11,3	+20 59 26	52,134	52,701	1	17,1
Feb 20	13 25 51,9	+21 05 26	52,025	52,702	1	17,1
Mar 2	13 25 26,1	+21 11 20	51,936	52,702	1	17,1
Mar 12	13 24 54,9	+21 16 56	51,872	52,703	1	17,1
Mar 22	13 24 19,5	+21 22 02	51,832	52,703	1	17,1
Abr 1	13 23 41,1	+21 26 25	51,819	52,704	1	17,1
Abr 11	13 23 01,1	+21 29 58	51,832	52,705	1	17,1
Abr 21	13 22 20,9	+21 32 31	51,871	52,705	1	17,1
May 1	13 21 41,9	+21 34 01	51,935	52,706	1	17,1
May 11	13 21 05,5	+21 34 23	52,021	52,706	1	17,1
May 21	13 20 32,8	+21 33 36	52,127	52,707	1	17,1
May 31	13 20 04,9	+21 31 42	52,250	52,708	1	17,1
Jun 10	13 19 42,7	+21 28 43	52,386	52,708	1	17,1
Jun 20	13 19 27,0	+21 24 44	52,530	52,709	1	17,2
Jun 30	13 19 18,2	+21 19 51	52,679	52,709	1	17,2
Jul 10	13 19 16,7	+21 14 12	52,829	52,710	1	17,2
Jul 20	13 19 22,6	+21 07 54	52,976	52,710	1	17,2
Jul 30	13 19 35,7	+21 01 08	53,115	52,711	1	17,2
Ago 9	13 19 55,8	+20 54 04	53,243	52,712	1	17,2
Ago 19	13 20 22,5	+20 46 52	53,356	52,712	1	17,2
Ago 29	13 20 55,1	+20 39 40	53,450	52,713	1	17,2
Set 8	13 21 32,9	+20 32 42	53,524	52,713	1	17,1
Set 18	13 22 15,0	+20 26 06	53,575	52,714	1	17,1
Set 28	13 23 00,3	+20 20 01	53,602	52,715	1	17,1
Oct 8	13 23 47,9	+20 14 37	53,603	52,715	0	17,1
Oct 18	13 24 36,4	+20 10 01	53,579	52,716	1	17,1
Oct 28	13 25 24,8	+20 06 22	53,529	52,716	1	17,1
Nov 7	13 26 11,7	+20 03 43	53,456	52,717	1	17,2
Nov 17	13 26 56,0	+20 02 09	53,360	52,717	1	17,2
Nov 27	13 27 36,5	+20 01 42	53,245	52,718	1	17,2
Dic 7	13 28 12,0	+20 02 23	53,114	52,719	1	17,2
Dic 17	13 28 41,7	+20 04 10	52,971	52,719	1	17,2
Dic 27	13 29 04,8	+20 06 59	52,820	52,720	1	17,2

**ERIS 2025**  
(coordenadas J2000 a 0<sup>h</sup> de TU)

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
Ene 1	01 44 51,1	+00 42 36	95,382	95,614	1	18,7
Ene 11	01 44 46,8	+00 41 25	95,549	95,611	1	18,7
Ene 21	01 44 46,6	+00 39 50	95,718	95,609	1	18,7
Ene 31	01 44 50,4	+00 37 54	95,884	95,607	1	18,7
Feb 10	01 44 58,2	+00 35 38	96,041	95,604	1	18,7
Feb 20	01 45 09,7	+00 33 07	96,184	95,602	0	18,7
Mar 2	01 45 24,6	+00 30 24	96,310	95,600	0	18,7
Mar 12	01 45 42,3	+00 27 33	96,414	95,597	0	18,7
Mar 22	01 46 02,4	+00 24 40	96,494	95,595	0	18,7
Abr 1	01 46 24,3	+00 21 48	96,547	95,592	0	18,7
Abr 11	01 46 47,3	+00 19 01	96,573	95,590	0	18,7
Abr 21	01 47 10,9	+00 16 24	96,570	95,588	0	18,7
May 1	01 47 34,4	+00 13 59	96,538	95,585	0	18,7
May 11	01 47 57,1	+00 11 51	96,480	95,583	0	18,7
May 21	01 48 18,4	+00 10 01	96,395	95,580	0	18,7
May 31	01 48 37,8	+00 08 33	96,288	95,578	0	18,7
Jun 10	01 48 54,8	+00 07 27	96,161	95,576	0	18,7
Jun 20	01 49 08,9	+00 06 46	96,018	95,573	1	18,7
Jun 30	01 49 19,7	+00 06 29	95,861	95,571	1	18,7
Jul 10	01 49 27,0	+00 06 36	95,697	95,568	1	18,7
Jul 20	01 49 30,6	+00 07 06	95,529	95,566	1	18,7
Jul 30	01 49 30,3	+00 07 59	95,361	95,563	1	18,7
Ago 9	01 49 26,1	+00 09 11	95,200	95,561	1	18,7
Ago 19	01 49 18,3	+00 10 41	95,048	95,559	1	18,7
Ago 29	01 49 06,9	+00 12 25	94,911	95,556	0	18,7
Set 8	01 48 52,3	+00 14 19	94,792	95,554	0	18,7
Set 18	01 48 35,0	+00 16 20	94,696	95,551	0	18,6
Set 28	01 48 15,4	+00 18 23	94,624	95,549	0	18,6
Oct 8	01 47 54,1	+00 20 24	94,580	95,547	0	18,6
Oct 18	01 47 31,8	+00 22 17	94,565	95,544	0	18,6
Oct 28	01 47 09,2	+00 24 00	94,579	95,542	0	18,6
Nov 7	01 46 47,0	+00 25 28	94,623	95,539	0	18,6
Nov 17	01 46 25,9	+00 26 37	94,694	95,537	0	18,6
Nov 27	01 46 06,7	+00 27 24	94,791	95,534	0	18,7
Dic 7	01 45 49,9	+00 27 46	94,912	95,532	0	18,7
Dic 17	01 45 36,1	+00 27 43	95,051	95,529	1	18,7
Dic 27	01 45 25,8	+00 27 14	95,205	95,527	1	18,7

### 6.3. Asteroides

En setiembre de 2024 se llevan descubiertos unos 1 382 000 asteroides, de los cuales unos 720 000 han sido numerados y unos 24 000 han recibido un nombre. Por su órbita y su tamaño, unos 2437 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	$\omega$ (°)	$\Omega$ (°)	i (°)
1 Ceres	2023,00	2,7666	0,0792	73,285	80,254	10,588
2 Palas	2023,25	2,7703	0,2304	310,892	172,906	34,922
3 Juno	2023,33	2,6702	0,2561	247,820	169,839	12,988
4 Vesta	2022,01	2,3609	0,0900	151,676	103,705	7,144
5 Astrea	2024,42	2,5762	0,1873	359,264	141,460	5,359
6 Hebe	2022,25	2,4260	0,2024	239,648	138,620	14,734
7 Iris	2021,59	2,3860	0,2299	145,521	259,499	5,520
8 Flora	2024,17	2,2010	0,1566	285,430	110,846	5,890
9 Metis	2023,92	2,3859	0,1228	5,774	68,869	5,578
10 Hygiea	2022,59	3,1413	0,1104	312,630	283,149	3,831
11 Partenope	2024,09	2,4534	0,0994	196,071	125,506	4,632
12 Victoria	2021,59	2,3342	0,2201	69,547	235,356	8,374
13 Egeria	2021,34	2,5777	0,0854	79,223	43,208	16,532
14 Irene	2021,59	2,5897	0,1630	98,050	86,011	9,129
15 Eunomia	2024,59	2,6440	0,1876	98,768	292,890	11,756
16 Psyche	2020,34	2,9225	0,1341	229,588	150,019	3,097
18 Melpomene	2023,75	2,2950	0,2183	228,054	150,336	10,132
19 Fortuna	2021,09	2,4421	0,1575	182,670	211,039	1,574
20 Masalia	2021,92	2,4079	0,1437	257,454	205,983	0,709
27 Euterpe	2023,17	2,3477	0,1714	356,482	94,768	1,583
29 Amphitrite	2024,26	2,5544	0,0736	62,005	356,261	6,077
39 Laetitia	2024,75	2,7685	0,1120	209,958	156,926	10,371
40 Harmonia	2021,75	2,2671	0,0461	269,361	94,156	4,256
44 Nysa	2022,26	2,4221	0,1496	344,135	131,491	3,712
51 Nemausa	2022,01	2,3665	0,0661	1,890	175,899	9,972
89 Julia	2021,84	2,5513	0,1840	45,166	311,525	16,121
192 Nausikaa	2023,09	2,4027	0,2456	30,583	343,090	6,797
230 Atamantis	2022,76	2,3824	0,0613	139,087	239,771	9,455
349 Dembowska	2022,34	2,9245	0,0889	344,522	32,197	8,250
354 Eleonora	2024,42	2,7998	0,1116	7,974	140,217	18,361

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:  $n = 0,98561 / P$  (° 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:

$$\log_e \Phi_1 = -3,33 \left[ \tan \left( \frac{\beta}{2} \right) \right]^{0,63}$$

$$\log_e \Phi_2 = -1,87 \left[ \tan \left( \frac{\beta}{2} \right) \right]^{1,22}$$

Cuando no está tabulado, el ángulo de fase  $\beta$  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 tabla en la página 190 o, en primera aproximación,  $R = 1$ ).

### Fechas de oposición en 2025 de los primeros asteroides

	nombre	oposición en longitud		magnitud V	oposición en asc. recta	
1	Ceres	Oct 2	13 <sup>h</sup>	7,6	Oct 7	21 <sup>h</sup>
2	Palas	Ago 7	21 <sup>h</sup>	9,4	Jul 30	20 <sup>h</sup>
3	Juno	May 14	17 <sup>h</sup>	10,1	May 18	3 <sup>h</sup>
4	Vesta	May 2	6 <sup>h</sup>	5,8	May 5	5 <sup>h</sup>
5	Astrea	Jun 6	5 <sup>h</sup>	10,6	Jun 6	21 <sup>h</sup>
6	Hebe	Ago 26	14 <sup>h</sup>	7,6	Ago 29	4 <sup>h</sup>
8	Flora	Mar 12	21 <sup>h</sup>	9,7	Mar 15	21 <sup>h</sup>
9	Metis	May 9	5 <sup>h</sup>	9,7	May 9	22 <sup>h</sup>
10	Hygiea	Dic 22	8 <sup>h</sup>	10,3	Dic 22	9 <sup>h</sup>
12	Victoria	Nov 5	13 <sup>h</sup>	9,9	Nov 4	18 <sup>h</sup>
14	Irene	Ene 3	7 <sup>h</sup>	9,6	Ene 3	15 <sup>h</sup>
16	Psyche	Dic 8	1 <sup>h</sup>	9,7	Dic 8	10 <sup>h</sup>
18	Melpomene	Mar 24	18 <sup>h</sup>	10,2	Mar 27	20 <sup>h</sup>
27	Euterpe	Ago 13	15 <sup>h</sup>	10,2	Ago 14	4 <sup>h</sup>
29	Amphitrite	Feb 12	15 <sup>h</sup>	9,2	Feb 14	3 <sup>h</sup>
433	Eros	Oct 29	22 <sup>h</sup>	10,7	Oct 18	17 <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 esta ( $a < 1$  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 esta ( $a > 1$  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 de los asteroides

A continuación figuran las efemérides de los primeros asteroides para cada diez días en el intervalo en que su elongación solar es mayor de  $90^\circ$ . 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 ánuca.

(coordenadas J2000 a  $0^h$  de TU)

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo mag. de fase V $\beta$ (°)
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$	
<b>1 CERES 2025</b>					
Consultar efemérides en el apartado de planetas enanos					
<b>2 PALAS 2025</b>					
May 21	21 05 16,9	+14 46 44	3,160	3,405	17 10,2
May 31	21 06 54,9	+15 43 17	3,037	3,407	17 10,1
Jun 10	21 06 42,8	+16 29 39	2,918	3,408	16 10,0
Jun 20	21 04 37,8	+17 02 23	2,807	3,409	15 9,8
Jun 30	21 00 41,5	+17 17 39	2,708	3,409	14 9,7
Jul 10	20 55 05,8	+17 11 45	2,625	3,408	12 9,6
Jul 20	20 48 11,8	+16 42 03	2,561	3,407	11 9,5
Jul 30	20 40 30,2	+15 47 14	2,519	3,405	10 9,4
Ago 9	20 32 40,7	+14 28 25	2,502	3,403	9 9,4
Ago 19	20 25 23,6	+12 49 18	2,511	3,400	9 9,4
Ago 29	20 19 15,6	+10 55 20	2,546	3,397	11 9,5
Set 8	20 14 46,0	+08 53 19	2,605	3,393	12 9,6
Set 18	20 12 11,6	+06 49 54	2,687	3,388	14 9,7
Set 28	20 11 40,0	+04 50 41	2,787	3,383	15 9,8
Oct 8	20 13 10,5	+03 00 06	2,902	3,377	16 9,9
Oct 18	20 16 35,5	+01 20 58	3,028	3,371	17 10,0
Oct 28	20 21 45,6	-00 05 03	3,160	3,364	17 10,1
<b>3 JUNO 2025</b>					
Feb 20	15 59 08,2	-09 23 31	3,137	3,315	17 11,2
Mar 2	16 04 11,1	-08 52 55	2,998	3,322	17 11,1
Mar 12	16 07 23,6	-08 13 41	2,864	3,328	16 11,0
Mar 22	16 08 36,0	-07 26 43	2,737	3,334	15 10,8
Abr 1	16 07 41,0	-06 33 20	2,623	3,339	14 10,7

		(coordenadas J2000 a 0 <sup>h</sup> de TU)					
Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase	mag. V	
			a Tierra	al Sol			
	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>''</sup> )	$\Delta$	$r$	$\beta$ (°)		
Abr 11	16 04 38,2	-05 35 42	2,526	3,343	11	10,5	
Abr 21	15 59 37,4	-04 36 40	2,450	3,347	9	10,4	
May 1	15 52 57,8	-03 39 48	2,398	3,349	7	10,2	
May 11	15 45 11,7	-02 49 06	2,373	3,352	5	10,1	
May 21	15 36 59,3	-02 08 17	2,377	3,353	5	10,1	
May 31	15 29 03,0	-01 40 14	2,409	3,354	7	10,3	
Jun 10	15 22 03,2	-01 26 36	2,467	3,354	10	10,4	
Jun 20	15 16 30,2	-01 27 31	2,547	3,353	12	10,6	
Jun 30	15 12 43,6	-01 42 02	2,647	3,352	14	10,7	
Jul 10	15 10 53,4	-02 08 25	2,762	3,350	16	10,9	
Jul 20	15 10 59,5	-02 44 32	2,887	3,348	17	11,0	
Jul 30	15 12 57,5	-03 28 20	3,020	3,345	17	11,1	
Ago 9	15 16 39,8	-04 17 43	3,156	3,341	18	11,2	
<b>4 VESTA 2025</b>							
Ene 31	14 39 02,1	-07 02 13	1,995	2,247	26	7,7	
Feb 10	14 50 32,5	-07 24 06	1,867	2,238	26	7,5	
Feb 20	15 00 15,2	-07 33 23	1,741	2,230	25	7,4	
Mar 2	15 07 46,2	-07 29 54	1,621	2,221	24	7,2	
Mar 12	15 12 40,9	-07 14 05	1,510	2,213	22	6,9	
Mar 22	15 14 38,8	-06 47 13	1,409	2,206	20	6,7	
Abr 1	15 13 24,3	-06 11 27	1,323	2,199	16	6,4	
Abr 11	15 08 59,3	-05 30 40	1,255	2,192	12	6,2	
Abr 21	15 01 49,9	-04 50 10	1,208	2,186	8	5,9	
May 1	14 52 47,3	-04 16 13	1,184	2,180	5	5,8	
May 11	14 43 08,9	-03 55 26	1,184	2,174	7	5,8	
May 21	14 34 17,2	-03 52 26	1,208	2,169	11	6,0	
May 31	14 27 21,3	-04 09 23	1,254	2,165	16	6,3	
Jun 10	14 23 09,3	-04 45 57	1,318	2,161	19	6,5	
Jun 20	14 21 59,5	-05 39 41	1,396	2,157	22	6,7	
Jun 30	14 23 51,6	-06 47 30	1,487	2,154	25	6,9	
Jul 10	14 28 35,0	-08 06 06	1,585	2,152	26	7,1	
Jul 20	14 35 50,8	-09 32 14	1,690	2,150	27	7,3	
Jul 30	14 45 22,2	-11 03 15	1,799	2,149	28	7,4	
Ago 9	14 56 53,0	-12 36 37	1,909	2,149	28	7,6	

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

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V	
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$			
<b>5 ASTREA 2025</b>							
Mar	12	17 13 55,9	-17 04 36	2,283	2,527	23	11,9
Mar	22	17 21 58,6	-16 53 20	2,172	2,547	23	11,8
Abr	1	17 27 39,9	-16 37 48	2,064	2,567	22	11,7
Abr	11	17 30 43,7	-16 19 26	1,963	2,587	20	11,5
Abr	21	17 30 59,5	-15 59 41	1,871	2,607	18	11,4
May	1	17 28 22,0	-15 39 57	1,793	2,627	15	11,2
May	11	17 23 00,9	-15 21 41	1,733	2,646	12	11,0
May	21	17 15 23,7	-15 06 14	1,695	2,666	8	10,8
May	31	17 06 14,4	-14 54 53	1,682	2,684	4	10,6
Jun	10	16 56 34,2	-14 48 57	1,696	2,703	3	10,6
Jun	20	16 47 26,5	-14 49 25	1,736	2,721	7	10,9
Jun	30	16 39 46,4	-14 56 59	1,802	2,739	10	11,1
Jul	10	16 34 14,8	-15 11 47	1,891	2,757	13	11,4
Jul	20	16 31 11,1	-15 33 15	1,999	2,774	16	11,6
Jul	30	16 30 40,6	-16 00 26	2,122	2,791	18	11,8
Ago	9	16 32 38,4	-16 32 02	2,257	2,807	19	12,0
Ago	19	16 36 51,3	-17 06 30	2,400	2,823	20	12,2
Ago	29	16 43 05,9	-17 42 25	2,548	2,839	21	12,3
Set	8	16 51 07,8	-18 18 19	2,699	2,854	21	12,4
<b>6 HEBE 2025</b>							
May	21	21 56 50,4	-07 13 44	1,964	2,226	27	10,0
May	31	22 09 07,0	-06 43 28	1,828	2,204	27	9,9
Jun	10	22 20 03,5	-06 26 12	1,694	2,182	27	9,7
Jun	20	22 29 26,0	-06 25 46	1,566	2,161	26	9,4
Jun	30	22 36 55,3	-06 46 35	1,444	2,140	24	9,2
Jul	10	22 42 12,1	-07 32 53	1,332	2,120	22	8,9
Jul	20	22 44 58,4	-08 48 06	1,233	2,100	19	8,6
Jul	30	22 44 58,5	-10 33 47	1,150	2,081	15	8,3
Ago	9	22 42 13,5	-12 47 03	1,085	2,063	10	8,0
Ago	19	22 37 05,2	-15 19 31	1,043	2,046	5	7,7
Ago	29	22 30 22,2	-17 57 14	1,025	2,029	4	7,6
Set	8	22 23 22,8	-20 23 12	1,031	2,014	9	7,8
Set	18	22 17 30,3	-22 23 15	1,060	2,000	14	8,0

		(coordenadas J2000 a 0 <sup>h</sup> de TU)					
Fecha	ascen. recta	declinación	distancia (ua)		Ángulo de fase	mag. V	
			a Tierra	al Sol			
	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>''</sup> )	$\Delta$	$r$	$\beta$ (°)		
Set	28	22 13 57,9	-23 48 47	1,109	1,987	19	8,3
Oct	8	22 13 33,4	-24 37 33	1,174	1,976	23	8,5
Oct	18	22 16 30,0	-24 51 54	1,252	1,965	26	8,7
Oct	28	22 22 41,2	-24 35 41	1,338	1,957	28	8,9
Nov	7	22 31 45,9	-23 53 20	1,431	1,949	29	9,1
Nov	17	22 43 15,7	-22 48 56	1,528	1,943	30	9,3
Nov	27	22 56 45,1	-21 25 42	1,628	1,939	31	9,4
<b>8 FLORA 2025</b>							
Ene	1	12 02 30,2	+05 04 41	1,905	2,316	25	11,0
Ene	11	12 08 24,4	+05 04 44	1,796	2,332	23	10,8
Ene	21	12 11 43,1	+05 24 10	1,694	2,348	21	10,6
Ene	31	12 12 08,0	+06 03 50	1,603	2,363	19	10,5
Feb	10	12 09 29,3	+07 02 38	1,527	2,378	15	10,2
Feb	20	12 03 54,8	+08 16 43	1,471	2,392	11	10,0
Mar	2	11 55 52,2	+09 39 21	1,438	2,406	7	9,8
Mar	12	11 46 16,8	+11 01 01	1,432	2,419	4	9,7
Mar	22	11 36 21,8	+12 12 00	1,454	2,431	6	9,8
Abr	1	11 27 21,4	+13 04 44	1,502	2,443	10	10,1
Abr	11	11 20 18,3	+13 35 03	1,575	2,455	14	10,3
Abr	21	11 15 48,7	+13 42 40	1,667	2,465	17	10,6
May	1	11 14 04,9	+13 29 26	1,775	2,475	20	10,8
May	11	11 15 03,1	+12 58 08	1,894	2,485	22	11,0
May	21	11 18 26,8	+12 11 55	2,022	2,494	23	11,2
May	31	11 23 57,1	+11 13 22	2,154	2,502	24	11,4
Jun	10	11 31 15,3	+10 04 43	2,288	2,509	24	11,5
<b>9 METIS 2025</b>							
Feb	10	15 20 43,9	-14 24 32	2,380	2,570	23	11,4
Feb	20	15 28 50,1	-14 52 48	2,255	2,579	22	11,2
Mar	2	15 34 51,4	-15 12 45	2,131	2,589	22	11,1
Mar	12	15 38 28,0	-15 24 33	2,013	2,598	20	10,9
Mar	22	15 39 24,1	-15 28 29	1,904	2,606	18	10,8
Abr	1	15 37 27,6	-15 24 49	1,808	2,614	16	10,6
Abr	11	15 32 39,5	-15 14 06	1,729	2,622	12	10,4
Abr	21	15 25 19,2	-14 57 24	1,671	2,629	8	10,1

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

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
May 1	15 16 04,7	-14 36 26	1,639	2,636	4	9,9
May 11	15 05 55,9	-14 14 07	1,633	2,642	1	9,7
May 21	14 56 00,4	-13 54 00	1,655	2,648	5	10,0
May 31	14 47 20,5	-13 39 40	1,704	2,653	10	10,2
Jun 10	14 40 45,0	-13 34 09	1,776	2,658	13	10,5
Jun 20	14 36 39,9	-13 39 05	1,868	2,662	16	10,7
Jun 30	14 35 13,4	-13 54 52	1,976	2,666	19	10,9
Jul 10	14 36 22,4	-14 21 00	2,095	2,669	20	11,1
Jul 20	14 39 53,7	-14 56 09	2,222	2,672	22	11,3
Jul 30	14 45 33,7	-15 38 49	2,354	2,674	22	11,4
Ago 9	14 53 07,9	-16 27 19	2,487	2,676	22	11,5

**10 HYGIEA 2025**

Ene 1	01 19 34,2	+12 31 21	3,121	3,470	16	11,7
Ene 11	01 24 00,0	+12 43 13	3,272	3,473	16	11,8
Set 29	06 21 29,3	+25 03 21	3,293	3,456	17	11,8
Oct 9	06 26 42,9	+24 59 19	3,143	3,452	17	11,7
Oct 19	06 30 03,5	+24 55 42	2,997	3,448	16	11,6
Oct 29	06 31 17,7	+24 52 58	2,859	3,443	15	11,4
Nov 8	06 30 17,0	+24 51 10	2,732	3,438	13	11,3
Nov 18	06 26 58,4	+24 49 57	2,622	3,433	11	11,1
Nov 28	06 21 29,0	+24 48 32	2,533	3,428	8	10,9
Dic 8	06 14 11,2	+24 45 47	2,470	3,422	5	10,7
Dic 18	06 05 40,8	+24 40 42	2,435	3,416	2	10,4
Dic 28	05 56 45,6	+24 32 45	2,432	3,410	2	10,5

**12 VICTORIA 2025**

Ago 9	02 43 09,8	+22 20 06	1,785	2,069	29	11,4
Ago 19	02 54 04,6	+23 01 57	1,697	2,094	29	11,3
Ago 29	03 02 31,5	+23 29 27	1,609	2,118	27	11,2
Set 8	03 08 05,1	+23 41 26	1,526	2,143	25	11,0
Set 18	03 10 23,1	+23 36 29	1,448	2,168	23	10,9
Set 28	03 09 08,8	+23 12 43	1,381	2,194	19	10,7
Oct 8	03 04 26,5	+22 28 48	1,329	2,219	15	10,5
Oct 18	02 56 45,8	+21 24 53	1,297	2,244	10	10,3
Oct 28	02 47 05,2	+20 03 57	1,287	2,270	5	10,0

(coordenadas J2000 a 0 <sup>h</sup> de TU)							
Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V	
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$			
Nov 7	02 36 50,5	+18 32 58	1,305	2,295	2	9,9	
Nov 17	02 27 28,1	+17 01 27	1,350	2,320	6	10,2	
Nov 27	02 20 09,1	+15 39 00	1,421	2,345	11	10,6	
Dic 7	02 15 37,5	+14 32 53	1,516	2,369	15	10,9	
Dic 17	02 14 06,1	+13 46 29	1,630	2,393	18	11,2	
Dic 27	02 15 30,4	+13 20 10	1,759	2,417	20	11,4	
<b>14 IRENE 2025</b>							
Ene 1	07 00 08,9	+27 00 53	1,482	2,462	2	9,6	
Ene 11	06 49 08,0	+27 53 58	1,472	2,445	4	9,7	
Ene 21	06 38 50,7	+28 37 09	1,491	2,428	9	9,9	
Ene 31	06 30 39,1	+29 09 01	1,535	2,411	13	10,2	
Feb 10	06 25 33,9	+29 30 29	1,600	2,394	17	10,4	
Feb 20	06 24 01,9	+29 43 32	1,681	2,377	20	10,6	
Mar 2	06 26 04,7	+29 49 57	1,775	2,361	23	10,7	
Mar 12	06 31 29,1	+29 50 43	1,876	2,345	24	10,9	
Mar 22	06 39 50,8	+29 46 04	1,982	2,330	25	11,0	
Abr 1	06 50 45,3	+29 35 32	2,089	2,315	26	11,1	
<b>16 PSYCHE 2025</b>							
Set 8	05 03 36,1	+19 28 45	2,404	2,583	23	11,3	
Set 18	05 13 06,8	+19 28 56	2,285	2,591	23	11,2	
Set 28	05 20 35,3	+19 24 15	2,167	2,599	22	11,0	
Oct 8	05 25 42,9	+19 15 50	2,055	2,608	21	10,9	
Oct 18	05 28 12,8	+19 04 42	1,950	2,617	19	10,7	
Oct 28	05 27 50,9	+18 51 53	1,857	2,627	16	10,5	
Nov 7	05 24 36,0	+18 38 15	1,780	2,637	13	10,3	
Nov 17	05 18 41,7	+18 24 34	1,723	2,648	9	10,1	
Nov 27	05 10 41,9	+18 11 38	1,691	2,658	5	9,9	
Dic 7	05 01 34,0	+18 00 31	1,687	2,669	2	9,7	
Dic 17	04 52 25,4	+17 52 31	1,710	2,681	4	9,9	
Dic 27	04 44 23,4	+17 49 10	1,762	2,693	8	10,2	
<b>18 MELPOMENE 2025</b>							
Ene 1	12 40 13,8	-00 39 56	2,492	2,695	21	11,5	
Ene 11	12 46 54,6	-00 44 42	2,364	2,707	21	11,4	
Ene 21	12 51 38,6	-00 33 19	2,239	2,719	20	11,3	

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

Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$		
Ene 31	12 54 09,1	-00 04 22	2,120	2,729	19	11,1
Feb 10	12 54 12,3	+00 42 46	2,012	2,739	16	10,9
Feb 20	12 51 42,9	+01 47 14	1,920	2,749	13	10,7
Mar 2	12 46 45,1	+03 06 25	1,849	2,757	10	10,5
Mar 12	12 39 41,7	+04 35 01	1,802	2,765	6	10,3
Mar 22	12 31 13,5	+06 05 38	1,783	2,771	3	10,1
Abr 1	12 22 14,0	+07 30 00	1,794	2,777	5	10,2
Abr 11	12 13 44,1	+08 40 28	1,833	2,782	8	10,5
Abr 21	12 06 35,6	+09 32 06	1,898	2,787	12	10,7
May 1	12 01 25,1	+10 02 45	1,985	2,790	15	10,9
May 11	11 58 32,7	+10 12 40	2,090	2,793	17	11,1
May 21	11 58 01,0	+10 03 52	2,208	2,795	19	11,3
May 31	11 59 43,2	+09 38 46	2,335	2,796	20	11,4
Jun 10	12 03 27,7	+08 59 56	2,467	2,796	21	11,6
Jun 20	12 08 58,8	+08 09 52	2,600	2,795	21	11,7

**27 EUTERPE 2025**

May 21	21 48 47,4	-14 05 34	2,380	2,670	22	12,2
May 31	21 55 34,5	-13 37 05	2,239	2,660	22	12,0
Jun 10	22 00 26,2	-13 18 52	2,103	2,649	21	11,8
Jun 20	22 03 07,9	-13 12 41	1,973	2,637	19	11,6
Jun 30	22 03 23,8	-13 20 09	1,854	2,625	17	11,4
Jul 10	22 01 04,0	-13 41 52	1,750	2,612	14	11,2
Jul 20	21 56 08,6	-14 17 06	1,663	2,599	11	10,9
Jul 30	21 48 51,2	-15 03 20	1,599	2,585	7	10,7
Ago 9	21 39 49,2	-15 55 48	1,560	2,571	2	10,3
Ago 19	21 29 58,5	-16 48 32	1,548	2,556	3	10,3
Ago 29	21 20 27,1	-17 35 33	1,563	2,540	7	10,6
Set 8	21 12 23,6	-18 12 00	1,603	2,525	12	10,8
Set 18	21 06 38,7	-18 35 22	1,665	2,508	15	11,0
Set 28	21 03 43,0	-18 44 51	1,745	2,492	18	11,2
Oct 8	21 03 46,9	-18 40 45	1,839	2,474	21	11,4
Oct 18	21 06 42,4	-18 24 02	1,942	2,457	23	11,5
Oct 28	21 12 15,5	-17 55 29	2,052	2,439	24	11,7
Nov 7	21 20 06,6	-17 15 53	2,164	2,421	24	11,8

(coordenadas J2000 a 0 <sup>h</sup> de TU)							
Fecha	ascen. recta $\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	declinación $\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	distancia (ua)		Ángulo de fase $\beta$ (°)	mag. V	
			a Tierra $\Delta$	al Sol $r$			
<b>29 AMPHITRITE 2025</b>							
Ene	1	10 20 45,0	+16 40 05	1,751	2,492	18	10,1
Ene	11	10 18 06,5	+16 56 28	1,665	2,500	15	9,9
Ene	21	10 12 32,1	+17 23 33	1,599	2,508	11	9,7
Ene	31	10 04 26,2	+17 56 55	1,556	2,516	6	9,4
Feb	10	09 54 41,0	+18 30 19	1,541	2,524	2	9,2
Feb	20	09 44 28,3	+18 57 24	1,553	2,532	4	9,3
Mar	2	09 35 04,0	+19 13 28	1,593	2,539	8	9,6
Mar	12	09 27 35,4	+19 16 01	1,659	2,547	12	9,9
Mar	22	09 22 43,7	+19 04 58	1,746	2,555	16	10,1
Abr	1	09 20 45,0	+18 41 29	1,850	2,563	18	10,3
Abr	11	09 21 37,3	+18 07 03	1,968	2,571	20	10,5
Abr	21	09 25 04,1	+17 23 13	2,094	2,579	22	10,7
May	1	09 30 45,2	+16 31 04	2,227	2,587	23	10,9
May	11	09 38 19,8	+15 31 24	2,363	2,594	23	11,0
<b>433 EROS 2025</b>							
Jul	10	00 53 02,2	+14 25 22	1,343	1,682	37	13,7
Jul	20	01 07 59,8	+17 30 28	1,233	1,662	38	13,5
Jul	30	01 22 04,7	+20 40 18	1,125	1,639	38	13,3
Ago	9	01 35 00,5	+23 55 26	1,020	1,615	37	13,0
Ago	19	01 46 24,2	+27 16 39	0,920	1,589	37	12,7
Ago	29	01 55 37,6	+30 43 46	0,824	1,562	35	12,4
Set	8	02 01 53,0	+34 15 22	0,736	1,533	34	12,1
Set	18	02 04 05,9	+37 47 42	0,656	1,503	32	11,7
Set	28	02 00 54,1	+41 11 07	0,585	1,472	29	11,4
Oct	8	01 51 12,9	+44 08 39	0,525	1,440	27	11,0
Oct	18	01 34 53,8	+46 15 40	0,477	1,408	25	10,7
Oct	28	01 14 05,1	+47 04 37	0,441	1,375	25	10,5
Nov	7	00 53 42,2	+46 22 56	0,417	1,343	27	10,4
Nov	17	00 38 58,2	+44 22 24	0,403	1,311	31	10,4
Nov	27	00 33 11,9	+41 33 02	0,398	1,280	36	10,4
Dic	7	00 37 02,6	+38 28 33	0,399	1,251	41	10,5
Dic	17	00 49 27,4	+35 30 14	0,404	1,223	46	10,6
Dic	27	01 09 09,7	+32 48 03	0,411	1,199	50	10,7

## 6.4. 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: <https://ssd.jpl.nasa.gov>.

En setiembre de 2024 el número de cometas de corto periodo numerados ascendió a 486. 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 486P/Leonard 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 solo ocasionalmente.

**Cometas periódicos que pasan por su perihelio en 2025**

Nombre del cometa	mes	día	distancia a		elongación (°)
			Sol (ua)	Tierra (ua)	
48P/Johnson	Mar	11	2,01	2,93	18
21P/Giacobini-Zinner	Mar	29	1,01	2,01	2
49P/Arend-Rigaux	Mar	31	1,42	1,84	50
65P/Gunn	Jun	12	2,91	1,95	157
60P/Tsuchinshan 2	Jul	7	1,62	2,60	12
3D/Biela	Ago	16	0,88	1,81	15
47P/Ashbrook-Jackson	Oct	10	2,80	1,91	147
40P/Vaisala 1	Nov	8	1,82	2,61	30

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

### Cometas de largo periodo relevantes

Nombre	Código	P (años)	q (ua)	Q (ua)	e	i (°)
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

**75 primeros cometas de corto periodo**

Nombre	P (años)	T	q (ua)	e	$\omega$ (°)	$\Omega$ (°)	i (°)	Prim. apar.
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/ComasSola	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
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

## 75 primeros cometas de corto periodo

Nombre	P (años)	T	q (ua)	e	$\omega$ (°)	$\Omega$ (°)	i (°)	Prim. apar.
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/VanBiesbroeck	12,5	2003,77	2,415	0,552	134,1	149,0	6,6	1954
54P/deVico-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/duToit	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	7,38	54P/de Vico-Swift-NEAT
6,73	49P/Arend-Rigaux	14,78	66P/du Toit
8,34	47P/Ashbrook-Jackson	6,41	57P/duToit-Neujmin-Delporte
6,65	3D/Biela	3,30	2P/Encke
6,82	19P/Borrelly	7,40	4P/Faye
6,19	16P/Brooks 2	6,52	15P/Finlay
5,46	5D/Brorsen	6,42	37P/Forbes
70,52	23P/Brorsen-Metcalf	10,99	34D/Gale
6,45	67P/Churyumov-Gerasimenko	6,55	21P/Giacobini-Zinner
5,56	71P/Clark	5,30	26P/Grigg-Skjellerup
9,58	32P/Comas Sola	7,65	65P/Gunn
28,07	27P/Crommelin	75,91	1P/Halley
8,09	33P/Daniel	7,16	51P/Harrington
6,54	6P/d'Arrest	7,58	52P/Harrington-Abell
9,03	72P/Denning-Fujikawa	154,91	35P/Herschel-Rigollet

### 75 primeros cometas de corto periodo ordenados alfabéticamente

con indicación de su periodo en años

P	Nombre	P	Nombre
6,90	17P/Holmes	7,06	61P/Shajn-Schaldach
5,26	45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	11,47	56P/Slaughter-Burnham
8,25	58P/Jackson-Neujmin	8,50	74P/Smirnova-Chernykh
6,95	48P/Johnson	37,93	38P/Stephan-Oterma
9,52	59P/Kearns-Kwee	9,41	64P/Swift-Gehrels
10,84	68P/Klemola	7,67	69P/Taylor
6,67	75D/Kohoutek	5,57	9P/Tempel 1
7,05	70P/Kojima	5,37	10P/Tempel 2
6,40	22P/Kopff	5,96	11P/Tempel-Swift-LINEAR
18,27	28P/Neujmin 1	33,24	55P/Tempel-Tuttle
5,43	25D/Neujmin 2	6,39	62P/Tsuchinshan 1
10,77	42P/Neujmin 3	6,57	60P/Tsuchinshan 2
69,52	13P/Olbers	13,61	8P/Tuttle
20,13	39P/Oterma	5,42	41P/Tuttle-Giacobini-Kresak
6,72	18D/Perrine-Mrkos	10,98	40P/Vaisala 1
69,85	12P/Pons-Brooks	12,56	53P/Van Biesbroeck
6,32	7P/Pons-Winnecke	61,86	20D/Westphal
7,33	30P/Reinmuth 1	8,50	36P/Whipple
7,10	44P/Reinmuth 2	13,21	63P/Wild 1
8,26	24P/Schaumasse	5,44	46P/Wirtanen
14,70	29P/Schwassmann-Wachmann 1	8,75	14P/Wolf
8,74	31P/Schwassmann-Wachmann 2	6,13	43P/Wolf-Harrington
5,44	73P/Schwassmann-Wachmann 3		

## 6.5. Meteoros y lluvias de meteoros

Se llama **meteoro** 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 meteoro se hace visible es del orden de 100 km, aunque depende un poco de la velocidad de penetración, evaporándose a mayor altura las partículas que inciden a mayor velocidad. Las partículas de tamaño entre una décima de milímetro y algunos centímetros se consumen totalmente por encima de los 50 km, aunque el gran brillo y velocidad transversal de alguno de ellos los haga aparecer

próximos al observador. Solo algunos meteoroides, de masa inicial suficientemente grande ( $> 1$  kg) y de consistencia muy sólida (rocosa, metálica), llegan al suelo cada día, pasando a denominarse *meteoritos*.

En ciertas épocas del año se aprecia un ritmo de aparición de meteoros mayor que la media, procedentes de una región dada del cielo (*radiante*), lo que indica un origen común. Se habla de *lluvia de meteoros* y se las asocia a los restos que cometas que cruzan la órbita terrestre van dejando en sus sucesivos pasos cerca del Sol.

**Máximo** indica la fecha aproximada en que se da el máximo ritmo de lluvia de meteoros. Puede variar en un día de un año a otro.

**Visibilidad** es el periodo en que se suele observar la lluvia de meteoros con un ritmo significativamente superior al ritmo medio habitual.

**Radiante** es la dirección de la cual parece provenir la lluvia de meteoros en el instante del máximo.

**Velocidad** es la velocidad de choque de los meteoros con la parte alta de la atmósfera.

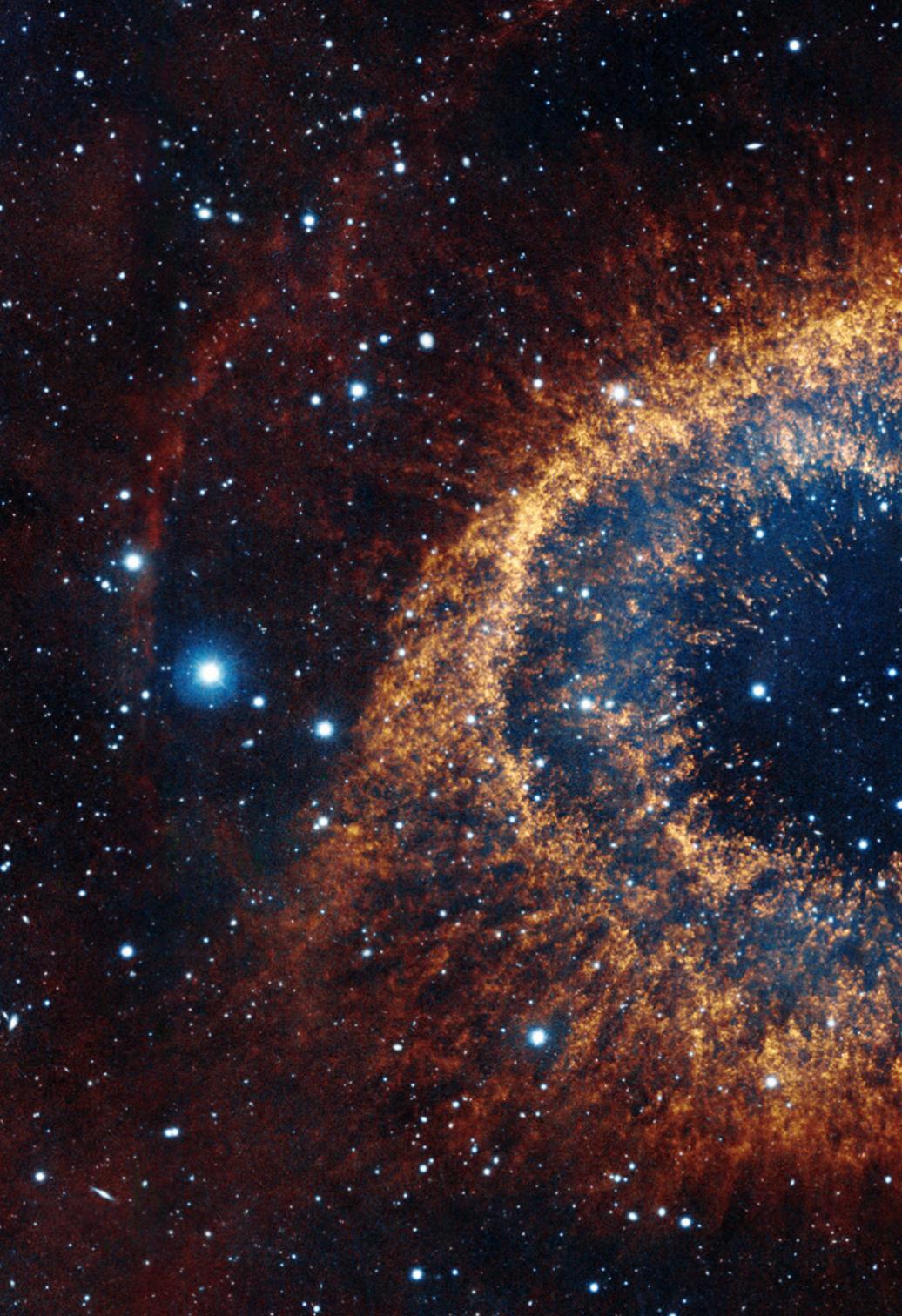
**Ritmo** es el ritmo máximo de caída de meteoros (expresado en meteoros por hora) que se observaría a simple vista en un lugar en el que el radiante se encontrara en el cénit y las condiciones de visibilidad fuesen óptimas. En la tabla, cuando el ritmo máximo es variable de un año a otro, se indican tanto el valor habitual como los valores extremos.

Las lluvias de meteoros diurnas (como las ariétidas y las  $\zeta$  perseidas, de junio) solo 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 meteorito en la atmósfera superior.

### Predicciones de las principales lluvias de meteoros 2025

nombre	máximo	visibilidad	radiante $\alpha$	$\delta$	velocidad ( $\text{km s}^{-1}$ )	ritmo cenital ( $\text{h}^{-1}$ )
cuadrántidas	3 Ene	28 Dic - 12 Ene	230°	49°	41	80 [60-200]
liridas	22 Abr	14 Abr - 30 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	5 [5-500+]
oriónidas	21 Oct	2 Oct - 7 Nov	95°	16°	66	20 [14-70]
leónidas	17 Nov	6 Nov - 30 Nov	152°	22°	71	10 [10-20+]
gemínidas	14 Dic	4 Dic - 20 Dic	112°	33°	35	150 [110-150]
úrsidas	22 Dic	17 Dic - 26 Dic	217°	76°	33	10 [10-50]

Datos obtenidos de <https://www.imo.net/files/meteor-shower/cal2025.pdf>



CAPÍTULO 7

# Estrellas y galaxias





**Nebulosa de la Hélice (NGC 7293). ESO/VISTA/J. Emerson.**

Nuestro planeta orbita en torno al Sol, que es una más de los cientos de miles de millones de estrellas que tiene nuestra galaxia, la Vía Láctea. Y esta a su vez es una más de los al menos miles de millones de galaxias que tiene el universo. Esto nos asigna un lugar muy pequeño en el cosmos, pero enriquece enormemente nuestro cielo nocturno, convirtiéndolo en un gran espectáculo.

Las estrellas que podemos observar de noche forman parte de la Vía Láctea, y en ellas se percibe un amplio rango de propiedades. La mayoría de las estrellas tienen masas del orden de la del Sol o menores, y por ello constituyen el grueso de la masa estelar de la Galaxia. Pero aquellas que tienen una masa mayor (hasta unas 120 veces la masa del Sol) tienen también una luminosidad mucho más alta, y generan el grueso de la luminosidad estelar del disco galáctico. Desde la Tierra, las estrellas más brillantes que veamos en el cielo se deberán o bien a que tienen una luminosidad muy alta, por ser estrellas masivas, o a que son estrellas muy cercanas a nosotros. Las características físicas de la estrella también se reflejan en su color: las estrellas más calientes, que alcanzan temperaturas de más de 30 000 K, tienen un brillo azulado, mientras que aquellas con temperaturas más bajas, del orden de los 2000-3000 K, tendrán un color rojizo. Esto a su vez puede relacionarse con la edad, ya que las estrellas pierden temperatura y tienen colores más rojizos al final de su vida, aunque hay estrellas, como las enanas rojas, que debido a su baja masa ya presentan ese color. Ejemplo de esto pueden ser el cúmulo de las Pléyades, con un intenso brillo azulado y una edad de apenas unos 100 millones de años, y Betelgeuse, en Orión, una supergigante roja que se halla ya en las etapas finales de su vida.

Otro rasgo destacado observacionalmente es que muchas estrellas no están aisladas, sino que forman sistemas dobles, triples o incluso con un mayor número de componentes. Observacionalmente es importante diferenciar entre los sistemas binarios (o triples, o cuádruples) en los que la vinculación es física, porque las estrellas están ligadas gravitacionalmente y orbitando en torno a un centro de masas común, y las dobles ópticas, que pueden aparecer muy cercanas en nuestro campo de visión pero que están en realidad a una amplia distancia una de la otra, y no están ligadas por la gravedad. El único sistema binario visible a simple vista es el de Mizar y Alcor, en la Osa Mayor (que a su vez son cada una de ellas otro sistema binario). Para discernir los demás es necesario el uso de telescopio, o incluso la aplicación de técnicas no visuales, como en el caso de las binarias eclipsantes, las astrométricas o las espectroscópicas. También son objetos de gran interés las estrellas

variables, en las que su brillo cambia en escalas de tiempo humanas, y por tanto de forma apreciable con un telescopio. Los motivos para que esto se produzcan son diversos, y en función de ello tenemos las variables eruptivas, pulsantes, rotantes, cataclísmicas, eclipsantes y de rayos X.

Muchas civilizaciones a lo largo de la historia han buscado dibujos y patrones formados por las estrellas del cielo nocturno, otorgándoles significado e incluyéndolos en sus leyendas y mitologías. A día de hoy sabemos que estos asterismos, o las áreas del cielo definidas por las constelaciones, no tienen significado físico, ya que estas estrellas no están realmente ligadas entre sí (salvo en casos de cúmulos, como el de las Pléyades). Aún así siguen usándose como referencia y siendo algunos de los elementos más atractivos del cielo nocturno, por lo que las principales se incluyen en este capítulo.

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es una galaxia espiral cuyo disco vemos en el cielo en forma de banda lechosa que lo atraviesa. Las manchas negras que se observan en esa banda se deben a la presencia de polvo en las nubes moleculares, en las que se están formando nuevas estrellas. El centro de la Galaxia se halla en la dirección de la constelación de Sagitario y, aunque el polvo nos impide verlo, sabemos que allí hay un agujero negro supermasivo, que llamamos Sgr A\*, y que tiene una masa de unos cuatro millones de masas solares. Más allá de la Vía Láctea existen otros miles de millones de galaxias, algunas de las cuales son visibles en nuestro cielo en forma de manchas difusas. Apenas hace un siglo desde que, en torno a 1920, Edwin Hubble usó las cefeidas (y sus propiedades, descubiertas por Henrietta Swan Leavitt) para medir las distancias a estas nebulosas y determinar que eran entidades externas a la Vía Láctea, y con ello ampliar enormemente las dimensiones del espacio tal como lo conocíamos. Algunas de estas galaxias externas son discernibles a simple vista, como las Nubes de Magallanes, que son realmente dos galaxias enanas, o incluso la galaxia de Andrómeda, nuestra principal compañera en el Grupo Local de galaxias y el objeto más lejano que podemos ver con el ojo desnudo. La observación de otras galaxias más lejanas, denominados objetos de cielo profundo, requiere instrumentación más potente. Su estudio es uno de los campos más punteros de la astrofísica en la actualidad.

## 7.1. 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 sexta ( $N^*$ ), que son 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.

**Constelaciones**

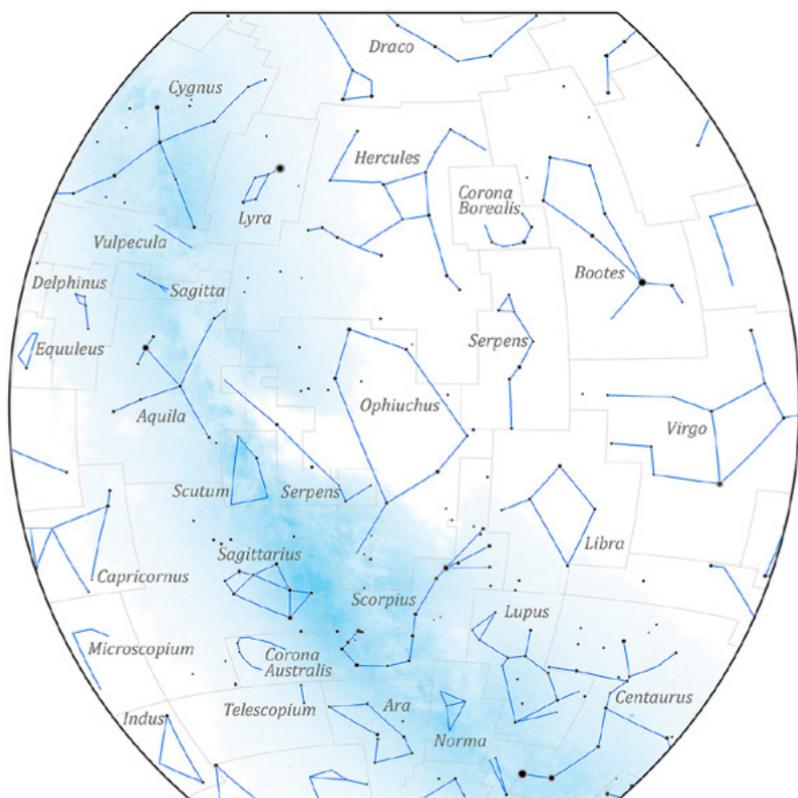
nombre latino	abr.	$\alpha$ (h)	$\delta$ ( $^{\circ}$ )	área ( $^{\circ}2$ )	$N^*$	traducción
Andromeda	And	1	40	722	100	Andrómeda
Antlia	Ant	10	-35	239	20	Máquina Neumática
Apus	Aps	16	-75	206	20	Ave del Paraíso
Aquarius	Aqr	23	-15	980	90	Acuario
Aquila	Aql	20	5	652	70	Águila
Ara	Ara	17	-55	237	30	Altar
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	Centaurio
Cepheus	Cep	22	70	588	60	Cefeo

## Constelaciones

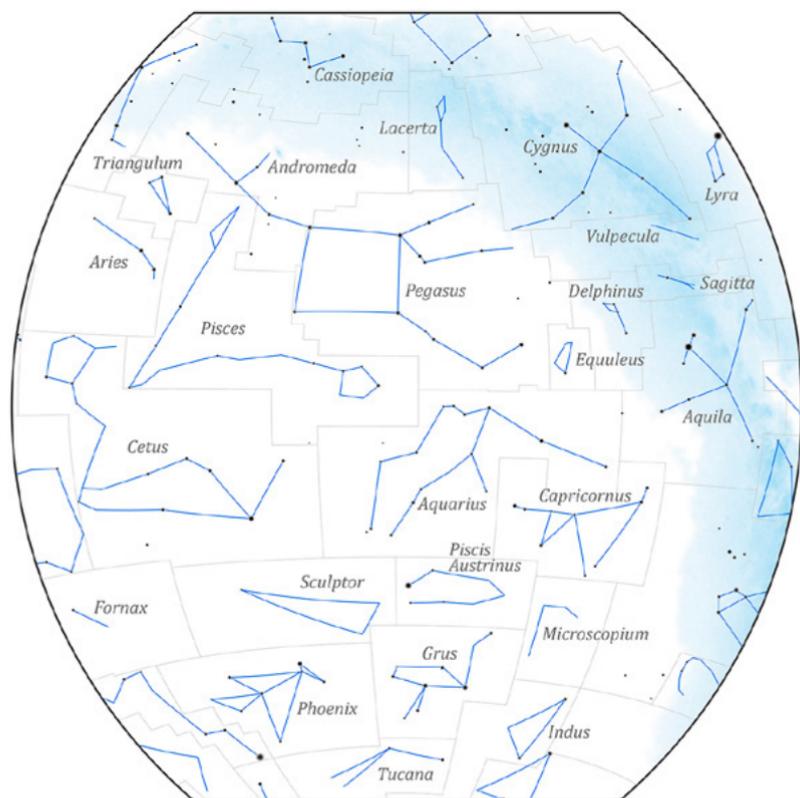
nombre latino	abr.	$\alpha$ (h)	$\delta$ (o)	área (o <sup>2</sup> )	N*	traducción
Cetus	Cet	2	-10	1231	100	Ballena
Chamaeleon	Cha	11	-80	132	20	Camaleón
Circinus	Cir	15	-60	93	20	Compás
Columba	Col	6	-35	270	40	Paloma
Coma Berenices	Com	13	20	386	50	Cabellera de Berenice
Corona Australis	CrA	19	-40	128	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
Cruce	Cru	12	-60	68	30	Cruz del Sur
Cygnus	Cyg	21	40	804	150	Cisne (Cruz del Norte)
Delphinus	Del	21	10	189	30	Delfín
Dorado	Dor	5	-65	179	20	Dorada
Draco	Dra	17	65	1083	80	Dragón
Equuleus	Equ	21	10	72	10	Caballo Menor
Eridanus	Eri	3	-20	1138	100	Erídano
Fornax	For	3	-30	398	35	Horno Químico
Gemini	Gem	7	20	514	70	Gemelos
Grus	Gru	22	-45	366	30	Grulla
Hercules	Her	17	30	1225	140	Hércules
Horologium	Hor	3	-60	249	20	Reloj
Hydra	Hya	10	-20	1303	130	Hidra Hembra
Hydrus	Hyi	2	-75	243	20	Hidra Macho
Indus	Ind	21	-55	294	20	Indio
Lacerta	Lac	22	45	201	35	Lagarto
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

## Constelaciones

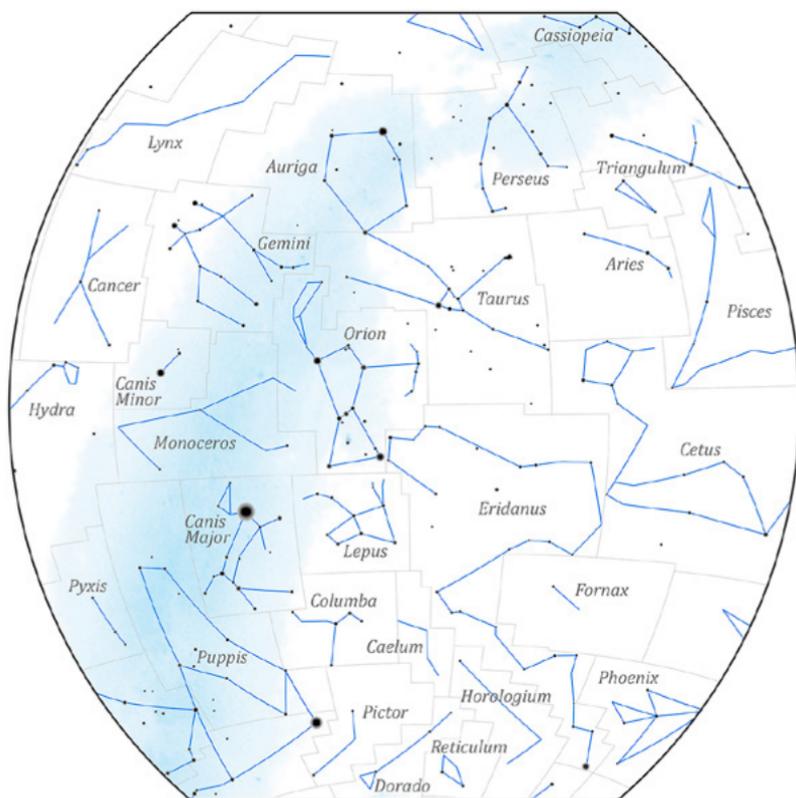
nombre latino	abr.	$\alpha$ (h)	$\delta$ ( $^{\circ}$ )	área ( $^{\circ}2$ )	N*	traducción
Monoceros	Mon	7	-5	482	85	Unicornio
Musca	Mus	12	-70	138	30	Mosca
Norma	Nor	16	-50	165	20	Escuadra
Octans	Oct	22	-85	291	35	Octante
Ophiuchus	Oph	17	0	948	100	Ofiuco
Orion	Ori	5	5	594	120	Orión
Pavo	Pav	20	-65	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



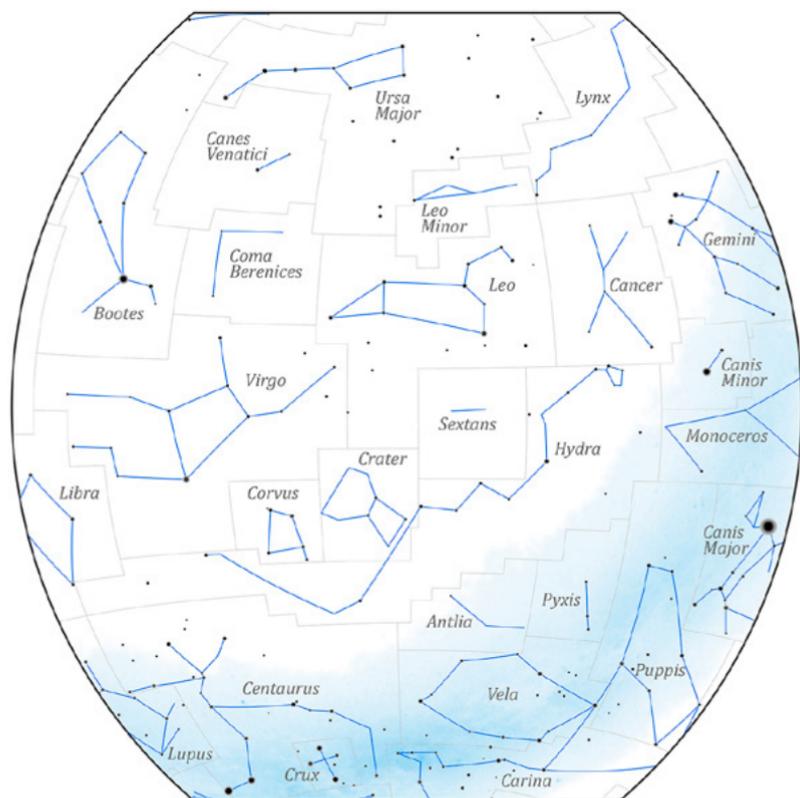
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^{\circ}$  y  $+65^{\circ}$ , y con ascensiones rectas desde 13 a 21 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



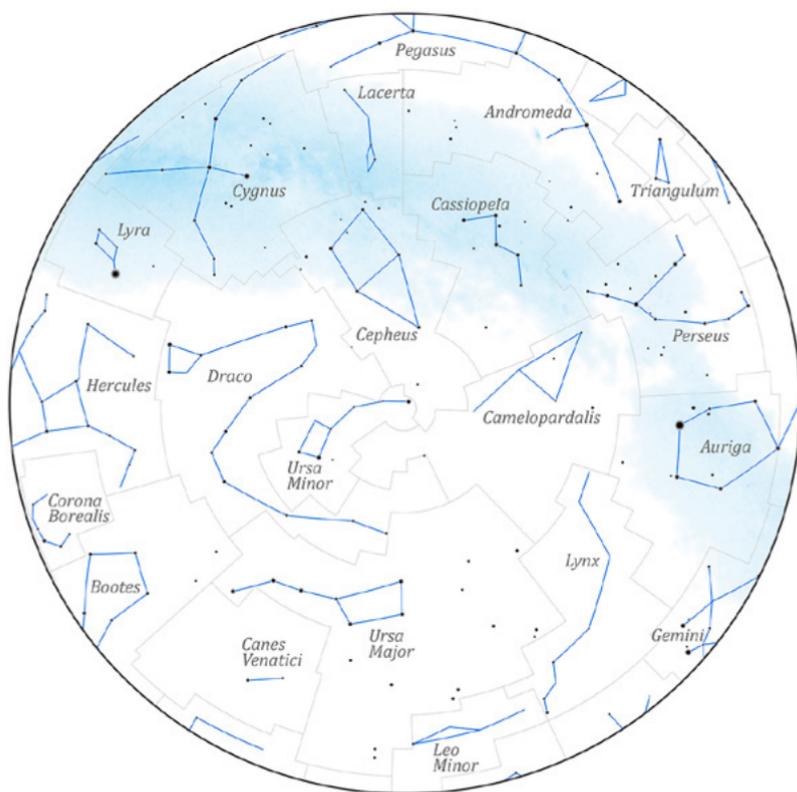
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^{\circ}$  y  $+65^{\circ}$ , y con ascensiones rectas desde 19 a 3 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



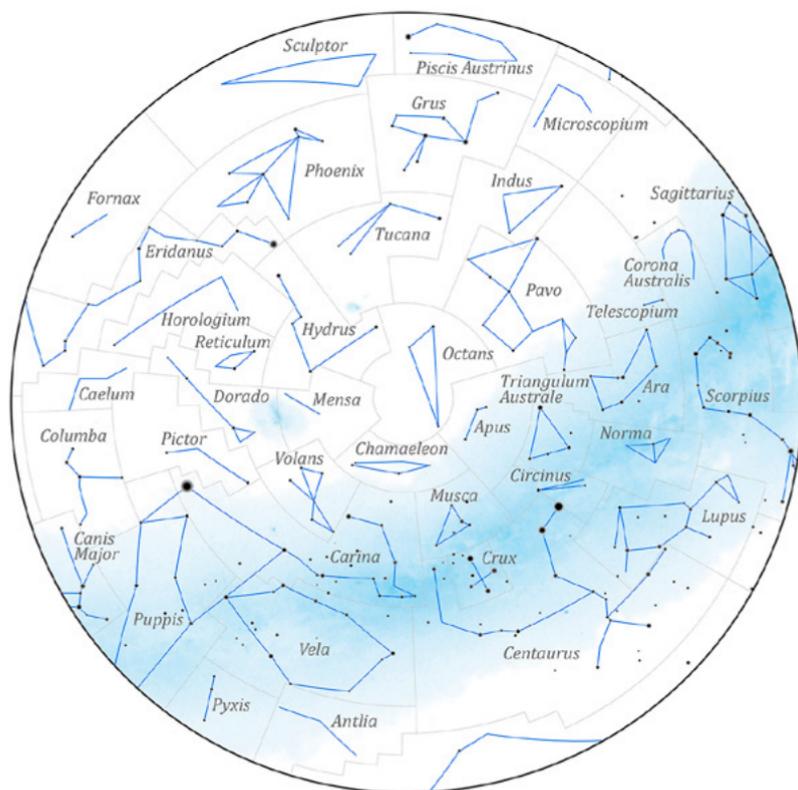
Esta proyección cubre las constelaciones que se encuentran entre las declinaciones de  $-65^\circ$  y  $+65^\circ$ , y con ascensiones rectas desde 1 a 9 horas, que corresponden a los bordes derecho e izquierdo de la figura, respectivamente.



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.

## 7.2. 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 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.

En esta 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), las coordenadas ecuatoriales (ascensión recta  $\alpha$  y declinación  $\delta$ ) y brillo (magn. V).

**Estrellas con nombre propio**

nombre	en constelación (Bayer)	$\alpha_{2000}$			$\delta_{2000}$		magn. V
		<sup>h</sup>	<sup>m</sup>	<sup>s</sup>	<sup>o</sup>	<sup>'</sup>	
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

## 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
Algol	$\beta$ Persei	03 08 10	+40 57	2,09
Alhena	$\gamma$ Geminorum	06 37 43	+16 24	1,93
Alioth	$\varepsilon$ Ursae Majoris	12 54 02	+55 58	1,76
Almac	$\gamma^1$ Andromedae	02 03 54	+42 20	2,10
Alnilam	$\varepsilon$ 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	$\varepsilon$ 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	$\varepsilon$ Pegasi	21 44 11	+09 53	2,38
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	$\varepsilon$ Bootis	14 44 59	+27 04	2,35
Kaus Australis	$\varepsilon$ 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

## Estrellas con nombre propio

nombre	en constelación (Bayer)	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	magn. V
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
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

La siguiente tabla contiene los nombres y posiciones de las nueve estrellas más brillantes del cúmulo abierto de las Pléyades. Varias de estas estrellas son binarias. Mérope está rodeada por la nebulosa de reflexión NGC 1435.

### Las Pléyades

nombre	designación	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	magn. V
	Flamstead	( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>''</sup> )	
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
Mérope	23 Tauri	3 46 20	23 56 54	4,16
Pléyone	28 Tauri	3 49 11	24 08 12	5,05
Táigete	19 Tauri	3 45 13	24 28 02	4,29

En el siguiente apartado se dan los 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 Agena.

### 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  $\sigma$  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  $\epsilon$  Meksuta
- 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:  $\alpha$  Anca
- Piscis Austrinus:  $\alpha$  Fomalhaut
- Sagittarius:  $\alpha$  Rucbat  $\beta$  Arkab  $\gamma^2$  Alnasl  $\delta$  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  $\eta$  Alcíone 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

### 7.3. Estrellas más cercanas

La estrella más cercana al Sol es Proxima Centauri, que se encuentra a 1,30 parsecs (4,2 años luz) de distancia. En la tabla siguiente figuran las estrellas conocidas más cercanas de 5 pc (unos 16 años luz). Cuando se trata de una estrella doble o múltiple solo 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), Proción ( $\alpha$  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.

En la tabla se indica la estrella con sus coordenadas ecuatoriales (ascensión recta  $\alpha$  y declinación  $\delta$ ), su brillo (magn. V), su magnitud absoluta, el tipo espectral y su distancia en parsecs.

**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 (Rígil 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

## Estrellas más cercanas

nombre	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$		magn.	magn.	tipo	dist.
	( <sup>h</sup>	<sup>m</sup> )	( <sup>°</sup>	<sup>'</sup> )	V	absol.	espec.	(pc)
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

## 7.4. 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 con mayor movimiento propio

nombre	const.	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>''</sup> )	mag. V	$\mu_{\alpha} \cos\delta$ , $\mu_{\delta}$ (" / año)
estrella de Barnard	Oph	17 57 48,5	+04 41 36	9,54	-0,80 10,33
estrella de Kapteyn	Pic	05 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	00 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	04 15 16,3	-07 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	01 08 16,4	+54 55 13	5,17	3,42 -1,60
BD+5°1668	CMi	07 27 24,5	+05 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	03 19 55,7	-43 04 11	4,26	3,04 0,73

## 7.5. Estrellas brillantes

En la siguiente 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.

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.

Para pasar de diferencia de magnitudes a razón de brillos se puede utilizar la tabla que figura en la página 470.

### Las 20 estrellas más brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	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
Rigil 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 *	-6,7	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 *	-5,1	M0	131
Hadar ( $\beta$ Cen)	14 03 49	-60 22	0,61 *	-5,4	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 *	-0,6	K5	20
Espiga ( $\alpha$ Vir)	13 25 12	-11 10	0,98 *	-3,5	B2	80
Antares ( $\alpha$ Sco A+B)	16 29 24	-26 26	1,06 *	-5,3	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 *	-8,7	A2p	990
Mimosa ( $\beta$ Cru)	12 47 43	-59 41	1,25 *	-3,9	B1	108

La siguiente tabla contiene las 172 estrellas conocidas más brillantes que  $V = 3$ , 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. 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  $t = (\text{día juliano} - 2\,451\,545)/365\,250$ .

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 brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	$\mu_\alpha \cos\delta, \mu_\delta$	$\pi$	$V$	$B-V$	tipo esp.
	( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	(""/milenio)	("")			
$\alpha$ 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
$\beta$ Hyi	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
$\alpha$ Hyi	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
$\alpha$ 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

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ ("/milenio)	$\pi$ (")	V	B-V	tipo esp.
$\eta$ 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
$\varepsilon$ 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
$\varepsilon$ 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
$\alpha$ 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

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ , $\mu_{\delta}$ ("/milenio)	$\pi$ (")	V	B-V	tipo esp.
$\rho$ 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
$\upsilon$ 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
$\delta$ 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
$\alpha$ 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
$\varepsilon$ 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
$\varepsilon$ 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

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ ("/milenio)	$\pi$ (")	V	B-V	tipo esp.
$\epsilon$ 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
$\alpha$ 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
$\eta$ 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
$\eta$ 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

## Estrellas brillantes

nombre	$\alpha_{2000}$			$\delta_{2000}$			$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$		$\pi$	V	B-V	tipo esp.
	( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )	( <sup>"</sup> )	( <sup>"</sup> /milenio)	( <sup>"</sup> )				
v 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
$\alpha$ 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

## 7.6. Estrellas dobles

Las estrellas dobles de la siguiente tabla han sido seleccionadas a partir del Washington Doble Star Catalog (<http://www.astro.gsu.edu/wds/>). 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.

**Estrellas dobles o múltiples**

nombre	compo- nentes	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	magnitudes		últ.	A.P.	separ.		paral.
		( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	prim.	sec.	(año)		( <sup>°</sup> )	( <sup>"</sup> )	
$\pi$ And	AB	00 36 53	+33 43 53	4,36	7,08	2020	174	36,2	0,006	
$\eta$ Cas	AB	00 49 06	+57 48 06	3,52	7,36	2023	328	13,5	0,169	
$\chi$ Cet		01 49 35	-10 41 35	4,69	6,81	2016	250	184,1	0,043	
$\gamma$ Ari	AB	01 53 32	+19 17 32	4,52	4,58	2022	0	7,3	0,020	
$\lambda$ Ari	AB	01 57 56	+23 35 56	4,80	6,65	2020	48	37,3	0,025	
$\gamma$ And	A,BC	02 03 54	+42 19 54	2,31	5,02	2021	63	9,5	0,008	
$\iota$ Cas	AB	02 29 04	+67 24 04	4,66	6,92	2022	231	3,0	0,025	
$\omega$ For		02 33 51	-28 13 51	4,95	7,71	2013	246	11,0	0,007	
$\theta$ Eri		02 58 16	-40 18 16	3,20	4,12	2020	90	8,2	0,020	
$\alpha$ For		03 12 05	-28 59 05	3,98	7,19	2017	301	5,4	0,071	
HD 21291		03 29 04	+59 56 04	4,23	7,80	2021	162	2,3	0,001	
$\eta$ Tau	AB	03 47 29	+24 06 29	2,83	6,27	2016	291	117,6	0,008	
f Eri	AB	03 48 36	-37 37 36	4,72	5,25	2020	216	8,2	0,020	
32 Eri	AB	03 54 18	-02 57 18	4,80	5,89	2021	349	6,9	0,009	
$\kappa$ Tau	AB	04 25 22	+22 17 22	4,22	5,29	2016	174	339,4	0,021	
$\theta$ Tau	AB	04 28 40	+15 52 40	3,41	3,94	2019	347	336,9	0,022	
HD 28527	AB	04 30 34	+16 11 34	4,78	6,54	2014	131	250,3	0,022	
83 Tau	AC	04 30 37	+13 43 37	4,75	6,09	2015	311	4,9	0,021	
88 Tau	AB	04 35 39	+10 09 39	4,27	7,84	2017	300	69,2	0,020	
$\sigma$ Tau		04 39 17	+15 55 17	4,69	5,09	2014	194	444,0	0,018	
$\tau$ Tau	AB	04 42 15	+22 57 15	4,24	7,02	2017	214	62,5	0,008	
$\beta$ Cam	AB	05 03 25	+60 26 25	4,12	7,44	2017	209	84,2	0,004	
$\beta$ Ori	A,BC	05 14 32	-08 12 32	0,30	6,80	2023	204	9,4	0,004	
23 Ori		05 22 50	+03 32 50	4,95	6,76	2019	29	32,0	0,002	
$\beta$ Lep	AB	05 28 15	-20 45 15	2,90	7,50	2021	12	2,7	0,021	
$\delta$ Ori	AC	05 32 00	-00 17 00	2,41	6,83	2023	0	51,8	--	
HD 36960	AB	05 35 03	-06 00 03	4,70	5,51	2021	224	35,3	0,003	
$\lambda$ Ori	AB	05 35 08	+09 56 08	3,51	5,45	2021	43	4,1	0,003	

## Estrellas dobles o múltiples

nombre	compo- nentes	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	magnitudes		últ. obs.	A.P.	separ.	paral.
		( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	prim.	sec.	(año)	( <sup>°</sup> )	( <sup>"</sup> )	( <sup>"</sup> )
$\iota$ Ori	AB	05 35 26	-05 54 26	2,77	7,73	2023	141	11,2	0,002
$\sigma$ Ori	AB,D	05 38 45	-02 36 45	3,76	6,56	2021	84	13,5	0,003
$\sigma$ Ori	AB,E	05 38 45	-02 36 45	3,76	6,34	2021	62	42,0	0,003
$\sigma$ Ori	AB,F	05 38 45	-02 36 45	3,76	7,86	2016	324	208,0	0,003
$\zeta$ Ori	AB	05 40 46	-01 56 46	1,88	3,70	2022	167	2,5	0,004
[BCB89] IRS2		05 41 46	-01 54 46	4,60	7,10	1998	284	4,7	--
$\gamma$ Lep	AB	05 44 28	-22 26 28	3,64	6,28	2019	349	95,5	0,112
$\theta$ Aur	AB	05 59 43	+37 12 43	2,60	7,20	2022	302	3,7	0,020
$\zeta$ CMa	AB	06 20 19	-30 03 19	2,96	7,81	2016	340	169,6	0,009
$\varepsilon$ Mon	AB	06 23 46	+04 35 46	4,42	6,64	2021	29	12,1	0,024
$\beta$ Mon	AB	06 28 49	-07 01 49	4,62	5,00	2022	132	7,3	0,005
$\beta$ Mon	AC	06 28 49	-07 01 49	4,62	5,39	2022	127	9,5	0,005
15 Mon	AB	06 40 59	+09 53 59	4,66	7,79	2018	214	3,0	0,004
e Gem	AB	06 54 39	+13 10 39	4,75	7,80	2018	145	7,3	0,034
$\varepsilon$ CMa		06 58 38	-28 58 38	1,50	7,50	2008	162	7,9	0,008
$\zeta$ Gem	AC	07 04 07	+20 34 07	4,05	7,66	2017	347	101,5	0,003
$\pi$ Pup	AB	07 17 09	-37 05 09	2,89	7,94	2015	213	69,0	0,004
$\upsilon$ Pup	AB	07 18 18	-36 44 18	4,66	5,07	2011	102	241,6	0,003
$\eta$ CMa		07 24 06	-29 18 06	2,45	6,77	2020	287	177,0	0,002
$\rho$ Gem	AE	07 29 07	+31 47 07	4,16	7,82	2001	355	755,4	0,055
$\alpha$ Gem	AB	07 34 36	+31 53 36	1,93	2,97	2023	51	5,4	--
p Pup	AD	07 35 23	-28 22 23	4,62	7,88	1999	209	530,5	0,014
k Pup	AB	07 38 50	-26 48 50	4,40	4,62	2016	318	9,9	0,008
$\gamma$ Vel	AB	08 09 32	-47 20 32	1,79	4,14	2017	221	41,2	0,003
$\gamma$ Vel	AC	08 09 32	-47 20 32	1,79	7,26	2015	152	62,4	0,003
$\gamma$ Vel	BC	08 09 29	-47 20 29	4,14	7,26	2015	113	60,9	0,003
$\zeta$ Cnc	AB,C	08 12 13	+17 38 13	4,92	5,85	2020	64	6,0	0,041
$\iota$ Cnc		08 46 42	+28 45 42	4,13	5,99	2021	308	30,6	0,009
$\varepsilon$ Hya	AB,C	08 46 47	+06 25 47	3,49	6,66	2022	313	2,7	0,025
38 Lyn	AB	09 18 51	+36 48 51	3,92	6,09	2022	222	2,5	0,025
27 Hya	AB	09 20 29	-09 33 29	4,91	7,03	2015	211	229,1	0,015
$\tau$ Hya		09 29 09	-02 46 09	4,64	7,28	2016	4	65,7	0,055
$\zeta$ Leo	AB	10 16 41	+23 25 41	3,46	6,03	2016	337	335,4	0,014
$\gamma$ Leo	AB	10 19 58	+19 50 58	2,37	3,64	2022	127	4,7	0,025
54 Leo		10 55 37	+24 44 37	4,48	6,30	2021	113	6,6	0,011
$\alpha$ UMa	AC	11 03 44	+61 45 44	2,02	7,19	2020	206	384,5	0,027
$\chi$ Hya	AC	11 05 20	-27 17 20	4,96	6,10	1960	46	18,0	0,023
$\chi$ Hya	AD	11 05 20	-27 17 20	4,96	5,70	2015	88	507,3	0,023

## Estrellas dobles o múltiples

nombre	compo- nentes	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	magnitudes		últ.	A.P.	separ.		paral.
		( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	prim.	sec.	(año)		( <sup>°</sup> )	( <sup>"</sup> )	
$\xi$ UMa	AB	11 18 11	+31 31 11	4,33	4,80	2022	144	2,4	--	
55 UMa	AD	11 19 08	+38 11 08	4,77	7,25	2015	128	500,1	0,016	
$\iota$ Leo	AB	11 23 55	+10 31 55	4,06	6,71	2021	92	2,3	0,042	
$\gamma$ Crt		11 24 53	-17 41 53	4,09	7,90	2017	92	4,4	0,038	
$\gamma$ Vir	AB	12 41 40	-01 26 40	3,48	3,53	2022	354	3,2	0,083	
$\alpha$ CVn	AB	12 56 02	+38 19 02	2,85	5,52	2022	229	19,0	0,033	
$\zeta$ UMa	AB	13 23 56	+54 55 56	2,23	3,88	2022	153	14,4	0,038	
$\zeta$ UMa	AC	13 23 56	+54 55 56	2,23	4,01	2020	73	715,5	0,038	
$\zeta$ UMa	AD	13 23 56	+54 55 56	2,23	7,62	2020	103	498,1	0,038	
3 Cen		13 51 50	-32 59 50	4,50	5,97	2015	105	7,8	0,010	
$\kappa$ Boo	AB	14 13 29	+51 47 29	4,53	6,62	2023	236	13,7	0,020	
$\iota$ Boo	AB	14 16 10	+51 22 10	4,76	7,39	2023	33	38,8	0,034	
$\pi$ Boo	AB	14 40 44	+16 25 44	4,88	5,79	2023	114	5,4	0,010	
$\epsilon$ Boo	AB	14 44 59	+27 04 59	2,58	4,81	2022	345	2,8	0,015	
$\alpha$ Lib	AB	14 50 53	-16 02 53	2,74	5,19	2016	314	230,8	0,043	
$\xi$ Boo	AB	14 51 23	+19 06 23	4,76	6,95	2023	292	5,0	0,149	
$\delta$ Boo	AB	15 15 30	+33 18 30	3,56	7,89	2023	78	104,7	0,027	
$\mu$ Lup	AC	15 18 32	-47 52 32	4,93	6,34	2019	128	23,1	0,010	
$\mu$ Lup	BC	15 18 32	-47 52 32	4,99	6,34	2020	128	23,3	--	
$\mu$ Boo	AB	15 24 29	+37 22 29	4,33	7,09	2020	171	109,2	0,027	
$\delta$ Ser	AB	15 34 48	+10 32 48	4,17	5,16	2022	171	4,0	0,014	
d Lup		15 35 53	-44 57 53	4,68	6,51	2016	12	2,1	0,008	
7 CrB		15 39 23	+36 38 23	4,96	5,91	2021	306	6,4	0,006	
$\eta$ Lup	AB	16 00 07	-38 23 07	3,37	7,50	2020	19	14,8	0,008	
$\xi$ Sco	AC	16 04 22	-11 22 22	4,84	7,30	2023	42	8,0	--	
$\xi$ Sco	BC	16 04 22	-11 22 22	4,86	7,30	2023	45	7,1	0,036	
$\beta$ Sco	AC	16 05 26	-19 48 26	2,59	4,52	2021	19	13,7	--	
$\beta$ Sco	AD	16 05 26	-19 48 26	2,62	7,50	2016	30	519,2	--	
v Sco	AC	16 11 60	-19 27 60	4,35	6,60	2021	336	41,4	0,007	
$\sigma$ Ser		16 22 04	+01 01 04	4,09	7,82	2016	132	43,0	0,036	
$\epsilon$ Nor		16 27 11	-47 33 11	4,51	6,12	2016	334	22,9	0,005	
$\alpha$ Sco		16 29 24	-26 25 24	0,96	5,40	2019	277	2,7	0,006	
$\mu$ Sco	AH	16 51 52	-38 02 52	2,97	3,51	2015	72	346,8	--	
$\alpha$ Her	AB	17 14 39	+14 23 39	3,48	5,40	2023	103	4,7	0,009	
$\rho$ Her	AB	17 23 41	+37 08 41	4,50	5,40	2023	320	3,9	0,008	
HD 158614	AD	17 30 24	-01 03 24	3,82	5,50	2002	317	16,9	0,061	
v Dra		17 32 16	+55 10 16	4,87	4,90	2021	311	62,3	0,033	
$\theta$ Sco	AB	17 37 19	-42 59 19	1,97	5,36	1991	315	6,5	0,011	

## Estrellas dobles o múltiples

nombre	compo- nentes	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	magnitudes		últ. obs.	A.P.	separ.	paral.
		( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	( <sup>°</sup> <sup>'</sup> <sup>"</sup> )	prim.	sec.	(año)	( <sup>°</sup> )	( <sup>"</sup> )	( <sup>"</sup> )
$\psi$ Dra	AB	17 41 56	+72 08 56	4,60	5,59	2020	16	30,2	0,044
95 Her		18 01 30	+21 35 30	4,85	5,20	2021	257	6,4	0,008
70 Oph	AB	18 05 27	+02 30 27	4,22	6,17	2021	120	6,7	0,197
$\varepsilon$ Lyr	AB,CD	18 44 20	+39 40 20	4,67	4,56	2021	172	209,4	0,021
$\zeta$ Lyr	AD	18 44 46	+37 36 46	4,34	5,62	2021	150	43,9	--
$\beta$ Lyr	AB	18 50 05	+33 21 05	3,63	6,69	2023	148	45,5	0,004
$\theta$ Ser	AB	18 56 13	+04 12 13	4,59	4,93	2019	106	22,4	--
$\theta$ Ser	AC	18 56 13	+04 12 13	4,59	6,78	2007	58	421,0	--
$\theta$ Ser	BC	18 56 15	+04 12 15	4,93	6,78	2007	56	405,6	0,025
$\lambda$ Aql	AB	19 06 15	-04 52 15	3,50	7,50	2009	30	12,5	0,026
$\beta$ Sgr		19 22 38	-44 27 38	3,98	7,21	2015	76	28,3	0,008
$\alpha$ Vul		19 28 42	+24 39 42	4,61	5,93	2016	28	427,7	0,011
$\beta$ Cyg	AB	19 30 43	+27 57 43	3,19	4,68	2023	53	34,5	--
$\delta$ Cyg	AB	19 44 58	+45 07 58	2,89	6,27	2022	214	2,8	0,020
$\varepsilon$ Dra		19 48 10	+70 16 10	4,01	6,87	2022	20	3,5	0,021
HD 189340	AC	19 59 47	-09 57 47	4,40	7,83	2016	296	10,3	0,047
31 Cyg	AC	20 13 38	+46 44 38	3,93	6,97	2023	173	106,7	0,003
31 Cyg	AD	20 13 38	+46 44 38	3,93	4,83	2016	322	336,7	0,003
30 Cyg	DC	20 13 18	+46 48 18	4,83	6,97	2003	150	431,8	0,005
b03 Cyg	AB	20 14 32	+36 48 32	4,96	6,71	2016	155	215,3	0,025
$\alpha$ Cap	AE	20 18 03	-12 32 03	3,66	4,34	2016	290	381,2	0,030
$\beta$ Cap	AB	20 21 01	-14 46 01	3,15	6,08	2016	266	205,2	0,008
$\rho$ Cap	AD	20 28 52	-17 48 52	4,97	6,68	2011	150	258,7	0,033
$\gamma$ Del	AB	20 46 39	+16 07 39	4,36	5,03	2022	266	8,8	0,028
$\gamma$ Equ	AD	21 10 20	+10 07 20	4,70	6,06	2016	152	335,0	0,028
$\mu$ Cyg	AD	21 44 09	+28 44 09	4,75	6,94	2019	43	197,0	0,045
$\xi$ Cep	AB	22 03 47	+64 37 47	4,45	6,40	2022	275	7,9	0,034
$\zeta$ Aqr	AB	22 28 50	-00 01 50	4,34	4,49	2022	155	2,4	0,035
$\delta$ Cep	AC	22 29 10	+58 24 10	4,21	6,11	2018	191	41,0	0,004
$\beta$ PsA	AC	22 31 30	-32 20 30	4,28	7,12	2016	172	30,4	0,022
$\theta$ Gru	AC	23 06 53	-43 31 53	4,45	7,77	2002	292	158,9	0,025
o Cep	AB	23 18 37	+68 06 37	4,97	7,28	2022	223	3,4	0,016
V* AR Cas	AC	23 30 02	+58 32 02	4,87	7,23	2018	269	75,0	0,005
$\iota$ Phe	AC	23 35 05	-42 36 05	4,70	6,68	2010	212	294,1	0,012
HD 222226		23 38 56	-45 36 56	4,74	7,05	2010	122	804,4	0,015
$\sigma$ Cas	AB	23 59 01	+55 45 01	4,99	7,24	2021	326	3,1	0,003

## 7.7. Estrellas variables

La idea de *estrella variable* como toda aquella 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 $\beta$ Lyrae, $\beta$ Persei y estrellas Mira

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  $\beta$  Lyr y  $\beta$  Per pueden encontrarse en las siguientes tablas.

### Mínimos de $\beta$ Lyrae ( Sheliak ) en 2025

fecha y hora							
Ene 1	14 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	Abr 2	05 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	Jul 1	19 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	Oct 13	09 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>
Ene 14	13 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>	Abr 15	04 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	Jul 14	18 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	Oct 26	07 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>
Ene 27	12 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	Abr 28	02 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	Jul 27	17 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	Nov 8	06 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
Feb 9	10 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	May 11	01 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	Ago 9	15 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	Nov 21	05 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>
Feb 22	09 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	May 23	24 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	Ago 22	14 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	Dic 4	03 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
Mar 7	08 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>	Jun 5	22 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Set 4	13 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	Dic 17	02 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
Mar 20	06 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Jun 18	21 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Set 17	11 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	Dic 30	01 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>
				Set 30	10 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>		

### Mínimos de $\beta$ Persei ( Algol ) en 2025

fecha y hora							
Ene 2	07 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	Abr 1	05 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	Jul 1	23 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	Oct 1	17 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>
Ene 5	04 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	Abr 4	02 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	Jul 4	20 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	Oct 4	14 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>
Ene 8	01 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	Abr 6	22 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	Jul 7	17 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	Oct 7	10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
Ene 10	22 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	Abr 9	19 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Jul 10	13 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	Oct 10	07 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>
Ene 13	19 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	Abr 12	16 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	Jul 13	10 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Oct 13	04 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>
Ene 16	15 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	Abr 15	13 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Jul 16	07 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	Oct 16	01 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>
Ene 19	12 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	Abr 18	10 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Jul 19	04 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	Oct 18	22 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>
Ene 22	09 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	Abr 21	07 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	Jul 22	01 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	Oct 21	19 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>
Ene 25	06 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Abr 24	03 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	Jul 24	21 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	Oct 24	15 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>
Ene 28	03 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Abr 27	00 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	Jul 27	18 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	Oct 27	12 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>
Ene 31	00 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	Abr 29	21 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	Jul 30	15 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	Oct 30	09 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>
Feb 2	20 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	May 2	18 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Ago 2	12 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>	Nov 2	06 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>
Feb 5	17 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	May 5	15 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	Ago 5	09 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	Nov 5	03 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>
Feb 8	14 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	May 8	11 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	Ago 8	05 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	Nov 7	23 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>
Feb 11	11 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	May 11	08 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Ago 11	02 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	Nov 10	20 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>
Feb 14	08 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	May 14	05 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	Ago 13	23 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	Nov 13	17 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>
Feb 17	04 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	May 17	02 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Ago 16	20 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Nov 16	14 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>
Feb 20	01 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	May 19	23 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Ago 19	17 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	Nov 19	11 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
Feb 22	22 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	May 22	20 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	Ago 22	13 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	Nov 22	07 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>
Feb 25	19 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	May 25	16 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup>	Ago 25	10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Nov 25	04 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>
Feb 28	16 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	May 28	13 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Ago 28	07 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	Nov 28	01 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>

Mínimos de  $\beta$  Persei ( Algol ) en 2025

fecha y hora							
Mar 3	13 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	May 31	10 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	Ago 31	04 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	Nov 30	22 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>
Mar 6	09 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	Jun 3	07 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	Set 3	01 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	Dic 3	19 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>
Mar 9	06 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	Jun 6	04 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	Set 5	22 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	Dic 6	16 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>
Mar 12	03 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	Jun 9	00 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	Set 8	18 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	Dic 9	12 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>
Mar 15	00 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	Jun 11	21 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	Set 11	15 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	Dic 12	09 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>
Mar 17	21 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	Jun 14	18 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	Set 14	12 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	Dic 15	06 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>
Mar 20	17 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	Jun 17	15 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	Set 17	09 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	Dic 18	03 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>
Mar 23	14 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	Jun 20	12 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup>	Set 20	06 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	Dic 21	00 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
Mar 26	11 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	Jun 23	08 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	Set 23	02 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	Dic 23	20 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>
Mar 29	08 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	Jun 26	05 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	Set 25	23 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	Dic 26	17 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>
		Jun 29	02 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	Set 28	20 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	Dic 29	14 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>

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 siguiente.

## Estrellas variables de largo periodo tipo Mira

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	magnitud		periodo (días)	fecha del máximo
			máx.	mín.		
W Cet	00 02	-14 41	7,1	14,8	351	Ene 03
SS Vir	12 25	+00 48	6,0	9,6	354	Ene 03
U Cet	02 34	-13 09	6,8	13,4	234	Ene 04
T Hya	08 56	-09 08	6,7	13,2	289	Ene 19
S UMa	12 44	+61 06	7,0	12,4	226	Ene 25
R Leo	09 48	+11 26	4,4	11,3	312	Ene 26
R Hya	13 30	-23 17	3,0	11,0	389	Feb 19
R Vir	12 38	+06 59	6,0	12,1	145	Feb 23
T UMa	12 36	+59 29	6,6	13,4	256	Mar 06
RT Cyg	19 44	+48 47	6,4	12,7	190	Mar 14
R Vul	21 04	+23 49	7,0	14,3	136	Mar 19
R Gem	07 07	+22 42	6,0	14,0	369	Mar 27
U Her	16 26	+18 54	6,5	13,4	406	Abr 10
R Ser	15 51	+15 08	5,2	14,4	356	Abr 11
R And	00 24	+38 35	5,8	14,9	409	Abr 14
T Her	18 09	+31 01	6,8	13,9	165	Abr 16
o Cet	02 19	-02 59	2,0	10,0	331	Abr 21
R Dra	16 33	+66 45	6,7	13,0	245	May 13
R Sgr	19 17	-19 18	6,7	12,8	268	May 16

### Estrellas variables de largo periodo tipo Mira

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magnitud		periodo (días)	fecha del máximo
			máx.	mín.		
U Ori	05 56	+20 10	4,8	12,6	372	Jun 09
R LMi	09 46	+34 31	6,3	13,2	371	Jun 17
V Oph	16 27	-12 26	7,3	11,6	297	Jun 17
U Cyg	20 20	+47 54	5,9	12,1	462	Jun 24
R Cnc	08 17	+11 44	6,1	11,8	361	Jun 26
R Boo	14 37	+26 44	6,2	12,1	223	Jun 27
V Cas	23 12	+59 42	6,9	13,4	228	Jun 29
R Cyg	19 37	+50 12	6,1	14,2	426	Jun 30
X Oph	18 38	+08 50	5,9	9,2	334	Jul 04
R Cas	23 58	+51 24	4,7	13,5	430	Jul 08
S CMi	07 33	+08 19	6,6	13,2	332	Jul 12
S CrB	15 21	+31 22	5,8	14,1	360	Jul 12
S Peg	23 21	+08 55	7,1	13,8	319	Jul 17
S Vir	13 33	-07 12	6,3	13,2	377	Jul 23
R Aql	19 06	+08 14	5,5	12,0	284	Jul 30
R Peg	23 07	+10 33	6,9	13,8	378	Ago 07
$\chi$ Cyg	19 51	+32 55	3,3	14,2	406	Ago 14
R Crv	12 20	-19 15	6,7	14,4	317	Ago 16
V CrB	15 50	+39 34	6,9	12,6	357	Ago 16
R Lep	05 00	-14 48	5,5	11,7	432	Ago 28
R Tri	02 37	+34 16	5,4	12,6	266	Ago 29
R UMa	10 45	+68 47	6,7	13,4	301	Set 19
R Aur	05 17	+53 35	6,7	13,9	457	Set 23
V Mon	06 23	-02 12	6,0	13,7	333	Set 29
W And	02 18	+44 18	6,7	14,6	395	Oct 10
T Cas	00 23	+55 48	6,9	13,0	444	Oct 10
S Her	16 52	+14 56	6,4	13,8	307	Nov 01
R Aqr	23 44	-15 17	5,8	12,4	386	Nov 07
T Cep	21 10	+68 29	5,2	11,3	388	Nov 13

### Estrellas variables de otros tipos

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magnitud		periodo (días)	tipo
			máx.	mín.		
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

## Estrellas variables de otros tipos

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	magnitud		periodo (días)	tipo
			máx.	mín.		
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 <sub>2</sub> 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 UrsaeMajoris
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

## Estrellas variables de otros tipos

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	magnitud		periodo (días)	tipo
			máx.	mín.		
$\delta$ 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
$\chi$ 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

## 7.8. 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:

$$\begin{aligned} \text{tiempo sidéreo local} &= \text{tiempo sidéreo en Greenwich a } 0^{\text{h}} \text{ TU} \\ & \quad (\text{ver } \textit{Tablas de tiempos} \text{ en la página 108}) \\ & \quad + 1,0027379 * \text{Tiempo Universal} \\ & \quad + \text{longitud } \lambda \text{ del lugar (positiva al Este)} \end{aligned}$$

ángulo horario de la Polar:

$$H = \text{tiempo sidéreo local} - \text{asc. recta de la Polar } (\alpha)$$

distancia polar de la Polar:  $p$

(ver tabla de *posición aparente de la Polar* en la página 360)

$$\text{declinación de la Polar: } \delta = 90^\circ - p$$

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 (ver *Tablas de tiempos* en la página 108) 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:

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

acimut: 
$$a = - p \operatorname{sen} H / \cos h$$

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 este 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 esta 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 predécimos mediante la fórmula dada anteriormente.

El acimut de la Polar vendrá dado por:

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

mediéndose 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
$\delta_{2000}$	$89^\circ15'50''.7923$ ICRS
$\mu_\alpha \cos \delta$	0,04448" por año
$\mu_\delta$	-0,01185" por año
Velocidad radial	-17,4 km s <sup>-1</sup>
$\pi$	0,00754"
Distancia	133 pc
$V$	2,005
$B-V$	0,586
$M_V$	-3,6
Tipo espectral (HIC)	F7 Ib-IIv C
Variabilidad	Cefeida clásica ( $\delta$ Cephei)
Periodo	3,97 días
Variación en magnitud	< 0,05
Masa	$\sim 4,5 M_\odot$
	$\alpha$ UMi, SAO 308
Nombres alternativos	PPM 431, FK5 907 HIP 11767, Tyc 4628-237-1 HD 8890, IRAS 01490+8901
Sistema estelar	Polar Aa, Polar Ab, Polar B

## Posiciones aparentes de la Polar

En las siguientes tablas se da la ascensión recta ( $\alpha$ ) y la distancia polar ( $p$ ) para cada fecha del año.

Distancia polar:  $p = 90^\circ - \delta$ , siendo  $\delta$  la declinación de la Polar.

El valor mínimo de la distancia polar  $p$  se dará alrededor del año 2100, en que tendrá un valor de unos 27'.

**Posición aparente de la Polar en 2025  
en su culminación superior en Greenwich**

día	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	$\alpha$	$p$										
	3 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	37'						
1	63 <sup>s</sup> 19	33",4	69 <sup>s</sup> 40	28",5	76 <sup>s</sup> 12	29",4	32 <sup>s</sup> 65	35",8	20 <sup>s</sup> 39	44",5	40 <sup>s</sup> 56	53",1
2	61 <sup>s</sup> 59	33",1	67 <sup>s</sup> 28	28",5	74 <sup>s</sup> 26	29",6	32 <sup>s</sup> 10	36",1	20 <sup>s</sup> 67	44",8	41 <sup>s</sup> 46	53",4
3	59 <sup>s</sup> 86	32",9	65 <sup>s</sup> 32	28",5	72 <sup>s</sup> 61	29",8	31 <sup>s</sup> 54	36",3	20 <sup>s</sup> 83	45",0	42 <sup>s</sup> 37	53",6
4	58 <sup>s</sup> 08	32",6	63 <sup>s</sup> 53	28",5	71 <sup>s</sup> 14	30",0	30 <sup>s</sup> 88	36",5	20 <sup>s</sup> 88	45",3	43 <sup>s</sup> 36	53",9
5	56 <sup>s</sup> 33	32",4	61 <sup>s</sup> 88	28",5	69 <sup>s</sup> 79	30",1	30 <sup>s</sup> 11	36",8	20 <sup>s</sup> 87	45",6	44 <sup>s</sup> 45	54",1
6	54 <sup>s</sup> 68	32",3	60 <sup>s</sup> 30	28",5	68 <sup>s</sup> 47	30",3	29 <sup>s</sup> 21	37",0	20 <sup>s</sup> 85	45",9	45 <sup>s</sup> 66	54",4
7	53 <sup>s</sup> 18	32",1	58 <sup>s</sup> 72	28",5	67 <sup>s</sup> 10	30",4	28 <sup>s</sup> 24	37",2	20 <sup>s</sup> 89	46",2	47 <sup>s</sup> 01	54",7
8	51 <sup>s</sup> 83	31",9	57 <sup>s</sup> 04	28",4	65 <sup>s</sup> 62	30",5	27 <sup>s</sup> 22	37",5	21 <sup>s</sup> 01	46",5	48 <sup>s</sup> 48	54",9
9	50 <sup>s</sup> 58	31",8	55 <sup>s</sup> 24	28",4	64 <sup>s</sup> 02	30",6	26 <sup>s</sup> 21	37",8	21 <sup>s</sup> 25	46",9	50 <sup>s</sup> 06	55",2
10	49 <sup>s</sup> 36	31",6	53 <sup>s</sup> 28	28",3	62 <sup>s</sup> 29	30",8	25 <sup>s</sup> 26	38",1	21 <sup>s</sup> 63	47",2	51 <sup>s</sup> 69	55",4
11	48 <sup>s</sup> 09	31",4	51 <sup>s</sup> 19	28",3	60 <sup>s</sup> 48	30",9	24 <sup>s</sup> 41	38",4	22 <sup>s</sup> 15	47",5	53 <sup>s</sup> 34	55",6
12	46 <sup>s</sup> 70	31",1	49 <sup>s</sup> 00	28",3	58 <sup>s</sup> 64	31",1	23 <sup>s</sup> 69	38",7	22 <sup>s</sup> 80	47",9	54 <sup>s</sup> 97	55",8
13	45 <sup>s</sup> 14	30",9	46 <sup>s</sup> 77	28",3	56 <sup>s</sup> 80	31",3	23 <sup>s</sup> 11	39",1	23 <sup>s</sup> 54	48",2	56 <sup>s</sup> 53	56",0
14	43 <sup>s</sup> 40	30",7	44 <sup>s</sup> 56	28",3	55 <sup>s</sup> 03	31",5	22 <sup>s</sup> 68	39",4	24 <sup>s</sup> 34	48",5	57 <sup>s</sup> 99	56",1
15	41 <sup>s</sup> 51	30",5	42 <sup>s</sup> 40	28",4	53 <sup>s</sup> 37	31",7	22 <sup>s</sup> 36	39",7	25 <sup>s</sup> 15	48",8	59 <sup>s</sup> 35	56",3
16	39 <sup>s</sup> 53	30",3	40 <sup>s</sup> 34	28",4	51 <sup>s</sup> 83	31",9	22 <sup>s</sup> 12	40",1	25 <sup>s</sup> 93	49",0	60 <sup>s</sup> 63	56",4
17	37 <sup>s</sup> 50	30",1	38 <sup>s</sup> 39	28",5	50 <sup>s</sup> 42	32",2	21 <sup>s</sup> 94	40",4	26 <sup>s</sup> 64	49",3	61 <sup>s</sup> 88	56",6
18	35 <sup>s</sup> 49	30",0	36 <sup>s</sup> 56	28",6	49 <sup>s</sup> 14	32",4	21 <sup>s</sup> 75	40",6	27 <sup>s</sup> 27	49",5	63 <sup>s</sup> 16	56",8
19	33 <sup>s</sup> 53	29",9	34 <sup>s</sup> 82	28",7	47 <sup>s</sup> 95	32",7	21 <sup>s</sup> 52	40",9	27 <sup>s</sup> 81	49",7	64 <sup>s</sup> 55	57",0
20	31 <sup>s</sup> 65	29",8	33 <sup>s</sup> 16	28",8	46 <sup>s</sup> 84	32",9	21 <sup>s</sup> 22	41",1	28 <sup>s</sup> 28	50",0	66 <sup>s</sup> 11	57",2
21	29 <sup>s</sup> 86	29",7	31 <sup>s</sup> 54	28",9	45 <sup>s</sup> 75	33",1	20 <sup>s</sup> 83	41",4	28 <sup>s</sup> 75	50",2	67 <sup>s</sup> 87	57",5
22	28 <sup>s</sup> 17	29",6	29 <sup>s</sup> 90	28",9	44 <sup>s</sup> 64	33",3	20 <sup>s</sup> 36	41",7	29 <sup>s</sup> 29	50",5	69 <sup>s</sup> 82	57",7
23	26 <sup>s</sup> 55	29",5	28 <sup>s</sup> 21	29",0	43 <sup>s</sup> 46	33",5	19 <sup>s</sup> 83	42",0	29 <sup>s</sup> 97	50",9	71 <sup>s</sup> 91	57",9
24	24 <sup>s</sup> 96	29",4	26 <sup>s</sup> 42	29",0	42 <sup>s</sup> 20	33",7	19 <sup>s</sup> 33	42",2	30 <sup>s</sup> 86	51",2	74 <sup>s</sup> 04	58",0
25	23 <sup>s</sup> 38	29",3	24 <sup>s</sup> 49	29",1	40 <sup>s</sup> 82	33",9	18 <sup>s</sup> 94	42",6	31 <sup>s</sup> 99	51",5	76 <sup>s</sup> 11	58",1
26	21 <sup>s</sup> 74	29",2	22 <sup>s</sup> 44	29",1	39 <sup>s</sup> 35	34",1	18 <sup>s</sup> 74	42",9	33 <sup>s</sup> 31	51",8	78 <sup>s</sup> 04	58",2
27	20 <sup>s</sup> 00	29",1	20 <sup>s</sup> 30	29",2	37 <sup>s</sup> 86	34",3	18 <sup>s</sup> 80	43",3	34 <sup>s</sup> 73	52",1	79 <sup>s</sup> 81	58",3
28	18 <sup>s</sup> 11	28",9	18 <sup>s</sup> 16	29",3	36 <sup>s</sup> 42	34",6	19 <sup>s</sup> 08	43",7	36 <sup>s</sup> 14	52",3	81 <sup>s</sup> 44	58",4
29	16 <sup>s</sup> 06	28",8			35 <sup>s</sup> 15	34",9	19 <sup>s</sup> 51	44",0	37 <sup>s</sup> 45	52",5	83 <sup>s</sup> 00	58",5
30	13 <sup>s</sup> 88	28",6			34 <sup>s</sup> 10	35",2	19 <sup>s</sup> 98	44",3	38 <sup>s</sup> 61	52",7	84 <sup>s</sup> 54	58",6
31	11 <sup>s</sup> 63	28",6			33 <sup>s</sup> 29	35",5			39 <sup>s</sup> 64	52",9		

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 2025  
en su culminación superior en Greenwich**

día	Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	$\alpha$	$p$										
	3 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	37'	3 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	37'
1	26 <sup>s</sup> 12	58",8	29 <sup>s</sup> 42	60",3	36 <sup>s</sup> 56	57",0	31 <sup>s</sup> 97	49",7	7 <sup>s</sup> 59	39",2	73 <sup>s</sup> 34	28",0
2	27 <sup>s</sup> 79	58",9	31 <sup>s</sup> 74	60",3	38 <sup>s</sup> 80	56",8	33 <sup>s</sup> 45	49",4	7 <sup>s</sup> 99	38",8	73 <sup>s</sup> 20	27",7
3	29 <sup>s</sup> 57	59",1	34 <sup>s</sup> 13	60",3	40 <sup>s</sup> 94	56",6	34 <sup>s</sup> 78	49",0	8 <sup>s</sup> 43	38",5	73 <sup>s</sup> 18	27",4
4	31 <sup>s</sup> 46	59",2	36 <sup>s</sup> 54	60",3	42 <sup>s</sup> 96	56",4	36 <sup>s</sup> 00	48",7	9 <sup>s</sup> 00	38",2	73 <sup>s</sup> 20	27",1
5	33 <sup>s</sup> 48	59",4	38 <sup>s</sup> 94	60",2	44 <sup>s</sup> 84	56",1	37 <sup>s</sup> 16	48",4	9 <sup>s</sup> 74	37",9	73 <sup>s</sup> 14	26",7
6	35 <sup>s</sup> 59	59",5	41 <sup>s</sup> 28	60",1	46 <sup>s</sup> 59	55",9	38 <sup>s</sup> 33	48",1	10 <sup>s</sup> 64	37",6	72 <sup>s</sup> 89	26",3
7	37 <sup>s</sup> 77	59",6	43 <sup>s</sup> 52	60",0	48 <sup>s</sup> 25	55",7	39 <sup>s</sup> 61	47",8	11 <sup>s</sup> 62	37",2	72 <sup>s</sup> 42	25",9
8	39 <sup>s</sup> 97	59",7	45 <sup>s</sup> 63	59",9	49 <sup>s</sup> 90	55",5	41 <sup>s</sup> 05	47",5	13 <sup>s</sup> 37	36",4	71 <sup>s</sup> 73	25",5
9	42 <sup>s</sup> 15	59",8	47 <sup>s</sup> 62	59",8	51 <sup>s</sup> 63	55",3	42 <sup>s</sup> 67	47",3	13 <sup>s</sup> 96	36",0	70 <sup>s</sup> 88	25",1
10	44 <sup>s</sup> 27	59",8	49 <sup>s</sup> 50	59",7	53 <sup>s</sup> 50	55",1	44 <sup>s</sup> 41	47",0	14 <sup>s</sup> 34	35",6	69 <sup>s</sup> 94	24",8
11	46 <sup>s</sup> 28	59",9	51 <sup>s</sup> 35	59",6	55 <sup>s</sup> 54	55",0	46 <sup>s</sup> 17	46",7	14 <sup>s</sup> 54	35",2	68 <sup>s</sup> 98	24",5
12	48 <sup>s</sup> 18	59",9	53 <sup>s</sup> 23	59",5	57 <sup>s</sup> 74	54",8	47 <sup>s</sup> 84	46",3	14 <sup>s</sup> 62	34",8	68 <sup>s</sup> 05	24",2
13	49 <sup>s</sup> 97	59",9	55 <sup>s</sup> 22	59",5	60 <sup>s</sup> 02	54",6	49 <sup>s</sup> 37	46",0	14 <sup>s</sup> 64	34",4	67 <sup>s</sup> 17	23",9
14	51 <sup>s</sup> 69	60",0	57 <sup>s</sup> 38	59",5	62 <sup>s</sup> 28	54",3	50 <sup>s</sup> 69	45",6	14 <sup>s</sup> 65	34",0	66 <sup>s</sup> 37	23",6
15	53 <sup>s</sup> 42	60",0	59 <sup>s</sup> 70	59",4	64 <sup>s</sup> 46	54",0	51 <sup>s</sup> 84	45",2	14 <sup>s</sup> 70	33",7	65 <sup>s</sup> 64	23",4
16	55 <sup>s</sup> 22	60",1	62 <sup>s</sup> 16	59",4	66 <sup>s</sup> 48	53",8	52 <sup>s</sup> 83	44",8	14 <sup>s</sup> 81	33",4	64 <sup>s</sup> 95	23",1
17	57 <sup>s</sup> 16	60",2	64 <sup>s</sup> 69	59",2	68 <sup>s</sup> 33	53",5	53 <sup>s</sup> 74	44",5	14 <sup>s</sup> 99	33",1	64 <sup>s</sup> 29	22",8
18	59 <sup>s</sup> 27	60",3	67 <sup>s</sup> 20	59",1	70 <sup>s</sup> 02	53",2	54 <sup>s</sup> 60	44",1	15 <sup>s</sup> 24	32",8	63 <sup>s</sup> 60	22",5
19	61 <sup>s</sup> 56	60",4	69 <sup>s</sup> 62	59",0	71 <sup>s</sup> 59	52",9	55 <sup>s</sup> 48	43",8	15 <sup>s</sup> 53	32",4	62 <sup>s</sup> 85	22",2
20	64 <sup>s</sup> 00	60",4	71 <sup>s</sup> 88	58",8	73 <sup>s</sup> 09	52",6	56 <sup>s</sup> 42	43",5	15 <sup>s</sup> 81	32",1	62 <sup>s</sup> 01	21",8
21	66 <sup>s</sup> 49	60",5	73 <sup>s</sup> 98	58",6	74 <sup>s</sup> 58	52",4	57 <sup>s</sup> 43	43",2	16 <sup>s</sup> 07	31",7	61 <sup>s</sup> 02	21",5
22	68 <sup>s</sup> 95	60",5	75 <sup>s</sup> 94	58",4	76 <sup>s</sup> 11	52",1	58 <sup>s</sup> 52	42",9	16 <sup>s</sup> 25	31",3	59 <sup>s</sup> 90	21",2
23	71 <sup>s</sup> 30	60",4	77 <sup>s</sup> 80	58",3	77 <sup>s</sup> 72	51",9	59 <sup>s</sup> 67	42",6	16 <sup>s</sup> 31	30",9	58 <sup>s</sup> 63	20",9
24	73 <sup>s</sup> 49	60",4	79 <sup>s</sup> 62	58",1	79 <sup>s</sup> 41	51",7	60 <sup>s</sup> 86	42",3	16 <sup>s</sup> 24	30",5	57 <sup>s</sup> 24	20",5
25	75 <sup>s</sup> 52	60",3	81 <sup>s</sup> 47	58",0	81 <sup>s</sup> 19	51",4	62 <sup>s</sup> 04	41",9	16 <sup>s</sup> 01	30",1	55 <sup>s</sup> 78	20",2
26	77 <sup>s</sup> 44	60",3	83 <sup>s</sup> 39	57",9	83 <sup>s</sup> 03	51",2	63 <sup>s</sup> 18	41",5	15 <sup>s</sup> 65	29",7	54 <sup>s</sup> 31	20",0
27	79 <sup>s</sup> 29	60",3	85 <sup>s</sup> 40	57",8	84 <sup>s</sup> 91	50",9	64 <sup>s</sup> 24	41",2	15 <sup>s</sup> 17	29",3	52 <sup>s</sup> 90	19",8
28	81 <sup>s</sup> 15	60",3	87 <sup>s</sup> 51	57",6	86 <sup>s</sup> 78	50",7	65 <sup>s</sup> 19	40",8	14 <sup>s</sup> 63	29",0	51 <sup>s</sup> 60	19",5
29	83 <sup>s</sup> 07	60",3	89 <sup>s</sup> 71	57",5	88 <sup>s</sup> 61	50",4	65 <sup>s</sup> 99	40",4	14 <sup>s</sup> 10	28",6	50 <sup>s</sup> 46	19",3
30	85 <sup>s</sup> 08	60",3	91 <sup>s</sup> 98	57",4	90 <sup>s</sup> 35	50",0	66 <sup>s</sup> 64	40",0	13 <sup>s</sup> 65	28",3	49 <sup>s</sup> 46	19",1
31	87 <sup>s</sup> 19	60",3	94 <sup>s</sup> 27	57",2			67 <sup>s</sup> 17	39",6			48 <sup>s</sup> 54	18",9

El día 7 de noviembre la Polar culmina dos veces en Greenwich, siendo las coordenadas en su segundo paso:  $\alpha = 3^{\text{h}}7^{\text{m}}12^{\text{s}}55$  y  $p = 37'36",8$ .

## 7.9. La Vía Láctea

### Características de la Vía Láctea

Unidades:

1 $M_{\odot}$	$1,989 \cdot 10^{30}$ kg
1 $L_{\odot}$	$3,826 \cdot 10^{26}$ W
1 pc	$3,0857 \cdot 10^{16}$ m
1 kpc	$3,0857 \cdot 10^{19}$ m

Características globales de la galaxia:

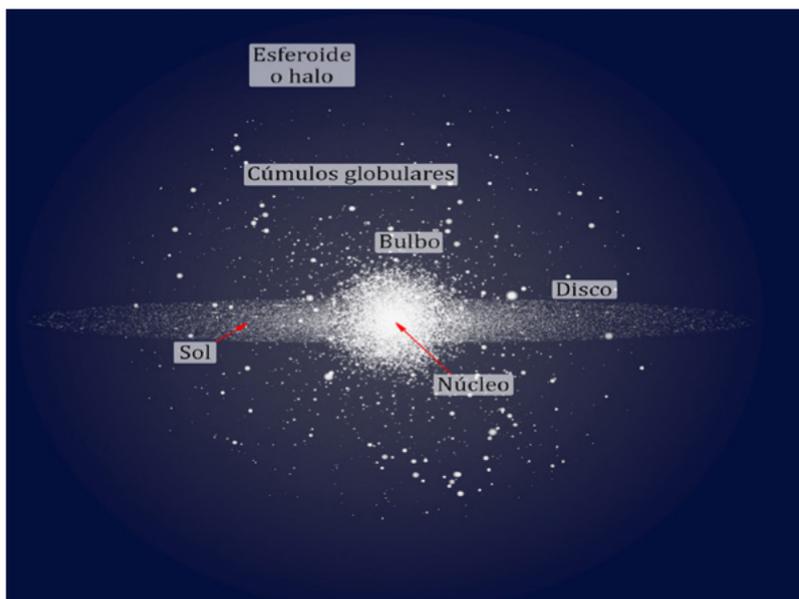
tipo morfológico	SBbc
masa incluyendo el halo invisible	$\sim 10^{12} M_{\odot}$
masa excluyendo el halo invisible	$\sim 10^{11} M_{\odot}$
diámetro del halo gaseoso	100 kpc
dirección del polo norte galáctico	$\alpha = 12^{\text{h}}51^{\text{m}}26^{\text{s}}$ , $\delta = +27^{\circ}07'42''$
velocidad respecto del fondo de microondas	$\sim 600 \text{ km s}^{-1}$
luminosidad en banda V	$1,4 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
luminosidad en banda B	$2,3 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
luminosidad infrarroja (4 – 100 $\mu\text{m}$ )	$1,2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
luminosidad bolométrica	$3,6 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
magnitud absoluta	-20,9
módulo de distancia	14,51
número de estrellas	$> 2 \cdot 10^{11}$
Núcleo:	
masa interior a 1 pc (3,26 años luz)	$3 \cdot 10^6 M_{\odot}$
Bulbo:	
masa	$10^{10} M_{\odot}$
diámetro	2 kpc
luminosidad en banda B	$0,2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
Disco:	
masa	$6 \cdot 10^{10} M_{\odot}$
diámetro	23–30 kpc
longitud de escala	3,5 kpc
luminosidad en banda V	$1,2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
ritmo de formación de estrellas	$\sim 3 M_{\odot}$ por año
masa de gas molecular	$2,5 \cdot 10^9 M_{\odot}$
masa de gas atómico	$3,0 \cdot 10^9 M_{\odot}$
periodo de rotación de la espiral	$\sim 50 \cdot 10^6$ años
periodo de rotación de la barra	$\sim 17 \cdot 10^6$ años

## Esferoide o halo:

masa	$2-10 \cdot 10^9 M_{\odot}$
diámetro	80 kpc
longitud de escala	2,9 kpc
luminosidad en banda V	$0,2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
luminosidad en banda B	$0,2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$
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	$0,044 M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$
densidad total de materia	$0,15-0,18 M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$
brillo superficial	$15 L_{\odot} \text{ pc}^{-1}$
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 $M_{\odot}$ )	250	$6 \cdot 10^5$
densidad central (en $M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$ )	$\sim 10^2$	$\sim 10^4$
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	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$		magn. tamaño		comentarios
		( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>o</sup> )	( <sup>'</sup> )	$V_{total}$	( <sup>'</sup> )	
	869	02	19,0	+57	10	5,3	30	h Per, junto a NGC884
34	1039	02	42,0	+42	47	5,2	35	en Perseus
	Perseo	03	22,0	+48	36	1,2	190	$\alpha$ Per, Melotte 20
45	Pléyades	03	47,1	+24	08	1,2	110	el mejor conocido
	Híades	04	20,0	+15	38	0,5	330	en Taurus
38	1912	05	28,6	+35	50	6,4	21	en Auriga
	1976/80	05	35,4	-05	23	2,5	50	<i>El Trapecio</i> , joven
36	1960	05	36,1	+34	08	6	12	en Auriga
	Berk 21	05	51,7	+21	47	1,1	6	en Taurus
37	2099	05	52,4	+32	32	5,6	23	en Auriga
35	2168	06	08,8	+24	21	5,1	28	en Gemini
	2232	06	26,5	-04	45	3,9	30	en Monoceros
	2244	06	32,4	+04	52	4,8	23	en neb. <i>Roseta</i> , joven
	2264	06	41,0	+09	53	3,9	20	S Mon
41	2287	06	47,1	-20	44	4,5	38	en Canis Major
50	2323	07	03,0	-08	21	5,9	16	en Monoceros
	2362	07	18,8	-24	56	4,1	8	$\tau$ CMa
47	2422	07	36,6	-14	30	4,4	30	en Puppis
46	2437	07	41,8	-14	49	6,1	27	en Puppis
	2451	07	45,4	-37	58	2,8	45	en Puppis
44	2632	08	40,1	+20	00	3,1	95	Praesepe, en Cancer
	IC2395	08	41,0	-48	11	4,6	7	en Vela
67	2682	08	50,5	+11	42	6,9	30	en Cancer
	Tr 16	10	45,2	-59	42	5	10	$\eta$ Car y nebulosa
	Coma	12	25,1	+26	06	1,8	300	disperso, Melotte 111
	4755	12	53,6	-60	20	4,2	10	$\kappa$ Cru, <i>El Joyero</i>
	6231	16	54,0	-41	48	2,6	14	supergig. O, WR; en Sco
6	6405	17	40,1	-32	13	4,2	14	en Scorpius
	IC4665	17	46,7	+05	44	4,2	40	en Ophiuchus
7	6475	17	53,9	-34	48	3,3	80	en Scorpius
23	6494	17	56,9	-19	01	5,5	27	en Scorpius
16	6611	18	18,9	-13	47	6	6	en Serpens, +nebulosa
	6633	18	27,6	+06	34	4,6	27	en Ophiuchus
25	IC4725	18	31,7	-19	15	4,6	32	cefeida U Sgr
	IC4756	18	39,3	+05	27	4,6	50	en Serpens
11	6705	18	51,1	-06	17	5,8	13	muy rico, en Scutum
	Steph 1	18	53,5	+36	55	3,8	20	en Lyra
	Col 399	19	25,4	+20	11	3,6	60	en Vulpecula
	6819	19	41,3	+40	11	7,3	5	en Cygnus
	IC1396	21	38,9	+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 reflexión, nebulosas de emisión (o regiones HII), nebulosas planetarias y remanentes (o restos) de supernova.

### 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 por reflexión brillantes

M	NGC	situación	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</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

## 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 de emisión brillantes

M	NGC	nombre propio	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</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>
	IC434		5 41	-2 24	débil neb., se extiende $1^\circ$ 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 (use pocos aumentos)
20	6514	<i>Trífida</i>	18 03	-23 02	a $1,5^\circ$ 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, úsease pocos aumentos
16	6611	<i>Águila</i>	18 19	-13 47	a unos $2^\circ$ de la neb. Omega, débil, incluye un cúmulo abierto

También son conocidas como *regiones HII*

## 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.

### 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 (Dumbbell)</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

## 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).

## Restos de supernova brillantes

NGC	situación	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	comentario
1952(M1)	neb. <i>Cangrejo</i> , Taurus	5 34	22 01	1,3° al NO de $\zeta$ Tau, de 7' x 5', visible incluso con pequeños telescopios
IC443	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

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.

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 nebulas moleculares. Estas son agregados más o menos amorfos (como lo son las nebulas 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  $10^6 M_{\odot}$ , 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 estas 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 ( $\sim 10^4 M_{\odot}$ ) y solo 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

## 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 Messier de objetos difusos

El catálogo Messier es una lista de 110 objetos astronómicos difusos, que ahora sabemos que son de naturaleza muy variada.

Fue compilado por el astrónomo francés Charles Messier a finales del siglo XVIII desde París, por lo que cubre todo el hemisferio norte celeste y parcialmente el hemisferio sur. Gran observador de cometas (descubrió una veintena), Messier confeccionó su famosa lista de objetos difusos a fin de evitar confundirlos con ellos.

Los distintos tipos de objetos astronómicos vienen indicados con las siguientes iniciales:

- 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.

## Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn.	tamaño ( <sup>'</sup> )	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	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	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	12	c.a.	Aur
37	2099	5 52,4	+32 33	5,6	24	c.a.	Aur

## Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn.	tamaño ( <sup>'</sup> )	tipo	constelación
38	1912	5 28,7	+35 50	6,4	21	c.a.	Aur
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	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	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	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	3	c.a.	Aqr
74	628	1 36,7	+15 47	9,2	9	g.s.	Psc

## Catálogo de Messier de objetos difusos

M	NGC	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	magn.	tamaño ( <sup>'</sup> )	tipo	constelación
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
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	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	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	13	g.e.	And

## 7.10. Objetos extragalácticos

### Galaxias

El *universo observable* tal como lo conocemos hoy está compuesto por *galaxias*, que se agrupan en *cúmulos* y estos, a su vez, en *super-cúmulos*. 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>	sufixo 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 Upsala (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 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 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.

#### Galaxias del Grupo Local

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	mag. V	tamaño ( <sup>'</sup> x <sup>'</sup> )	tipo	dist. (kpc)
Andrómeda, M31	00 42,7	+41 16	3,4	185x75	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	650x550	SB(s)m	48
Triángulo, M33	01 33,9	+30 39	5,7	67x42	SA(s)cd	810
M32, NGC 221	00 42,7	+40 52	8,1	11x7	E2	780
Peq. N. de Magallanes	00 52,7	-72 50	2,7	280x160	SB(s)m	61
Andrómeda VIII	00 42,3	+40 37	9,1	45x10	dSph	720

## Galaxias del Grupo Local

nombre	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	mag. V	tamaño ( <sup>'</sup> x <sup>'</sup> )	tipo	dist. (kpc)
IC 1613	01 05,1	+02 08	9,2	20x19	IAB(s)m	780
M110, NGC 205	00 41,3	+41 41	8,5	20x13	E5	780
NGC 3109	10 03,1	-26 09	10,4	16x3	Ir+	1200
IC 10	00 20,4	+59 18	10,3	7x6	KBm?	1100
NGC 147	00 33,2	+48 31	9,5	15x9	dE5	640
NGC 185	00 39,0	+84 20	9,2	15x13	dE3	620
NGC 6822, de Barnard	19 44,9	-14 49	9,3	16x14	IB(s)m	480
Andrómeda VI	23 51,7	+24 36	11,2	4x4	dSph	750
DDO 221, WLM	00 02,0	-15 28	10,9	12x4	IB(s)	910
Sextante A, UGCA 205	10 11,1	-04 43	11,9	6x5	Ir+	1400
Sextante B, UGC 5373	10 00,0	+05 20	11,8	5x4	Ir+	1300
Enana de Fornax	02 39,9	-34 32	8,1	12x10	dSph/E2	130
Leo I, DDO 74	10 08,5	+12 18	9,8	10x7	dE3	240
Andrómeda I	00 45,7	+38 00	13,2	3x3	dSph/E3	780
E. de Pegaso, DDO 216	23 28,6	+14 45	13,2	5x3	Im	810
Leo A, DDO 69	09 59,4	+30 45	12,9	5x3	IBm	670
Andrómeda II	01 16,4	+33 27	13,5	4x3	dSph/E0	780
Andrómeda III	00 35,4	+36 31	13,5	5x3	dSph/E2	780
Enana de Acuario	20 46,8	-12 51	13,9	2x1	Im	910
Enana de Fénix	01 51,1	-44 27	13,1	5x4	Irr	430
Enana de Máquina N.	10 04,1	-27 20	14,8	2x2	dSph/E3	1200
E. irregular de Sagitario	19 30,1	-17 42	15,5	3x2	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	51x31	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	41x26	dSph/E4	64
Enana del Tucán	22 41,7	-64 25	15,7	3x1	dSph/E5	860
Leo II	11 13,5	+22 10	12,6	12x11	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	24x16	dSph/E3	97

## Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$	
		( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )
Acuario, Enana de		20	46,9	-12	51
Ambartsumian, Nudo de	NGC 3561, Arp 105	11	11,2	28	42
Andrómeda	M31, NGC 224	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	NGC 4038/39, 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	NGC 7252, 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, Ar p153	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 (GR8)		12	58,7	14	13

## Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$	
		( <sup>h</sup> <sup>m</sup> )	( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )	( <sup>o</sup> <sup>'</sup> )
Girasol	M63, NGC 5055	13 15,8	42 02		
Gran Nube Magallanes		05 23,6	-69 45		
Grulla, Cuarteto de la	NGC 7552/82/90/99	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	NGC 5216/18, 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	IC 708	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, NGC 4254	12 18,8	14 25		
Molinete	M101, NGC 5457, Arp 26	14 03,3	54 22		
Moneda de Plata	NGC 253, Escultor	00 47,6	-25 18		
Ojo Negro	M64, NGC 4826	12 56,7	21 41		
Ojos, Los	NGC 4435/8, Arp 120	12 27,7	13 03		
Osa Menor, Enana de La		15 08,8	67 12		

## Galaxias con nombre propio

nombre	otros nombres	$\alpha_{2000}$		$\delta_{2000}$	
		( <sup>h</sup> )	( <sup>m</sup> )	( <sup>°</sup> )	( <sup>'</sup> )
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	NGC 4535	12	34,3	08	11
Perros de Caza (Remolino)	M51, NGC 5194, Arp 85	13	29,9	47	12
Perseo A	NGC 1275/6	03	19,8	41	31
Piscis, Enana de	LGS 3	00	03,8	21	54
Piscis, Nube de	NGC 379/80/82-85, 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	NGC 4676, IC 819/20, Arp 242	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	NGC 6027, 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	$\alpha_{2000}$ ( <sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>s</sup> )	$\delta_{2000}$ ( <sup>°</sup> <sup>'</sup> )	mag. B <sub>r</sub>	tamaño ( <sup>'</sup> x <sup>'</sup> )	tipo	dist. (Mpc)
55	00 15 08	-39 13,2	8,2	25x3	Sc	3,1
205, M110	00 40 23	41 41,3	8,5	20x13	E5	0,9
221, M32	00 42 41	40 51,9	8,1	11x7	E2	0,9
224, M31	00 42 45	41 16,5	3,4	185x75	SA(s)b	0,9
247	00 47 10	-20 45,6	9,5	18x5	ScIII-IV	3,1
253	00 47 36	-25 17,4	8,1	22x6	Sc	4,2
P.N.Magall.	00 52 45	-72 49,7	2,7	280x160	SB(s)m	0,06
300	00 54 53	-37 41,2	8,7	20x10	ScIII	2,4
598, M33	01 33 53	30 39,2	5,7	67x42	SA(s)cd	0,9
628, M74	01 36 42	15 47,2	9,8	8x8	ScI	17
1068, M77	02 42 41	-00 00,9	9,6	3x2	SbII	25
1291	03 17 19	-41 06,5	9,4	5x2	SBa	15
1313	03 18 16	-66 29,9	9,4	5x3	SBcIII-IV	5,2
1316	03 22 42	-37 12,5	9,6	4x3	Sa(p)	30
G.N.Magall.	05 23 35	-69 45,4	0,1	650x550	SB(s)m	0,05
2403	07 36 54	65 35,9	8,9	16x10	ScIII	3,6
2903	09 32 10	21 29,9	9,5	11x5	ScI-III	9,4
3031, M81	09 55 34	69 04,1	7,9	16x10	SbI-II	3,6
3034, M82	09 55 54	69 40,7	9,3	7x2	Amorfa	3,6
3521	11 05 49	-00 02,0	9,6	7x2	SbII-III	13
3627, M66	11 20 15	12 59,1	9,7	8x3	SbII	12
4258, M106	12 18 57	47 18,4	8,9	20x6	SbII	10
4449	12 28 12	44 05,8	9,8	5x3	SmIV	5
4472, M49	12 29 47	07 59,8	9,3	5x4	E1/S0	22
4486, M87	12 30 50	12 23,6	9,6	3x3	E0	22
4594, M104	12 40 00	-11 37,4	9,3	7x2	Sa/b	17
4631	12 42 05	32 32,4	9,8	12x1	Sc	12
4649, M60	12 43 40	11 33,1	9,8	4x3	S0	22
4736, M94	12 50 54	41 07,1	8,9	5x4	Sab	6,9
4826, M64	12 56 45	21 41,0	9,4	8x4	SabII	7
4945	13 05 26	-49 28,0	9,6	12x2	Sc	7
5055, M63	13 15 50	42 01,7	9,3	8x3	SbcII-III	11
5128, CenA	13 25 29	-43 01,0	7,9	10x3	S0(p)	6,9
5194, M51	13 29 53	47 11,9	8,6	12x6	SbcI-II	11
5236, M83	13 37 00	-29 52,0	8,5	10x8	SBcII	6,9
5457, M101	14 03 13	54 21,0	8,2	22x22	ScI	7,6
6744	19 09 46	-63 51,3	9,2	9x9	SBcII	13
6822	19 44 57	-14 47,7	9,3	16x14	IB(s)m	0,6
6946	20 34 51	60 09,4	9,7	13x9	ScII	6,7
7793	23 57 49	-32 35,4	9,6	6x4	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

### 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> 30,8 <sup>m</sup>	12° 23'	asociada a la galaxia M87, la más brillante del cúmulo de Virgo, fue la primera radiofuente extragaláctica identificada.
Cygnus A	19 <sup>h</sup> 59,5 <sup>m</sup>	40° 44'	es la más intensa, considerada como prototipo.
3C236	10 <sup>h</sup> 06,0 <sup>m</sup>	34° 54'	la más extensa, con casi 5 Mpc de longitud.
Cent A	13 <sup>h</sup> 25,4 <sup>m</sup>	-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> 37,7 <sup>m</sup>	33°10'	históricamente ligado al descubrimiento de los cuásares.
3C273	12 <sup>h</sup> 29,1 <sup>m</sup>	2°03'	el más intenso en radio, históricamente ligado al descubrimiento de los cuásares.
0957+561	10 <sup>h</sup> 01,3 <sup>m</sup>	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> 56,2 <sup>m</sup>	56°52'	una de las más luminosas en IR.
Arp 220	15 <sup>h</sup> 34,9 <sup>m</sup>	23°30'	prototipo de galaxia IR ultraluminosa.
NGC 6240	16 <sup>h</sup> 53,0 <sup>m</sup>	2°24'	prototipo de galaxia IR luminosa.

## Cúmulos y supercúmulos de galaxias

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 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 de Coma).

La última columna de la siguiente tabla 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:

$$V_{opt} = 3 \cdot 10^5 z \text{ (en km s}^{-1}\text{)}$$

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:

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

## 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	0,016
347		02 25,8	+41 52	14	0,018
426	Perseo	03 18,6	+41 30	14	0,018
	Eridano	03 28,0	-20 45	7	0,005
S 373	Fornax (Horno Q.)	03 38,5	-35 27	0,1	0,005
548		05 47,0	-25 36		0,042
569		07 09,2	+48 37	1,3	0,020
779		09 19,8	+33 46	1,5	0,023
S 636	Antlia (Máq. Neumát.)	10 30,1	-35 19		0,009
1060	Hidra	10 36,9	-27 31		0,013
1228		11 21,5	+34 19	1,3	0,035
1367	León	11 44,5	+19 50	5	0,022
	Virgo	12 26,5	+12 43	10	0,004
3526	Centauro	12 48,9	-41 18	3	0,011
S 714		12 51,5	-26 27		0,011
1656	Coma (Cabellera de B.)	12 59,8	+27 58	5	0,023
3574		13 49,2	-30 17	1	0,016
2147		16 02,3	+15 53	2	0,035
2151	Hércules	16 05,2	+17 44	6	0,037
2152		16 05,4	+16 26	1	0,041
2162		16 12,5	+29 32	6	0,032
3627	Norma (la Regla)	16 15,5	-60 54	0,3	0,016
3656		20 00,5	-38 31		0,019
S 851		20 09,9	-48 23		0,010
2634		23 38,3	+27 01	6	0,031
2666		23 50,9	+27 08	0,8	0,027

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.

## 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 extragalácticas

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:

$$D_C = D_A (1 + z) = D_L / (1 + z)$$

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

nombre (comentario)	distancia (Mpc)			$z$
	angular	comóvil	luminosa	
Nube Grande de Magallanes ( <i>g. irregular, satélite de la Vía Láctea</i> )	0,048	=	=	
Galaxia de Andrómeda ( <i>g. espiral más próxima a la Vía Láctea</i> )	0,78	=	=	
Borde del Grupo Local	~1,5	=	=	
Centauro A ( <i>NGC 5128, radiogalaxia muy cercana</i> )	~ 4	=	=	
Galaxia de los Perros de Caza, M51 ( <i>g. espiral, interacciona con NGC 5195</i> )	~ 7	=	=	
Cúmulo de Virgo (la Virgen) ( <i>cúmulo de galaxias más cercano</i> )	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 ( <i>cuásar muy intenso en radio</i> )	1080	1480	2020	0,367
J0313-1806 ( <i>el cuásar más lejano conocido</i> )	1045	9030	78000	7,64
HD1 ( <i>la galaxia más lejana conocida</i> )	719	10262	146437	13,27

$$1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ parsec} = 3,0857 \cdot 10^{22} \text{ m}$$

## Los objetos más lejanos

En julio de 2022 el programa de observación ERO (Early Release Observations) utilizando la Cámara de Infrarrojo Cercano del Telescopio Espacial James Webb (JWST) descubrió la galaxia F200DB-045, con un corrimiento al rojo estimado de aproximadamente  $z \sim 20$ , podría convertirse en el objeto más lejano descubierto, su distancia comóvil sería de unos 11000 Mpc y su edad cósmica de unos 168 millones de años después del Big Bang. Desde 2022 diferentes grupos de investigación han obtenido un buen número de candidatos con corrimientos al rojo estimados de aproximadamente  $z \sim 16$ , que corresponden con una distancia comóvil de unos 10700 Mpc y una edad cósmica de unos 230 millones de años después del Big Bang. Entre estos se encuentran F200DB-175, S5-z17-1, F150DB-041, SMACSz16a, F200DB-015, F200DB-181 y F200DB-159.

Mientras se espera la confirmación de los anteriores descubrimientos, el objeto más lejano descubierto hasta el momento es la galaxia JADES-GS-z14-0, cuyo corrimiento al rojo determinado espectroscópicamente ha dado como resultado  $z = 14,32$ , que correspondería a una distancia comóvil de 10394 Mpc y una edad cósmica de unos 290 millones de años después del Big Bang. El estudio fue publicado por un equipo internacional en 2024, utilizando datos del campo de observación más profundo del JWST, el JADES Origins Field. A partir del mismo campo de observación, otro grupo ha identificado el siguiente objeto más lejano, JADES-GS-z14-1, con un corrimiento al rojo determinado espectroscópicamente de  $z = 13,90$ , que corresponde con una distancia comóvil de unos 10336 Mpc y una edad cósmica de unos 303 millones de años después del Big Bang.

También en el mismo campo de JADES encontramos JADES-GS-13-0 y JADES-GS-z12-0, con corrimientos al rojo de  $z = 13,20$  (distancia comóvil 10235 Mpc y edad cósmica 325 millones de años) y  $z = 12,63$  (distancia comóvil 10147 Mpc y edad cósmica 346 millones de años), respectivamente. Por otra parte, utilizando las observaciones UNCOVER, con datos del JWST y del telescopio espacial Hubble, se han descubierto UNCOVER-z13, con  $z = 13,079$ , con una distancia comóvil correspondiente de 10217 Mpc y edad cósmica 330 millones de años; y UNCOVER-z12, para la cual se ha obtenido un corrimiento al rojo de  $z = 12,393$ , una distancia comóvil de 10108 Mpc y edad cósmica de 355 millones de años.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los objetos astronómicos más lejanos descubiertos, indicando si la detección ha sido o no confirmada.

Nombre	Corrimiento al rojo (z)	Tipo	Estado
F200DB-045	20,4	Galaxia	Sin confirmar
F200DB-175	16,2	Galaxia	Sin confirmar
S5-z17-1	16,009	Galaxia	Sin confirmar
F150DB-041	16,0	Galaxia	Sin confirmar
SMACS-z16a	15,92	Galaxia	Sin confirmar
F200DB-015	15,8	Galaxia	Sin confirmar
F200DB-181	15,8	Galaxia	Sin confirmar
F200DB-159	15,8	Galaxia	Sin confirmar
F200DB-086	15,4	Galaxia	Sin confirmar
SMACS-z16b	15,32	Galaxia	Sin confirmar
F150DB-048	15,0	Galaxia	Sin confirmar
F150DB-007	14,6	Galaxia	Sin confirmar
JADES-GS-z14-0	14,32	Galaxia	Confirmada
JADES-GS-z14-1	13,90	Galaxia	Confirmada
JADES-GS-z13-0	13,20	Galaxia	Confirmada
UNCOVER-z13	13,079	Galaxia	Confirmada
JADES-GS-z12-0	12,63	Galaxia	Confirmada
UNCOVER-z12	12,393	Galaxia	Confirmada

## 7.11. Moléculas en el medio interestelar y circunestelar

La siguiente tabla está actualizada a setiembre de 2023, con las especies moleculares de la base de datos de Colonia para espectroscopia molecular (CDMS): <https://cdms.astro.uni-koeln.de/classic/molecules>. En ella hay 306 moléculas, incluidas 8 detectadas tentativamente (se indica con un interrogante). De las numerosas variedades isotópicas detectadas solo se muestran los isotopólogos deuterados de las moléculas que solo contienen hidrógeno. Las moléculas entre corchetes son cíclicas.

### Moléculas detectadas en el medio interestelar y el circunestelar

Moléculas con nitrógeno y oxígeno

NO	HNCO	H <sub>2</sub> NCO <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> NHCHO
NO <sup>+</sup>	HCNO	NH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>
HNO	HOCN	HOCH <sub>2</sub> CN	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NCO
N <sub>2</sub> O	HCOCN	CH <sub>3</sub> NCO	HOCH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>
NCO	NH <sub>2</sub> OH	H <sub>2</sub> NCONH <sub>2</sub>	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>
HONO			

## Moléculas con hidrógeno

H <sub>2</sub>	HD	H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> D <sup>+</sup>
----------------	----	-----------------------------	-------------------------------

## Moléculas con nitrógeno, hidrógeno y/o carbono

CN	H <sub>2</sub> CCN	HC <sub>5</sub> N	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> ?
CN <sup>-</sup>	HC <sub>3</sub> N	HC <sub>5</sub> N <sup>+</sup>	HC <sub>7</sub> NH <sup>+</sup>
NH	H <sub>2</sub> NCN	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	t-CH <sub>3</sub> CHCHCN
N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CNH	HCCCHNH	c-CH <sub>3</sub> CHCHCN
HCN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HC <sub>4</sub> NC	CH <sub>3</sub> C(CN)CH <sub>2</sub>
HNC	HNCNH	Z-(CH) <sub>2</sub> (CN) <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CN
N <sub>2</sub> H <sup>+</sup>	HCCNCH <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> CN	H <sub>2</sub> CCCHC <sub>3</sub> N
NH <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CNCN	CH <sub>3</sub> CHNH	H <sub>2</sub> C(CH) <sub>3</sub> CN
C <sub>2</sub> N	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> N	HCCCH <sub>2</sub> CN	HC <sub>9</sub> N
C <sub>3</sub> N	CH <sub>3</sub> CN	HC <sub>5</sub> NH <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> C <sub>7</sub> N ?
NH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> NC	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	[1-C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> CN]
HCCN	HC <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub> CCHCN	[2-C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> CN]
HCNH <sup>+</sup>	C <sub>5</sub> N	HC <sub>7</sub> N	n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CN
H <sub>2</sub> CN	HC <sub>4</sub> N	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	i-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CN
C <sub>3</sub> N <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> CCNH	C <sub>7</sub> N <sup>-</sup>	HC <sub>11</sub> N
CNCN	C <sub>5</sub> N <sup>-</sup>	HC <sub>7</sub> N <sup>+</sup>	[C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN]
HNCN	HNCHCN	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	2-C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> CN
H <sub>2</sub> NC	CH <sub>2</sub> C <sub>3</sub> N	CH <sub>2</sub> CHCHNH ?	1-C <sub>10</sub> H <sub>7</sub> CN
NCCNH <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub> (CN) <sub>2</sub>	HCCCHCHCN	2-C <sub>10</sub> H <sub>7</sub> CN
HC <sub>3</sub> N <sup>+</sup>	NC <sub>4</sub> NH <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> CCHC <sub>3</sub> N	1-C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> CN
HNC <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> CHCN	CH <sub>3</sub> C <sub>5</sub> N	5-C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> CN
HCCNC	HNC <sub>5</sub>		

## Moléculas con azufre, silicio o fósforo

CP	SiP ?	HS <sub>2</sub>	HC <sub>3</sub> S <sup>+</sup>
SiC	SO <sub>2</sub>	HCNS	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> S
NS	[SiC <sub>2</sub> ]	HOCS <sup>+</sup>	C <sub>4</sub> S
NS <sup>+</sup>	C <sub>2</sub> S	HNSO	NC <sub>3</sub> S
PN	HCS <sup>+</sup>	HNCS	HC <sub>3</sub> S
SO <sup>+</sup>	HCS	H <sub>2</sub> CS	HCOSH
SO	H <sub>2</sub> S	HSCN	SiH <sub>3</sub> CN
SiN	OCS	[SiC <sub>3</sub> ]	C <sub>5</sub> S
SiO	HSO	PH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> S
SiS	Si <sub>2</sub> C	HCCS	CH <sub>3</sub> SH
CS	SiCN	HCCS <sup>+</sup>	HCCCHS
SiH ?	SiNC	C <sub>3</sub> S	HC <sub>4</sub> S
PO	HCP	C <sub>4</sub> Si	NCCCHS
PO <sup>+</sup>	CCP	SiH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> SiH <sub>3</sub>
SH <sup>+</sup>	NCS	HCSCN	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH
SH	HSC		

## Moléculas con oxígeno, hidrógeno y/o carbono

CO	H <sub>2</sub> CO	CH <sub>3</sub> CO <sup>+</sup>	HC <sub>7</sub> O
CO <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	C <sub>5</sub> O	HOCHCHCHO
OH	HOOH	CH <sub>3</sub> CHO	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO
OH <sup>+</sup>	HCCO	[C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O]	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	HCCCO	H <sub>2</sub> CCHOH	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO
C <sub>2</sub> O	HCOOH	HC <sub>5</sub> O	CH <sub>3</sub> CHCH <sub>2</sub> O
HCO	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHCO	CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> OH
HCO <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> COH <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OCHO
HOC <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> O	CH <sub>2</sub> OHCHO	CH <sub>3</sub> OCOCH <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> O	HC <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub> CHCHO	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> OH
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	HOCOOH	(CHOH) <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OCH <sub>3</sub>
CO <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> OH	HCOOCH <sub>3</sub>	n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH
HO <sub>2</sub>	HCCCHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	i-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH
C <sub>3</sub> O	[H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O]	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH
HOCO <sup>+</sup>			

## Moléculas con solo hidrógeno y carbono

C <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> H	C <sub>6</sub> H	C <sub>10</sub> H <sup>-</sup>
CH	C <sub>4</sub> H <sup>-</sup>	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CCH
CH <sup>+</sup>	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> CHCCH	[C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> ]
C <sub>3</sub>	[C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ]	[C <sub>3</sub> HCCH]	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H
C <sub>2</sub> H	C <sub>5</sub> H	HCCCHCCC	[C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> ]
CH <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> H <sup>+</sup>	C <sub>7</sub> H	H <sub>2</sub> CCCHC <sub>4</sub> H
[C <sub>3</sub> H]	CH <sub>2</sub> CCH	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CCH <sub>2</sub>
C <sub>3</sub> H <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	HC <sub>6</sub> H	[C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ]
C <sub>3</sub> H	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	HCCCH <sub>2</sub> CCH	[C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> CCH <sub>2</sub> ]
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	HC <sub>4</sub> H	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	[1-C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> CCH]
CH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> H <sup>+</sup>	C <sub>8</sub> H	[2-C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> CCH]
CH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	[C <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H]	C <sub>8</sub> H <sup>-</sup>	[C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CCH]
C <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> CCCHCCH	[C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> ]
CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H	CH <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub>	

## Moléculas "metálicas"

AlF	CF <sup>+</sup>	TiO <sub>2</sub>	MgC <sub>3</sub> N <sup>+</sup>
AlCl	AlO	FeCN	MgC <sub>3</sub> N
HCl	CaC <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> Cl <sup>+</sup>	HMgC <sub>3</sub> N
KCl	CaNC	KCN	MgC <sub>4</sub> H <sup>+</sup>
NaCl	MgC <sub>2</sub>	NaCN	MgC <sub>4</sub> H
HF	MgCN	HMgNC	MgC <sub>5</sub> N <sup>+</sup>
FeO ?	MgNC	MgC <sub>2</sub> H	MgC <sub>5</sub> N
TiO	AlNC	CH <sub>3</sub> Cl	MgC <sub>6</sub> H <sup>+</sup>
HCl <sup>+</sup>	AlOH	NaCCCN	MgC <sub>6</sub> H
FeC			

## Fullerenos

$C_{60}$	$C_{70}$	$C_{60}^+$
----------	----------	------------

## Otras moléculas

$HeH^+$	$ArH^+$
---------	---------

En la siguiente tabla se muestran las moléculas que han sido detectadas por primera vez utilizando el radiotelescopio de 40 metros de Yebes (Guadalajara).

**Moléculas detectadas en el Observatorio de Yebes (Guadalajara)**

## Moléculas con solo hidrógeno y carbono

$C_5H^+$	$H_2C_5$	$CH_3CH_2CCH$	$[C_5H_4CCH_2]$
$CH_2CCH$	$HCCCHCCC$	$[C_6H_4]$	$[1-C_5H_5CCH]$
$H_2C_3H^+$	$CH_2CHCCH$	$[C_5H_6]$	$[2-C_5H_5CCH]$
$[C_3C_2H]$	$H_2CCCHCCH$	$H_2CCCHC_4H$	$[C_6H_5CCH]$
$[C_3HCCH]$	$HCCCH_2CCH$	$(CH_3)_2CCH_2$	$[C_9H_8]$

## Moléculas con oxígeno, hidrógeno y/o carbono

$HC_3O^+$	$CH_3CO^+$	$HOCOOH$	$(CHOH)_2$
$HCCCO$	$C_5O$	$CH_3CHCO$	$n-C_3H_7OH$

## Moléculas con nitrógeno, hidrógeno y/o carbono

$HNCN$	$HC_4NC$	$C_7N^-$	$C_2H_5NH_2 ?$
$HC_3N^+$	$CH_2C_3N$	$HC_5NH^+$	$HC_7NH^+$
$NCCNH^+$	$NC_4NH^+$	$HC_7N^+$	$CH_2CHCH_2CN$
$H_2C_3N$	$CH_2(CN)_2$	$CH_2CHCHNH$	$CH_3C(CN)CH_2$
$HCCNCH^+$	$HC_5N^+$	$t-CH_3CHCHCN$	$1-C_{12}H_7CN$
$H_2CNCN$	$C_2H_3NH_2$	$c-CH_3CHCHCN$	$5-C_{12}H_7CN$
$HNC_5$	$Z-(CH)_2(CN)_2$		

## Moléculas con nitrógeno y oxígeno

$C_2H_5NCO$	$HOCH_2CONH_2$	$HOCH_2CH_2NH_2$
-------------	----------------	------------------

## Moléculas con azufre, silicio o fósforo

$PO^+$	$HCNS$	$C_4S$	$H_2C_3S$
$NCS$	$HOCS^+$	$HCOSH$	$HCCCHS$
$HSO$	$HNSO$	$HCSCN$	$HC_4S$
$HCCS$	$HC_3S^+$	$NC_3S$	$NCCHCS$
$HCCS^+$	$H_2C_2S$	$HC_3S$	

## Moléculas "metálicas"

$\text{MgC}_2$	$\text{MgC}_3\text{N}$	$\text{MgC}_4\text{H}$	$\text{MgC}_5\text{N}^+$
$\text{CaC}_2$	$\text{MgC}_3\text{N}^+$	$\text{MgC}_4\text{H}^+$	$\text{MgC}_6\text{H}^+$
$\text{NaCCCN}$	$\text{HMgC}_3\text{N}$	$\text{MgC}_5\text{N}$	$\text{MgC}_6\text{H}$



Observatorio Astronómico de Yebes (guadalajara)





CAPÍTULO 8

# Artículos de divulgación



**Vista pancromática del cúmulo de galaxias MACS0416 creada combinando observaciones infrarrojas del telescopio espacial James Webb de la NASA con datos de luz visible del telescopio espacial Hubble de la NASA. NASA, ESA, CSA, STScI, Jose M. Diego (IFCA), Jordan CJ D'Silva (UWA), Anton M. Koekemoer (STScI), Jake Summers (ASU), Rogier Windhorst (ASU), Haojing Yan (Universidad de Misuri).**

# Un viaje por el universo de la mano de los cúmulos de galaxias

**Paula Tarrío Alonso**

**Astrónoma del Observatorio Astronómico Nacional (IGN)**

## Resumen

Entender el origen y la evolución del universo es uno de los grandes retos científicos de nuestro tiempo. Gracias a los avances tecnológicos, los astrónomos han acumulado una gran cantidad de datos que nos ofrecen pistas sobre su estructura y composición, pero muchos de los grandes misterios siguen sin resolverse. Uno de los elementos que ha permitido avances significativos ha sido el estudio de los cúmulos de galaxias, inmensas agrupaciones de galaxias que actúan como laboratorios naturales para desentrañar los secretos del cosmos. En este artículo, exploramos qué son los cúmulos de galaxias y cómo los estudiamos a través de diversas técnicas de observación. Analizamos la valiosa información que nos proporcionan sobre la interacción entre galaxias, gas caliente y materia oscura, así como su papel como lentes gravitacionales, que nos permiten observar los confines más lejanos del universo. También discutimos cómo contribuyen a nuestra comprensión de la estructura y la evolución del cosmos.

## Introducción

En el siglo XVIII, William y Caroline Herschel detectaron cientos de nebulosas observando el cielo nocturno con sus telescopios. En aquella época, el término nebulosa se usaba para describir cualquier objeto astronómico con apariencia difusa, y se desconocía a qué distancia se encontraban estos objetos, ya que el método de paralaje empleado en aquel momento para medir distancias no funcionaba para objetos tan lejanos. De este modo, entre las nebulosas de los Herschel encontramos tanto estructuras dentro de nuestra Vía Láctea (por ejemplo, la nebulosa del Cangrejo o la nebulosa de Orión) como galaxias situadas fuera de ella (entre ellas, la galaxia de Andrómeda o la galaxia del Sombrero). Sin embargo, no fue hasta el siglo XX cuando se confirmó que muchas de estas nebulosas eran en realidad galaxias externas situadas fuera de nuestra Vía Láctea.

En 1912, Henrietta Swan Leavitt descubrió una relación entre la luminosidad y el período de variación de las cefeidas, estrellas variables cuyo brillo fluctúa de manera periódica. Este hallazgo permitió medir distancias cósmicas mucho más allá de lo que antes era posible con el método de paralaje. Utilizando esta relación, Edwin Hubble calculó en 1925 la distancia a varias nebulosas y descubrió que estaban mucho más lejos de lo esperado, confirmando así que muchas de estas nebulosas eran en realidad objetos extragalácticos. Este descubrimiento representó un cambio fundamental en nuestra visión del cosmos, estableciendo a las galaxias como las unidades básicas de la estructura del universo.

## La red cósmica

Con la confirmación de la existencia de galaxias más allá de la Vía Láctea, los astrónomos comenzaron a investigar cómo se distribuían estas en el cosmos. Con el tiempo, se descubrió que las galaxias no estaban dispersas de manera uniforme, sino que se organizaban en una vasta estructura tridimensional conocida como la *cosmic web* o red cósmica. Esta red está formada por filamentos de materia que conectan galaxias a través de enormes distancias. Los filamentos se entrelazan en nodos donde la densidad de materia es especialmente alta, y donde se concentran grandes cantidades de galaxias. Entre los filamentos y nodos se encuentran regiones vacías llamadas *voids*, donde apenas hay galaxias ni materia visible.

La materia que observamos siguiendo esta estructura con nuestros telescopios actuales es lo que llamamos materia visible o bariónica, pero sorprendentemente, esta solo representa un 5 % de nuestro

universo. El 95 % restante está compuesto por materia oscura (27 %) y energía oscura (68 %), componentes invisibles que no emiten ni reflejan luz. Aunque no podemos ver estas formas oscuras directamente, sabemos que juegan un papel crucial en la formación y evolución de la red cósmica.

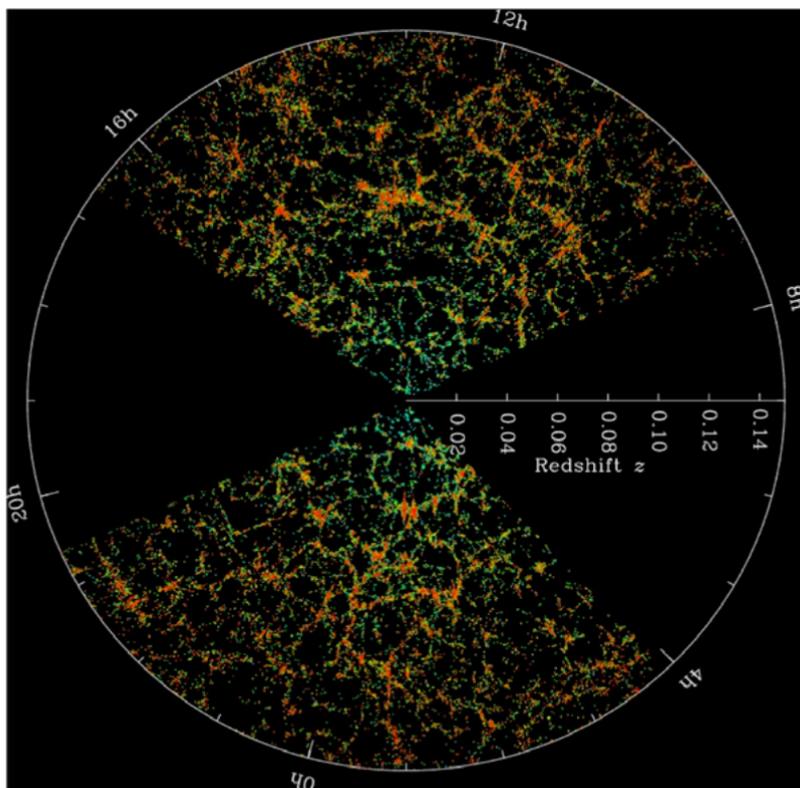
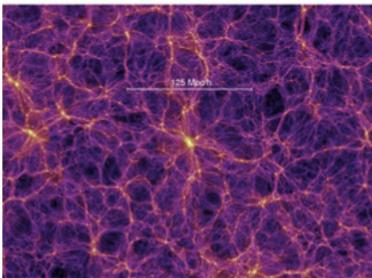
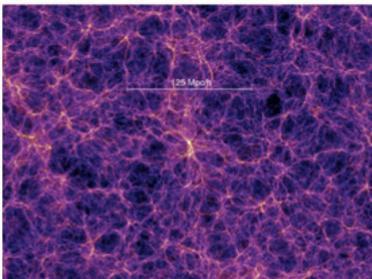
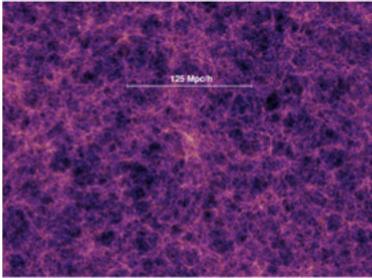
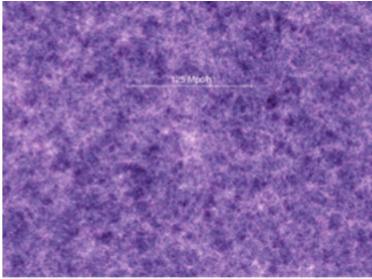


Figura 1: Mapa, elaborado por el Sloan Digital Sky Survey, que muestra con gran precisión la ubicación de las galaxias en el universo cercano. Cada punto representa una galaxia. El centro del círculo indica nuestra posición, y conforme nos alejamos del centro, observamos regiones cada vez más distantes, hasta llegar a unos 2 000 millones de años luz. Las zonas en negro a la derecha y la izquierda se han ocultado debido a la presencia del plano de nuestra propia galaxia, que bloquea la visión. Este mapa nos muestra una estructura evidente. Las regiones brillantes son aquellas en las que se han detectado galaxias, en mayor o menor cantidad dependiendo del color (rojo o verde). En las regiones oscuras apenas hay galaxias. Créditos: Sloan Digital Sky Survey.

Una de las características fundamentales de la materia oscura es que sufre atracción gravitacional, la cual mantiene unidas las estructuras a pequeña escala. Los científicos han realizado simulaciones de esta materia oscura basándose en la idea de que solo interactúa mediante la gravedad. Partiendo de las pequeñas fluctuaciones observadas en el



fondo cósmico de microondas, la radiación residual del Big Bang, han simulado cómo la gravedad las hace evolucionar a lo largo del tiempo. El resultado es que la materia oscura va evolucionando hasta formar una estructura en forma de red muy similar a la que se observa con las galaxias. Esto sugiere que la red cósmica no solo se manifiesta en las galaxias y la materia visible, sino también en la distribución de la propia materia oscura.

Combinando estos dos hallazgos, hoy en día creemos que la materia oscura forma el esqueleto de la red cósmica y que las galaxias siguen el patrón construido por la materia oscura. Así, donde vemos muchas galaxias, también esperamos encontrar mucha materia oscura, y donde hay muy pocas galaxias, también habrá menos materia oscura. De esta manera, al igual que la iluminación nocturna de las ciudades marca los centros de actividad en un mapa terrestre, las galaxias trazan las concentraciones de materia y energía en el universo.

Figura 2: Simulación de la evolución de la materia oscura desde el universo primitivo (arriba) hasta nuestros días (abajo). Créditos: Simulación Millennium.

## Grupos y cúmulos de galaxias

En los nodos de la red cósmica, allí donde se entrelazan los filamentos y hay mayor densidad de materia, viven los protagonistas de este artículo: los cúmulos de galaxias. Se trata de grandes estructuras que se formaron a partir de pequeñas variaciones en la densidad de materia del universo primitivo. Las zonas con densidad ligeramente mayor, debido a su mayor gravedad, comenzaron a atraer materia cercana, volviéndose con el tiempo regiones cada vez más densas y masivas.

Los cúmulos de galaxias contienen entre cientos y miles de galaxias, aunque, contrariamente a lo que su nombre podría sugerir, solamente entre un 3 % y un 5 % de su masa total se encuentra en forma de galaxias. Entre un 10 % y un 12 % de su masa se encuentra en forma de gas muy caliente e ionizado, mientras que alrededor del 85 % corresponde a un halo de materia oscura. Todas estas componentes se encuentran unidas por la gravedad. Los cúmulos de galaxias poseen masas que oscilan entre  $10^{13}$  y  $10^{15}$  masas solares (incluyendo tanto materia oscura como bariónica) y tienen un diámetro típico del orden de 3 millones de años-luz. Sin embargo, presentan una gran diversidad de forma, tamaños y otras características, que dependen de factores como su edad o de procesos dinámicos, como fusiones recientes con otros cúmulos.

Además de los cúmulos de galaxias, existen unas estructuras algo más pequeñas conocidas como grupos de galaxias. Estos grupos son versiones a menor escala de los cúmulos, compuestos por varias galaxias, desde unas pocas hasta decenas, unidas gravitacionalmente, junto con gas y materia oscura. Tanto los grupos como los cúmulos de galaxias pueden a su vez unirse en estructuras aún más vastas, formando supercúmulos, que son algunas de las mayores estructuras conocidas en el universo.

### Grupos compactos de Hickson

Un caso particular de grupos de galaxias son los grupos compactos de Hickson, descubiertos y catalogados en la década de 1980 por el astrónomo Paul Hickson. Se trata de pequeños grupos de galaxias formados típicamente por cuatro o cinco galaxias que se encuentran muy próximas entre sí y presentan intensas interacciones gravitacionales. Debido a estas fuertes interacciones, constituyen entornos únicos donde se pueden observar fenómenos como la formación de estrellas, la fusión de galaxias o la perturbación del gas interestelar, por lo que ofrecen una valiosa oportunidad para estudiar los procesos dinámicos que tienen lugar en la evolución de las galaxias.

Uno de los ejemplos más conocidos de estos grupos es el Quinteto de Stephan, también conocido como el Grupo Compacto de

Hickson 92 (HCG 92), compuesto por cinco galaxias. Aunque se le llama "quinteto", solo cuatro de estas galaxias están realmente en interacción. La quinta galaxia, situada más a la izquierda en la figura 3 y conocida como NGC 7320, está a 40 millones de años luz de la Tierra, mientras que las otras cuatro galaxias (NGC 7317, NGC 7318A, NGC 7318B y NGC 7319) se encuentran a unos 290 millones de años luz de distancia. A una distancia similar se encuentra también una sexta galaxia, NGC 7320C, conectada con NGC 7319 mediante una cola de marea. En términos cósmicos estas galaxias están relativamente cercanas a nosotros comparadas con otras que se encuentran a miles de millones de años luz. Esta proximidad permite observar con gran detalle las interacciones entre galaxias, y estudiar cómo estas interacciones pueden perturbar el gas o desencadenar procesos de formación estelar, aspectos fundamentales para entender la evolución galáctica, pero que resultan más complicados de estudiar en galaxias muy distantes.



Figura 3: Imagen del quinteto de Stephan. Las galaxias anaranjadas, NGC 7317 (esquina inferior izquierda), NGC 7318A, NGC 7318B (las dos en el centro, muy cerca una de la otra) y NGC 7319 (esquina superior derecha), están en interacción. La galaxia azulada, NGC 7320, es una espiral más cercana. NGC 7320C quedaría fuera de la imagen hacia arriba a la derecha. Créditos: NASA, ESA, Hubble SM4 ERO Team.

## El grupo local

A una escala algo mayor encontramos el Grupo Local, el grupo de galaxias al que pertenece nuestra Vía Láctea. Este grupo está compuesto por unas 50 galaxias, entre las que destaca la galaxia de Andrómeda, nuestra vecina más cercana, ubicada a unos 2.5 millones de años luz de distancia y con la que se espera una colisión dentro de unos 4 500 millones de años. La segunda galaxia más masiva del Grupo Local es nuestra Vía Láctea, seguida por la galaxia del Triángulo, situada a unos 2.8 millones de años luz. Además de estas tres grandes galaxias espirales, el Grupo Local incluye otras galaxias de menor tamaño, como la Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes, dos galaxias enanas visibles desde el hemisferio sur. El Grupo Local tiene un diámetro aproximado de 10 millones de años-luz y una masa de alrededor de 3 billones de masas solares, concentrada principalmente en sus dos galaxias más grandes.

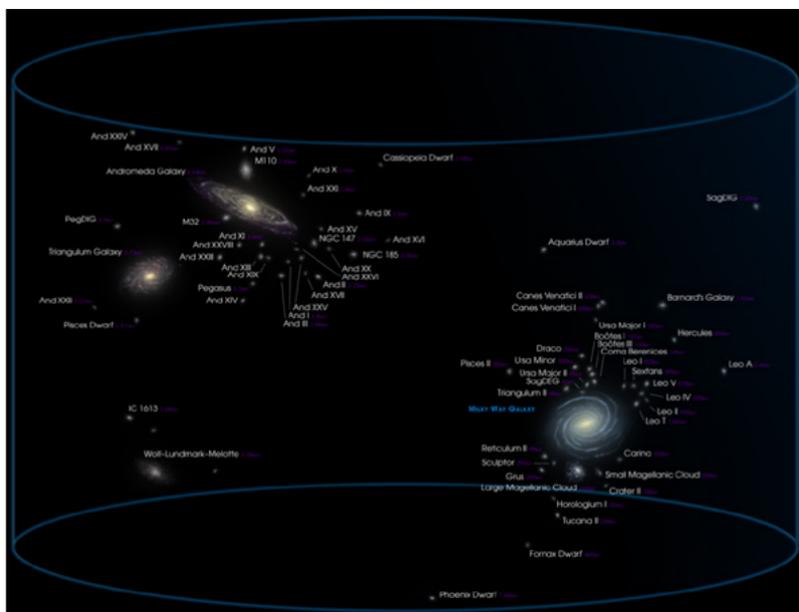


Figura 4: Distribución de las galaxias del Grupo Local, donde destacan tres grandes galaxias espirales: la galaxia de Andrómeda (arriba a la izquierda), la Vía Láctea (abajo a la derecha), y la galaxia del Triángulo (cerca de Andrómeda). Créditos: Andrew Z. Colvin.



cuyo centro alberga un agujero negro que fue el primero en ser fotografiado por el telescopio EHT en 2019. También se encuentra M84, otra gigante elíptica que, al igual que M87, presenta un núcleo activo y emite potentes chorros de radiación. Además de estas y otras elípticas, el cúmulo alberga también varias galaxias espirales, que contribuyen a su diversidad.

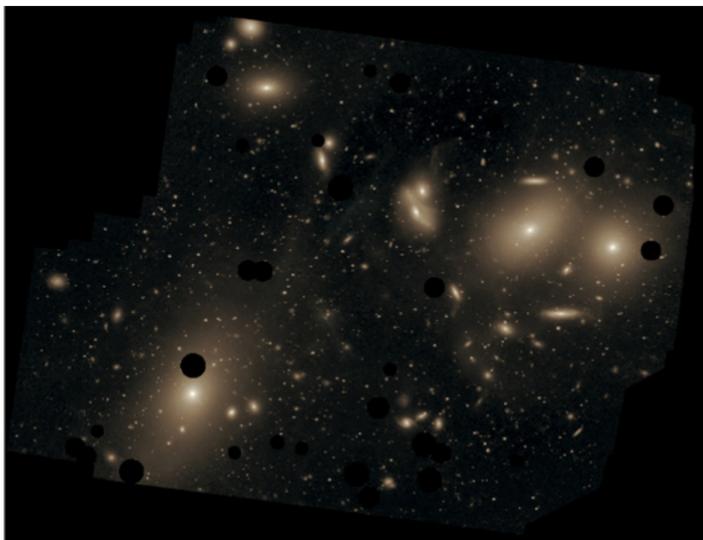


Figura 6: Imagen del cúmulo de Virgo. Los círculos negros se deben a estrellas que han sido recortadas para apreciar mejor las galaxias del cúmulo. La gran galaxia elíptica en la zona inferior izquierda es M87. Créditos: Chris Mihos (Case Western Reserve University)/ESO.

El cúmulo de Perseo es otro de los cúmulos de galaxias cercanos más masivos y brillantes, pero se encuentra a una distancia mayor. Situado a unos 240 millones de años luz de la Tierra, en la constelación de Perseo, este cúmulo también alberga miles de galaxias. Es conocido por su intensa emisión de rayos X, resultado de la presencia de gas extremadamente caliente, con temperaturas que alcanzan decenas de millones de grados. Su centro está dominado por la galaxia gigante NGC 1275, una galaxia activa que impulsa chorros de material a través del cúmulo, generando ondas de choque y cavidades en el gas caliente circundante. Estas características hacen del cúmulo de Perseo un laboratorio ideal para estudiar la física del plasma caliente, la dinámica de los agujeros negros y la evolución de los cúmulos de galaxias.

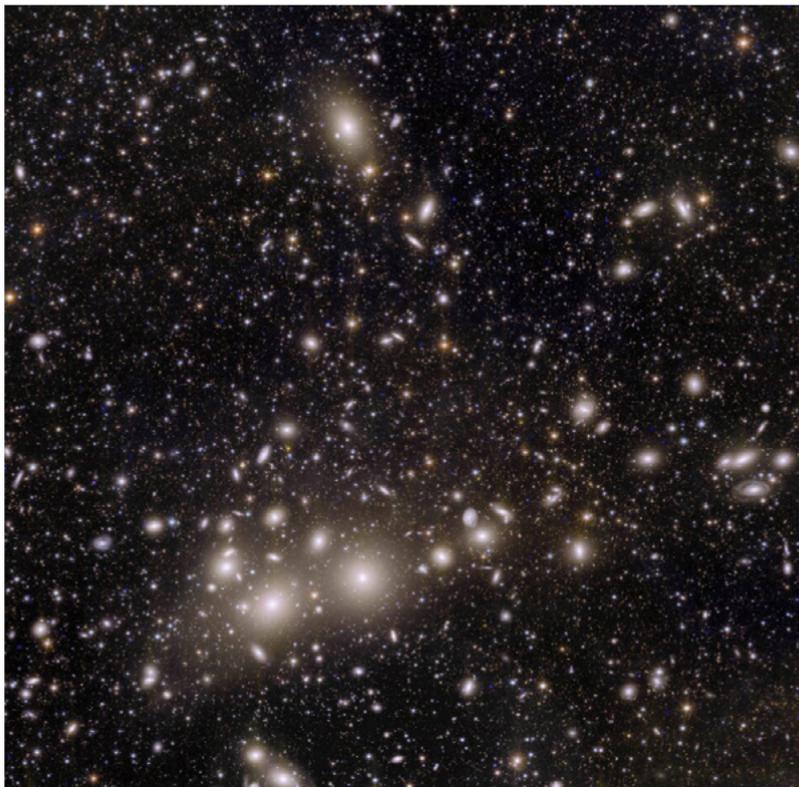


Figura 7: Imagen del cúmulo de Perseo. Las dos galaxias más brillantes que se ven en la zona inferior son las gigantes NGC 1275 (a la izquierda) y NGC 1272 (a la derecha). Créditos: ESA/Euclid.

A unos 320 millones de años luz de la Tierra, en dirección a la constelación de Coma Berenice, encontramos uno de los cúmulos de galaxias más conocidos y estudiados, el cúmulo de Coma. Se trata de un cúmulo rico formado por más de un millar de galaxias. La mayoría de estas son galaxias elípticas, especialmente en su núcleo, dominado por dos gigantes elípticas, NGC 4874 y NGC 4889. Estas gigantes, junto con el denso entorno de galaxias envejecidas, le confieren al cúmulo una apariencia homogénea y tranquila. En las regiones más externas, es posible encontrar algunas galaxias espirales, aunque en menor número. Como veremos más adelante, gracias a este cúmulo se obtuvo una de las primeras evidencias de la historia de la existencia de la materia oscura.

Un poco más lejos de nosotros, a unos 500 millones de años luz de distancia, se encuentra el cúmulo de Hércules, otro cúmulo bien estudiado, y notablemente diferente de los anteriores. Tiene alrededor de 200 galaxias, lo que lo hace menos rico que el de Virgo, el de Perseo y el de Coma. Sin embargo, la mayor diferencia la encontramos en el tipo de galaxias que contiene. Muchas son galaxias espirales en las que se están formando estrellas jóvenes, y también hay numerosas galaxias que están interactuando entre sí. A diferencia de otros cúmulos, las galaxias en Hércules no están muy concentradas en el centro. Por estas razones se piensa que podría ser un cúmulo más joven en las primeras etapas de su evolución.



Figura 8: Imagen del cúmulo de Hércules. Los recuadros destacan tres de sus múltiples galaxias en interacción. En el recuadro superior derecho se muestra una colisión entre dos galaxias espirales, NGC 6050 e IC 1179. En el recuadro inferior izquierdo se muestra una colisión entre dos galaxias elípticas, IC 1178 e IC 1181. En el recuadro inferior derecho se muestra una colisión entre una galaxia espiral y una lenticular: NGC 6040 y PGC 56942. Créditos: ESO/INAF-VST/OmegaCAM (imagen de fondo), SDSS (recuadro izquierdo) y ESA/Hubble (recuadros derechos).

Aún más lejos todavía, a unos 7 000 millones de años luz de distancia, encontramos a El Gordo, oficialmente conocido como ACT-CL 0102-4915. Este cúmulo, descubierto en 2012, es uno de los más masivos y lejanos que se han observado, y su nombre se debe a su enorme masa, estimada en más de 1 000 billones de masas solares. Está formado por dos cúmulos de galaxias en proceso de fusión, que se acercan a velocidades de millones de kilómetros por hora.

Estos son tan solo algunos ejemplos que muestran la variedad de cúmulos de galaxias en nuestro universo. En general, los cúmulos de galaxias muestran diferencias notables según su edad. Los cúmulos "viejos", como el cúmulo de Coma, han evolucionado durante miles de millones de años, y suelen ser estructuras estables y relajadas, con pocas colisiones entre galaxias. En ellos, las galaxias han agotado gran parte de su gas para formar nuevas estrellas, predominando las galaxias elípticas y lenticulares, que son más rojizas debido a su población estelar envejecida. Además, el gas intracúmulo suele haber alcanzado un estado de equilibrio hidrostático. Por otro lado, los cúmulos "jóvenes", como el de Hércules, suelen estar en proceso de formación y muestran mayor número de colisiones y fusiones de galaxias, así como de galaxias espirales en las que se observan regiones con formación estelar.

## Observación de cúmulos

Como mencionamos antes, hoy en día sabemos que las galaxias que vemos en las hermosas imágenes ópticas de los cúmulos de galaxias solo constituyen entre un 3 % y un 5 % de la masa total de un cúmulo. Entre un 10 % y un 12 % de su masa se encuentra en forma de gas intracúmulo, un gas muy caliente (con temperaturas de decenas de millones de grados) e ionizado que abarca todo el cúmulo, ocupando el espacio que hay entre las galaxias. Finalmente, la mayor parte de la masa de los cúmulos, aproximadamente el 85 %, proviene de un halo de materia oscura que también abarca todo el cúmulo, siendo generalmente más denso en el centro y menos denso a medida que nos alejamos del centro.

¿Y cómo han averiguado los astrónomos de qué están compuestos los cúmulos? Gracias a observaciones de gran cantidad de ellos en diferentes rangos de longitudes de onda del espectro electromagnético, desde longitudes de onda cortas con los rayos X y hasta longitudes de onda mucho más largas con microondas. Las distintas longitudes de onda nos proporcionan información sobre distintas componentes del cúmulo. Por ejemplo, en el rango óptico podemos ver las galaxias individuales, mientras que con rayos X y microondas lo que vemos es el gas intracúmulo.

### Óptico

Vamos a centrarnos primero en el rango de longitudes de onda con el que estamos todos más familiarizados, que es el óptico, es decir, la luz que vemos con nuestros propios ojos. En las imágenes ópticas, como la mayoría de las mostradas anteriormente, podemos ver las galaxias que conforman los cúmulos.

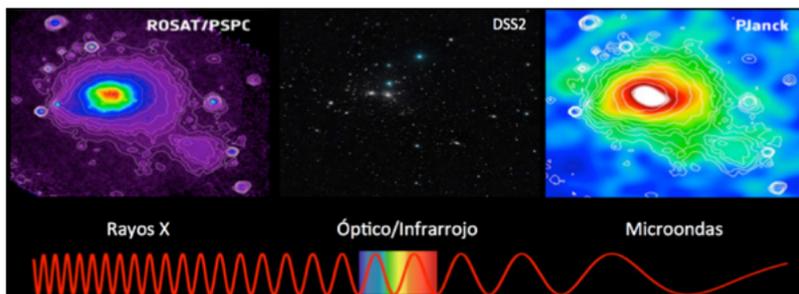


Figura 9: Tres imágenes del conocido cúmulo de Coma tomadas con tres tipos diferentes de telescopios. A la izquierda tenemos el cúmulo de Coma visto por un telescopio de rayos X, el satélite ROSAT. En el centro tenemos una imagen del mismo cúmulo tomada por un telescopio óptico, que es similar a las otras imágenes mostradas anteriormente. Y a la derecha tenemos una imagen construida a partir de observaciones tomadas por un telescopio de microondas, o ondas milimétricas, es decir, por un radio-telescopio: el satélite Planck. Créditos: ROSAT/DSS2/Planck.

Fue precisamente utilizando datos ópticos como se descubrieron los cúmulos de galaxias y como se catalogaron sistemáticamente por primera vez en la década de 1950. La forma en la que se encontraban originalmente era buscando sobredensidades de galaxias en placas fotográficas. El método consistía en encontrar las zonas del cielo donde se veían más galaxias que en los alrededores. Antes de que tuviéramos acceso a los ordenadores esto se tenía que hacer a ojo, lo que resultaba bastante tedioso. Usando este método, se podían identificar fácilmente los cúmulos ricos y brillantes. Sin embargo, también se podían identificar accidentalmente como cúmulos conjuntos de galaxias cercanas en la imagen pero que en realidad están muy separadas entre sí por estar a distancias muy diversas. Para evitar este problema se necesitan buenas mediciones de las distancias a las galaxias, lo cual resultaba complicado, especialmente para los objetos más lejanos y débiles.

Con el avance de la tecnología y el desarrollo de técnicas más sofisticadas, la detección de cúmulos de galaxias en el óptico ha mejorado significativamente. Hoy en día, se utilizan telescopios que proporcionan imágenes de alta resolución que son luego analizadas por algoritmos automáticos que buscan sobredensidades de galaxias de manera muy eficiente. Además, para abordar el problema de la proyección, donde galaxias que parecen cercanas en el cielo están en realidad a distancias muy diferentes, se emplean medidas o estimaciones del corrimiento al rojo (redshift), que permiten estimar con mayor precisión las distancias a las galaxias. Con estos datos de redshift, es

posible construir un mapa tridimensional del cúmulo y confirmar si las galaxias están realmente asociadas en un mismo grupo o si solo se trata de una alineación fortuita. Estos métodos modernos permiten la identificación de cúmulos más débiles y distantes, ampliando nuestro conocimiento sobre la distribución y evolución de las grandes estructuras del universo.

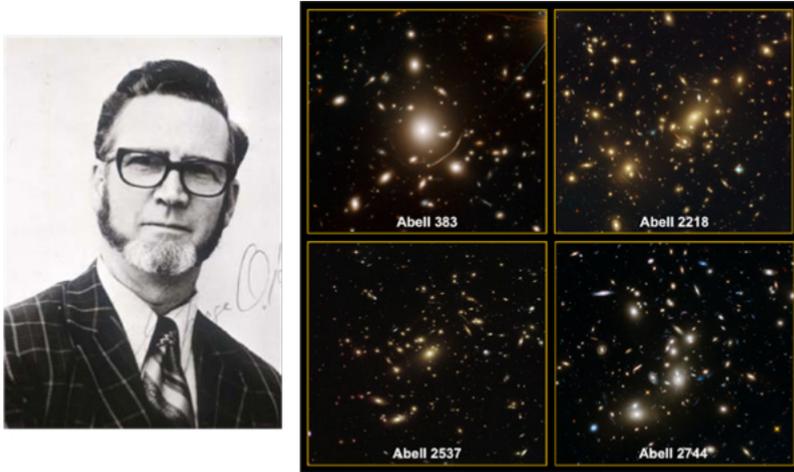


Figura 10: El astrónomo estadounidense George O. Abell compiló en 1958 uno de los primeros y más importantes catálogos de cúmulos de galaxias. El catálogo original de Abell incluye 2 712 cúmulos de galaxias del hemisferio norte, que fueron identificados visualmente a partir de placas fotográficas. En 1989, se incluyeron 1 361 cúmulos adicionales del hemisferio sur. En las imágenes de la derecha se muestran cuatro de los cúmulos identificados por Abell, vistos por el telescopio espacial Hubble.

## Rayos X

Vamos a pasar ahora a nuestro segundo método de detección y observación de cúmulos, los rayos X. Como dijimos antes, uno de los componentes de los cúmulos de galaxias es el gas intracúmulo, que es un gas que ocupa el espacio que hay entre las galaxias del cúmulo. Este gas está muy caliente ( $10^7$ - $10^8$  K), y por tanto, está ionizado, es decir, los electrones están separados de los núcleos de los átomos y se mueven a gran velocidad. Debido a la atracción gravitatoria del propio cúmulo el gas tiende a caer hacia el centro, y a medida que se mueve hacia el centro, va ganando velocidad. En algún momento, las partículas de gas se acercarán o chocarán unas con otras. Cuando un electrón pasa cerca de un ion, el electrón desvía su trayectoria,

emitiendo lo que se llama radiación de frenado, o *bremsstrahlung*. Esta radiación tiene un espectro continuo, y en el caso del gas intracúmulo, dada su alta temperatura, su máxima intensidad se da en rayos X. De este modo, al observar en rayos X, los cúmulos se distinguen fácilmente, ya que aparecen como zonas extensas, brillantes y difusas: estamos viendo el gas caliente intracúmulo, no las galaxias individuales.

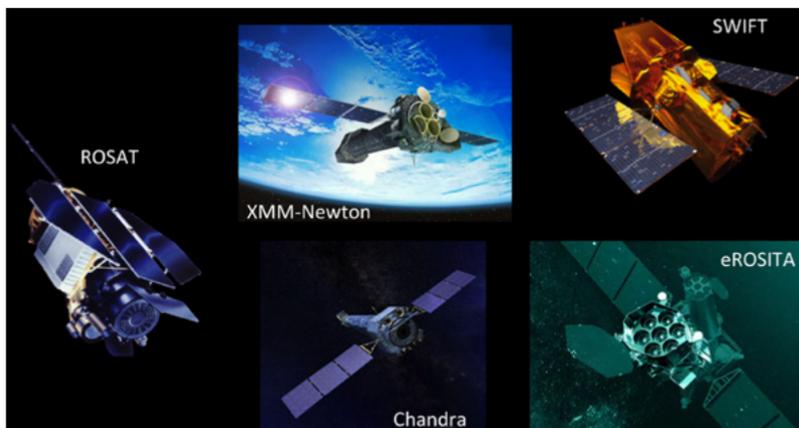


Figura 11: Algunos de los principales telescopios de rayos X que han contribuido al estudio de cúmulos de galaxias en rayos X.

Las observaciones de rayos X no se pueden realizar desde telescopios terrestres porque la atmósfera terrestre bloquea estos rayos, impidiendo que lleguen hasta la superficie. Así que es necesario enviar telescopios al espacio para observar en estas frecuencias. No fue hasta 1978 cuando se lanzó el primer observatorio de rayos X, Einstein, capaz de obtener imágenes detalladas del cielo, identificando algunas fuentes y sentando las bases para futuras misiones. Posteriormente, ROSAT, que operó en los años 90, fue el primer telescopio que realizó un mapa completo del cielo en rayos X. Gracias a él se descubrieron muchos cúmulos de galaxias. Telescopios posteriores, como XMM-Newton, Chandra y SWIFT, con mucha mayor resolución, permiten estudiar en detalle cúmulos concretos a los que se apunta. El telescopio más reciente, eROSITA, lanzado en 2019 con la misión de realizar un mapa en rayos X del cielo con mucha mayor resolución y sensibilidad que ROSAT, ha permitido descubrir nuevos cúmulos que en ROSAT eran demasiado débiles para ser detectados.

Las imágenes de rayos X nos proporcionan una valiosa información sobre el gas intracúmulo, ya que su luminosidad depende de su densidad y temperatura. Por tanto, midiendo la luminosidad en rayos X podemos estimar la densidad del gas, y de ahí obtener una estimación de su masa. De este modo se encuentra que, en promedio, el gas tiene unas siete veces más masa que las galaxias del cúmulo. Además, es posible estimar la masa total (incluyendo materia oscura) de algunos cúmulos asumiendo que el gas está en equilibrio hidrostático, es decir, que la atracción gravitatoria está equilibrada con la presión de radiación. Esta es una de las formas en que hemos inferido la existencia de materia oscura en los cúmulos.

### Microondas y el efecto Sunyaev-Zeldovich

Exploremos ahora un último método para encontrar cúmulos de galaxias, que utiliza telescopios de ondas milimétricas o microondas. Estas ondas electromagnéticas tienen frecuencias de cientos de GHz, situándose entre el infrarrojo y las ondas de radio. Cuando observamos el cielo en este rango de frecuencias, vemos una radiación proveniente de todas las direcciones: el denominado fondo cósmico de microondas. Esta radiación proviene de una etapa temprana en la historia del universo, cuando tenía apenas 370 000 años (ahora tiene 13 700 millones de años). De hecho, es la luz más antigua que podemos observar.

Esta luz viaja a través del espacio hasta llegar a nuestros telescopios aquí en la Tierra. Si en su camino esta radiación se encuentra con un cúmulo de galaxias, los fotones del fondo cósmico de microondas se encontrarán con los electrones libres que hay en el gas intracúmulo (recordemos que el gas está ionizado). Como la temperatura del gas intracúmulo es muy alta, sus electrones tienen mucha energía, y al encontrarse con los fotones del fondo cósmico de microondas, les transfieren parte de su energía. El resultado es que al atravesar el cúmulo, los fotones del fondo cósmico de microondas salen con más energía que la que tenían al entrar. En términos de frecuencia, o de longitud de onda, esto significa que los fotones salen con una mayor frecuencia, es decir, desplazados hacia el azul. Esto es lo que se conoce como efecto Sunyaev-Zeldovich, o efecto SZ. Así pues, cuando hacemos mediciones del fondo cósmico de microondas con nuestros telescopios, los cúmulos dejan una marca muy característica en el espectro, como una huella dactilar, que podemos utilizar para detectarlos. Esta técnica permite detectar cúmulos muy distantes, ya que el fondo cósmico de microondas ha viajado a través de enormes distancias. Esto significa que este

método nos permite encontrar cúmulos en las primeras etapas de evolución, dado que cuando observamos objetos muy lejanos, estamos mirando atrás en el tiempo, a épocas en las que el universo era más joven.

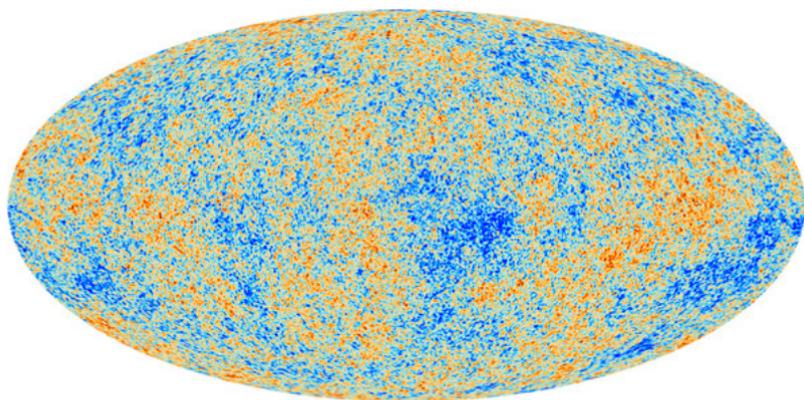


Figura 12: Anisotropías del fondo cósmico de microondas vistas por el satélite Planck. Los colores representan diferencias de temperaturas: el rojo indica zonas más calientes ( $+300 \mu\text{K}$ ) y el azul zonas más frías ( $-300 \mu\text{K}$ ) respecto a la temperatura media del fondo cósmico de microondas, que es de  $2.7 \text{ K}$ . Estas pequeñísimas fluctuaciones de temperatura corresponden a regiones de densidades ligeramente distintas, y son las semillas de las estructuras que vemos en el universo de hoy en día.

En los últimos años, hemos visto un gran aumento en la cantidad de cúmulos que se han detectado usando telescopios milimétricos. Esto ha sido principalmente gracias al telescopio espacial Planck y a los telescopios terrestres SPT, en el Polo Sur, y ACT, en el desierto de Atacama, Chile. Planck hizo un cartografiado completo de todo el cielo detectando más de 2 000 cúmulos, mientras que SPT y ACT, con mejor resolución y más de 5 000 cúmulos detectados hasta la fecha, permiten detectar cúmulos más débiles, aunque, al estar situados en tierra, solo pueden cubrir una parte del cielo.

Al igual que ocurría con los rayos X, los datos de microondas también proporcionan información sobre el gas intracúmulo, dado que es este el que genera el efecto observado. Así pues, podemos usar estas observaciones para conocer las propiedades del gas, e inferir a partir de ellas la masa del propio cúmulo.

## La materia oscura

Con estos tres métodos de detección, observaciones en el óptico, en rayos X y en microondas, hemos conseguido descubrir decenas de miles de cúmulos de galaxias. Sin embargo, mientras que en el óptico vemos las galaxias, y en rayos X y microondas observamos el gas, surge la pregunta: ¿qué ocurre con la materia oscura? Recordemos que la materia oscura constituye alrededor del 85 % de la masa total del cúmulo, es decir, es su componente predominante. ¿Es posible detectarla? Como su nombre sugiere, la materia oscura no es visible, ya que no emite radiación. Esto hace que no podamos verla directamente, pero sí podemos detectarla de manera indirecta a través de los efectos gravitatorios que produce.

### Descubrimiento de la materia oscura

En 1937 el astrónomo suizo Fritz Zwicky estudió las galaxias del cúmulo de Coma y notó que sus velocidades eran mucho más altas de lo que cabía esperar teniendo en cuenta la masa visible (la masa estimada a partir de las galaxias que se podían observar). Zwicky concluyó entonces que el cúmulo debía contener grandes cantidades de materia oscura escondida. Aunque el descubrimiento de Zwicky fue bastante ignorado en su época, fue en realidad una de las primeras evidencias claras que tuvimos sobre la existencia de la materia oscura. Sin embargo, no fue hasta los años 80 cuando la comunidad científica se convenció de la existencia de la materia oscura.



Figura 13: Fritz Zwicky.

La astrónoma estadounidense Vera Rubin proporcionó una contribución importante en este campo al observar las curvas de rotación de galaxias espirales, similares a la Vía Láctea. En nuestro sistema solar, sabemos que cuanto más lejos está un objeto del centro de su órbita, más lentamente se mueve. En los discos de las galaxias espirales, donde las estrellas giran alrededor del centro galáctico, se esperaba que ocurriese lo mismo, es decir, que las velocidades orbitales de las estrellas en las regiones externas disminuyeran a medida que se alejaban del centro de la galaxia. Sin embargo, Rubin observó que a medida que se alejaba del centro de sus galaxias, las velocidades no disminuían, sino que se mantenían constantes. Con ello concluyó que tenía que haber más masa de la que se veía: un halo de materia oscura invisible rodeaba las galaxias.



Figura 14: Vera Rubin.

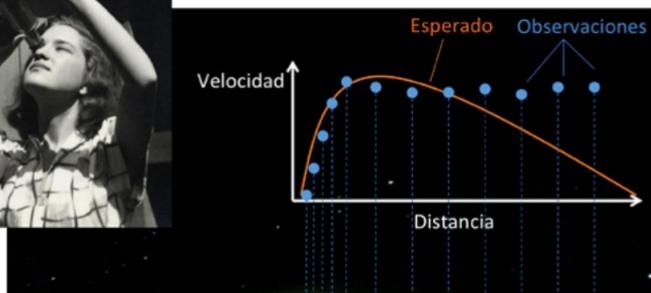


Figura 15: Esquema de la curva de rotación de una galaxia espiral. En naranja se muestra la curva esperada de la distribución de materia visible, en azul se muestran las observaciones, en las que la velocidad no disminuye con la distancia al centro.

### El efecto de lente gravitacional

A pesar de que la materia oscura es invisible, los efectos gravitacionales que provoca nos permiten detectarla de manera indirecta. Uno de los fenómenos que revela su presencia es el conocido como lente gravitacional.

Según la teoría de la relatividad de Einstein, el tejido del espacio-tiempo se curva como consecuencia de la presencia de materia en el espacio, y la curvatura es mayor cuanto más masiva sea dicha materia. Así, la gran masa de un cúmulo de galaxias puede curvar el espacio-tiempo y desviar la luz de objetos más distantes, creando imágenes distorsionadas de esos objetos.

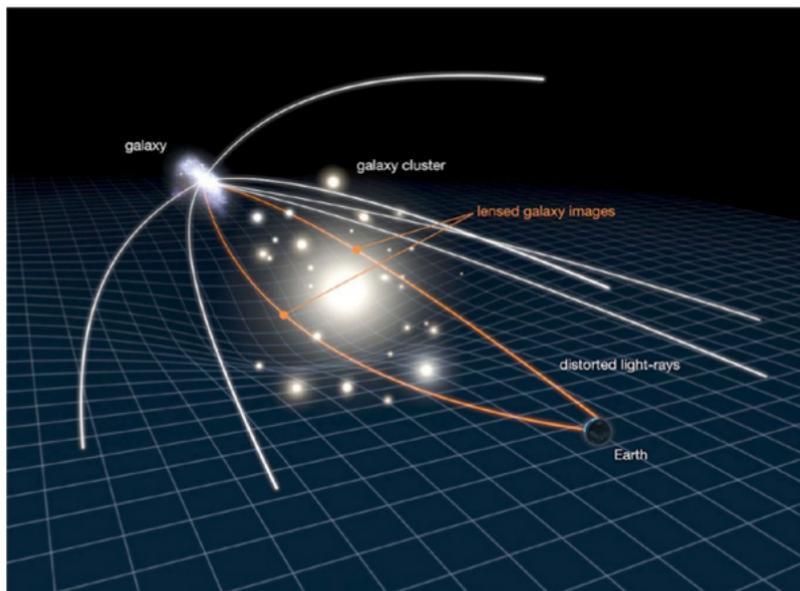


Figura 16: Ilustración del efecto de lente gravitacional producido por un cúmulo de galaxias. La cuadrícula representa el espacio-tiempo. En la parte superior izquierda vemos una galaxia lejana; en la parte inferior derecha, la Tierra; y en el centro, un cúmulo de galaxias cuya gran masa distorsiona el espacio. Debido a esta distorsión, la luz de la galaxia de fondo no viaja en línea recta, lo que resultará en que veamos la galaxia de manera distorsionada. Créditos: ESO/NASA.

Una forma de imaginar lo que ocurre es pensar en un colchón plano sobre el que se hace rodar una canica. Si no hay nada más sobre el colchón, la canica seguirá una línea recta. Sin embargo, si se coloca un objeto pesado, como una bola de billar, sobre el colchón, la canica ya no seguirá una línea recta si pasa cerca de la bola, ya que la bola de billar ha curvado la superficie del colchón. Del mismo modo, la luz en nuestro universo se desvía de su trayectoria recta cuando pasa a través o cerca de objetos masivos.

Los cúmulos de galaxias, debido a su enorme masa, producen un efecto de lente gravitacional muy notable, haciendo que los objetos situados por detrás de ellos se observen muy distorsionados, a menudo apareciendo como arcos, anillos o incluso múltiples imágenes del mismo objeto en el cielo.

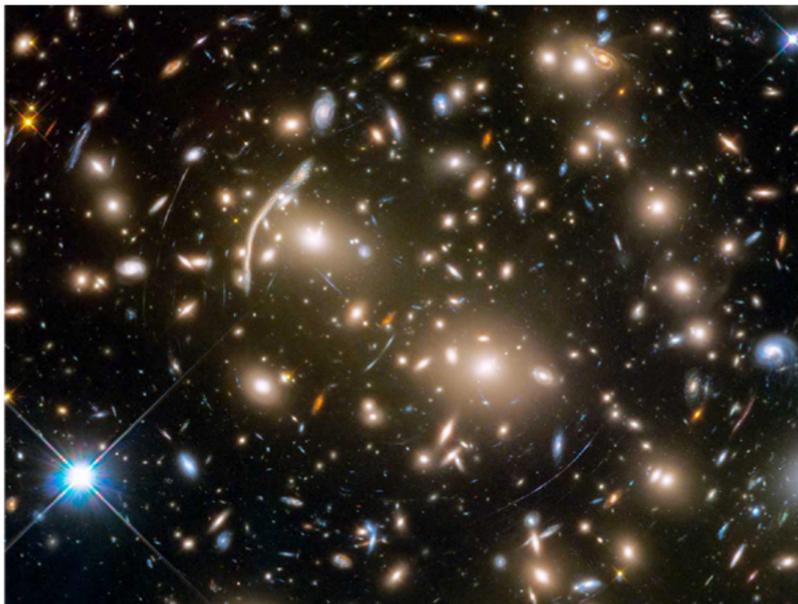


Figura 17: Imagen del cúmulo de galaxias Abell 370, donde se observan varias galaxias de fondo fuertemente distorsionadas (en forma de arco) debido al efecto de lente gravitacional producido por el cúmulo. Las galaxias del cúmulo son las que se ven de color amarillo y forma redondeada. Créditos: NASA, ESA, and J. Lotz and the HFF Team (STScI).

### Uso del efecto de lente gravitacional para estudiar la materia oscura

Midiendo las distorsiones producidas en la luz de las galaxias de fondo, los científicos pueden averiguar cuánta masa está provocando esas distorsiones, y cómo está distribuida. Este proceso es complejo, puesto que no conocemos la forma real de las galaxias de fondo, lo que impide medir directamente su distorsión. Sin embargo, si se dispone de una cantidad suficiente de galaxias distorsionadas de fondo, es posible realizar un análisis estadístico para estimar la distorsión promedio. Finalmente, mediante un proceso iterativo, se encuentra y ajusta la distribución de masa que mejor explica las distorsiones observadas. De este modo, al calcular cómo de distorsionadas aparecen las galaxias de fondo, podemos revelar cómo se distribuye la masa total del cúmulo de galaxias que actúa como lente.

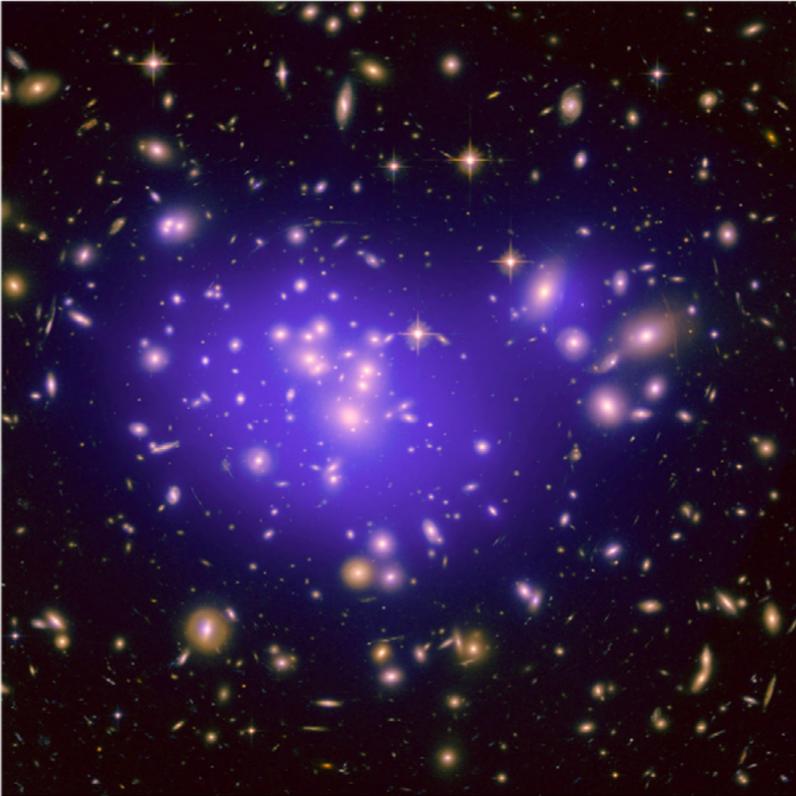


Figura 18: Imagen del cúmulo de galaxias Abell 1698. En color morado, y superpuesta a la imagen óptica, se representa la distribución de masa total, calculada a partir del efecto de lente gravitacional. Créditos: NASA, ESA, JPL- Caltech, Yale, CNRS.

El efecto de lente gravitacional no solo se utiliza para estudiar la distribución de masa en cúmulos de galaxias, sino que también se puede utilizar para mapear la distribución de materia en todo el universo. Analizando las distorsiones (ahora sutiles) en la luz de galaxias distantes causada por la presencia de materia, tanto visible como oscura, los astrónomos pueden crear un mapa de cómo la materia está distribuida a gran escala. Este método permite estudiar la red cósmica de filamentos y vacíos que conecta galaxias y cúmulos, proporcionando información valiosa sobre la naturaleza de la materia oscura y la evolución del universo.

## Cúmulo de la bala

Un ejemplo fascinante de cómo el efecto de lente gravitacional nos ha ayudado a comprender la materia oscura es el estudio del cúmulo de la bala. Este cúmulo de galaxias resultó de la colisión de dos cúmulos más pequeños, que chocaron de tal modo que uno de ellos atravesó al otro. Los astrónomos observaron que las dos nubes de gas intracúmulo interactuaron significativamente durante la colisión, creando una característica forma de bala, resultado de la desaceleración del gas causada por una fuerza de arrastre. Sin embargo, las galaxias individuales no experimentaron este freno y continuaron su movimiento sin apenas interacción.

Utilizando el efecto de lente gravitacional, los científicos pudieron mapear la distribución de la masa en este cúmulo. Sorprendentemente, descubrieron que la distribución total de masa no coincidía con la del gas intracúmulo, que es la componente visible dominante, sino que estaba concentrada en las regiones donde se encontraban las galaxias.



Figura 19: Imagen compuesta del cúmulo de la bala donde podemos ver las distintas componentes. Las galaxias aparecen en blanco y naranja. En rosa se superpone una imagen de rayos X que muestra el gas intracúmulo. Por último, en azul se muestra la distribución de masa total del cúmulo, calculado mediante el efecto de lente gravitacional. Créditos: X-ray: NASA/CXC/CfA/M.Markevitch, Optical and lensing map: NASA/STScI, Magellan/U.Arizona/D.Clowe, Lensing map: ESO WFI.

Este desplazamiento entre la materia visible (el gas) y la masa total (deducida por lente gravitacional) demostró que la mayor parte de la masa del cúmulo no interactúa significativamente con el gas ni con

otras partículas. Esto sugiere que tiene que existir una cantidad considerable de materia oscura, y que esta se comporta de manera diferente a la materia visible, pues no experimenta las fuerzas de arrastre. Así, el cúmulo de la bala proporcionó evidencia directa de la existencia de la materia oscura y confirmó que esta no interactúa con la materia ordinaria, excepto a través de la gravedad.

### Detección de objetos muy lejanos

El efecto de lente gravitacional producido por los cúmulos de galaxias, además de distorsionar las imágenes de los objetos de fondo, también puede amplificarlas de manera muy significativa. Esto permite detectar y estudiar objetos astronómicos que, de otro modo, estarían fuera de nuestro alcance debido a su gran distancia y debilidad.

Un ejemplo destacado es el descubrimiento de las estrellas más lejanas conocidas. El récord actual lo tiene Earendel, descubierta en 2022 por el telescopio espacial Hubble. Earendel fue detectada gracias a la lente gravitacional producida por el cúmulo de galaxias WHL0137-08, que amplifica su luz unas 4 000 veces. Se trata de una estrella masiva de tipo B, un millón de veces más luminosa que el Sol, cuya luz ha viajado durante 12 900 millones de años hasta llegar a la Tierra. Earendel se encuentra en una era temprana del universo, cuando este tenía apenas 1 000 millones de años, por lo que su estudio ofrece una oportunidad única para comprender mejor la formación de las primeras generaciones de estrellas, compuestas únicamente de hidrógeno y helio.



Figura 20: Imagen del telescopio espacial James Webb de la NASA que muestra, a la izquierda, el cúmulo de galaxias WHL0137-08, y a la derecha, un recuadro que destaca la galaxia Sunrise Arc (Arco del Amanecer), fuertemente magnificada, donde se encuentra Earendel, la estrella más lejana jamás detectada. Créditos: Imagen: NASA, ESA, CSA, D. Coe (STScI/AURA for ESA; JHU), B. Welch (NASA-GSFC; UMD). Procesado: Z. Levay.

La anterior poseedora del récord fue Icarus (oficialmente conocida como MACS J1149+2223 Lensed Star 1), descubierta en 2016 también por el telescopio Hubble, mientras estudiaba una supernova. Esta estrella fue detectada gracias a una potente lente gravitacional generada por el cúmulo de galaxias MACS J1149+2223 y un objeto individual dentro del cúmulo, que amplificó su luz unas 2 000 veces. Se trata de una supergigante azul cuya luz ha viajado durante unos 9 400 millones de años hasta alcanzar la Tierra.

Las lentes gravitacionales también permiten detectar objetos aún más lejanos, aunque más brillantes que las estrellas individuales. En particular, gracias a este efecto se han descubierto algunas de las galaxias más lejanas y tempranas, proporcionando información clave sobre la formación y evolución de las primeras estructuras galácticas.

Un ejemplo es la galaxia MACS0647-JD, descubierta en 2012 gracias a la combinación de los telescopios Hubble y Spitzer y al efecto de lente gravitacional producido por el cúmulo de galaxias MACSJ0647.7+7015. La luz de esta galaxia ha viajado durante 13 300 millones de años para alcanzar la Tierra y está situada en una época en la que el universo tenía 430 millones de años, tan solo un 3 % de su edad actual. Recientemente, imágenes del telescopio JWST han revelado que tiene dos componentes, una más azul y otra más roja, que podrían ser galaxias en proceso de fusión o diferentes componentes estelares dentro de la misma galaxia.

## Los cúmulos como sondas cosmológicas

Más allá de su capacidad para amplificar la luz de objetos lejanos, los cúmulos de galaxias también funcionan como verdaderas "sondas cosmológicas". Esto significa que, a través del estudio de su formación, distribución y crecimiento, podemos inferir características globales del universo y mejorar nuestros modelos cosmológicos, es decir, nuestros modelos sobre cómo funciona el cosmos.

Pero ¿qué es exactamente una sonda cosmológica? Se trata de un objeto o fenómeno observable cuyas características están relacionadas con el comportamiento del universo en su conjunto. Estas sondas nos permiten estimar los valores de diferentes parámetros de nuestros modelos cosmológicos, como la cantidad de energía oscura, la cantidad de materia oscura, o la cantidad de estructura que vemos en las diferentes épocas. Entre las sondas más poderosas destaca el fondo cósmico de microondas, y ello se debe a que su espectro depende fuertemente de muchos parámetros cosmológicos. Pero también contamos con otras sondas importantes, como las supernovas de tipo Ia, las lentes gravitacionales, y las oscilaciones bariónicas

acústicas. Y, por supuesto, no podemos olvidar a nuestros amigos los cúmulos de galaxias.

La formación de cúmulos de galaxias está directamente relacionada con la distribución de la materia en el universo. Su abundancia depende tanto de la historia de expansión del Universo, que va diluyendo su densidad numérica, como de la tasa de crecimiento de la estructura cósmica. Esta doble dependencia hace que el estudio de los cúmulos de galaxias sea particularmente interesante, ya que midiendo su abundancia en función de su masa y corrimiento al rojo podemos afinar nuestros modelos cosmológicos. Por ejemplo, si observamos que hay más cúmulos de los que esperábamos según una teoría determinada, o que crecen mucho más rápido, esto nos indicará que debemos actualizar nuestras teorías sobre el funcionamiento del universo.

Los cúmulos de galaxias proporcionan una información que es complementaria a la que obtenemos de otras sondas cosmológicas, por lo que la combinación de varias sondas es una herramienta muy poderosa para comprender cómo se está expandiendo el universo y cómo se comporta en general.

## Conclusiones

Gracias a observaciones en el óptico, rayos X y microondas, hemos detectado decenas de miles de cúmulos de galaxias que nos ayudan a comprender la estructura y evolución del universo. Estas enormes estructuras son laboratorios cósmicos naturales donde los astrónomos pueden observar la interacción entre galaxias, gas caliente y materia oscura, proporcionando información valiosa sobre los procesos físicos que intervienen en la formación de galaxias y otras estructuras cósmicas. Debido a su enorme masa actúan como lentes gravitacionales naturales, permitiéndonos descubrir objetos muy lejanos y ofreciéndonos una ventana hacia las primeras etapas del universo. Además, la distribución y evolución de los cúmulos de galaxias a lo largo del tiempo nos brinda información sobre la composición del universo, en particular sobre la materia oscura y la energía oscura, y sobre los procesos que han moldeado el cosmos desde sus inicios. En el futuro, con los avances tecnológicos en telescopios que operan en diferentes longitudes de onda, como el JWST, el Simons Observatory, o eROSITA, esperamos que los cúmulos de galaxias sigan ayudándonos a descubrir los secretos del universo.

# 20 años del Observatorio Virtual Español

**Alba Aller Egea**  
Astrónoma del Observatorio Astronómico Nacional (IGN)

## Resumen

El Observatorio Virtual es una iniciativa de carácter internacional cuyo objetivo principal es optimizar y garantizar el acceso y la explotación científica de la ingente cantidad de datos que ofrecen los diferentes archivos astronómicos de todo el mundo, facilitando la interoperabilidad de los mismos. Para ello, el Observatorio Virtual proporciona un extraordinario entorno de investigación a la comunidad científica, que incluye desde archivos estandarizados hasta diversas herramientas de análisis que permiten abordar retos antes inimaginables, y de manera mucho más efectiva, dinámica y eficiente. En 2024 se cumplen 20 años del primer proyecto del Observatorio Virtual Español y de su entrada en la Alianza Internacional del Observatorio Virtual. Dos décadas en las que España ha contribuido muy activamente al éxito de este proyecto global.

## Nacimiento del Observatorio Virtual

El concepto de Observatorio Virtual (también conocido como VO por sus siglas en inglés) surgió en el año 2000, en el marco de dos conferencias internacionales que tuvieron lugar en el verano de ese año y que fueron el germen de lo que hoy conocemos. La primera de esas conferencias tuvo lugar en Pasadena (California), bajo el título "*Virtual Observatories of the Future*". El objetivo de esta reunión era explorar las posibilidades de la nueva astronomía con los grandes

cartografiados del cielo que se abrían paso en ese momento y sus correspondientes archivos, así como definir las necesidades técnicas y el mandato del futuro VO nacional (y, en última instancia, mundial). La segunda de las conferencias que marcó un antes y un después en la definición del actual VO, se celebró en este lado del mundo, en Garching (Alemania), y tenía por título “*Mining the Sky*”. En ella, se discutieron los nuevos métodos de minería de datos astronómicos, abarcando desde el almacenamiento, acceso, procesado y análisis hasta la visualización de los mismos, con especial énfasis en las grandes bases de datos que estaban surgiendo en esos momentos.



Figura 1: Logos de las diferentes organizaciones que forman parte de la Alianza Internacional para el Observatorio Virtual (IVOA). El Observatorio Virtual Español (SVO, justo debajo del logo de IVOA, en la parte central), entró en la Alianza en 2004.

Estas reuniones dieron pues el pistoletazo de salida a un esfuerzo conjunto internacional por coordinar y gestionar el acceso óptimo y eficiente a la enorme cantidad de datos que empezó a generarse de manera masiva a principios de este milenio. Como consecuencia de estas necesidades, y apenas un par de años más tarde de estas conferencias, en junio de 2002 se forma la Alianza Internacional para el Observatorio Virtual (o IVOA por sus siglas en inglés). IVOA<sup>1</sup> es una organización que debate y acuerda las normas técnicas necesarias para hacer posible el VO. También actúa como centro para debatir y compartir ideas y tecnología del VO, así como organismo para promover y publicitar el VO a nivel internacional.

En el momento de su formación, IVOA tenía representación de unos pocos países. Poco a poco, más y más países y organizaciones fueron incorporándose a esta iniciativa. Actualmente, IVOA comprende 23 programas de VO repartidos por todo el mundo: Alemania, Argentina, Armenia, Australia, Brasil, Canadá, Chile, China, Francia, India, Italia, Japón, Kazajistán, Países Bajos, Rusia, Sudáfrica, Ucrania, Reino Unido, Estados Unidos, Euro-VO, la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Square Kilometre Array (SKA) como organizaciones intergubernamentales y, por supuesto, España. En la figura 1 se muestran los logos de todos los miembros que actualmente forman parte de la alianza.

La adhesión a esta Alianza sigue abierta a otros proyectos nacionales e internacionales de acuerdo con las Directrices de participación que marca la propia IVOA.

## Entrada del Observatorio Virtual Español en la alianza

Aunque España estuvo presente en IVOA desde sus comienzos, no fue hasta dos años más tarde de su creación, en el 2004, cuando nuestro país entró a formar parte oficialmente del VO bajo el paraguas de esta alianza.

Como se ha mencionado anteriormente, IVOA cuenta con una serie de directrices que indican quién puede formar parte de la alianza. Uno de los requerimientos es la necesidad de que los diferentes equipos de desarrollo y los proveedores de datos se organicen a nivel nacional. Es decir, los observatorios individuales o las universidades no son candidatos a ser miembros de IVOA. Y otro matiz importante es que todas las colaboraciones VO, tanto nacionales como internacionales, tienen que estar apoyadas por la correspondiente financiación.

---

<sup>1</sup> <https://ivoa.net/>

Es por eso que no fue hasta 2004, cuando se aprobó el primer proyecto del Observatorio Virtual Español (o SVO por sus siglas en inglés) financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de entonces, que España no pudo ser miembro de IVOA. Este proyecto estaba coordinado por el Dr. Enrique Solano Márquez, investigador científico del Centro de Astrobiología (CAB), desde donde se desarrollan y coordinan desde entonces todas las acciones referentes al VO en España. El CAB es un centro español de investigación que depende tanto del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) como del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Es un centro interdisciplinar, en el que se integran cuatro grandes departamentos denominados: evolución molecular, planetología y habitabilidad, instrumentación avanzada y astrofísica. Es dentro de este último donde se incluye el grupo del SVO.

Desde el 2004, el SVO ha estado continuamente financiado a través de diversas convocatorias, haciendo posible que esta iniciativa continúe. Este proyecto, además, se encuentra en perfecta consonancia con los principios expresados en el programa marco Horizonte Europa de investigación e innovación de la Unión Europea, de creación de infraestructuras de investigación abiertas y accesibles para fomentar el progreso científico y la innovación. Durante todos estos años, el SVO se ha encargado de la gestión de diferentes archivos científicos y de los servicios y herramientas asociadas, entre otros.

## Los pilares que lo sostienen: principios FAIR

Los principios FAIR son la base y el principal objetivo del VO. FAIR significa que los datos tienen que ser *Localizables*, *Accesibles*, *Interoperables* y *Reutilizables* (del inglés *FAIR* – *Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable*). Pero, ¿qué significa esto exactamente?

*Localizables* hace referencia a que tanto los datos como los metadatos deben ser fáciles de encontrar, tanto para el ser humano como para una máquina. Se trata de un componente esencial para el descubrimiento automático de conjuntos de datos y servicios. *Accesibles* es que, una vez que el usuario o la máquina encuentre los datos, debe saber cómo acceder a ellos. Además, los datos deben poder *interoperar* con otras aplicaciones o herramientas para su análisis, almacenamiento y/o procesamiento. Y, por lo general, los datos deben poder integrarse con otros datos. Por último, el objetivo último es optimizar la *reutilización* de los datos. Para lograrlo, los datos deben estar bien descritos para que puedan reproducirse y/o combinarse en distintos entornos.

Así, es el VO el que se encarga, de manera coordinada, de promover y garantizar que todos los datos astronómicos, independientemente de su procedencia, operen bajo estos principios.

Estos principios FAIR no son específicos del ámbito astronómico, sino que trascienden mucho más allá, debiendo ser aplicables a cualquier investigación científica. La realidad es que, aunque afortunadamente esto es un hecho en astronomía gracias principalmente a la labor del VO, en otras disciplinas el cumplimiento de los principios FAIR es todavía un sueño. Como ejemplo de ello, el Profesor Sean Hill, uno de los directores del proyecto *“Human Brain Project”* (Proyecto Cerebro Humano), que supone un esfuerzo global de colaboración entre la neurociencia, la medicina y la informática para comprender el cerebro, sus enfermedades y sus capacidades computacionales, comentó lo siguiente (en una traducción literal) en su ponencia invitada en la reunión de IVOA celebrada en Madrid en 2014:

*“Cuando asistí a una reunión del Observatorio Virtual en astronomía, me sentí un poco como si me hubiera adentrado en el futuro. Ya han hecho muchas de las cosas que nosotros queremos hacer, en el sentido de que tienen observatorios de todo el mundo que comparten, a través de una infraestructura común, los datos que obtienen. Y los están integrando en una visión unificada del cielo y de nuestro universo. Estos mismos datos contribuyen a construir simulaciones a gran escala del universo. Creo que eso es extremadamente inspirador. Si podemos disponer de una infraestructura común que nos permita tener una visión globalmente integrada de los datos que se producen, y de las herramientas para realizar simulaciones a gran escala a partir de los datos, habremos avanzado realmente en neurociencia.”*

Con estas palabras, el Profesor Sean Hill mostraba una profunda admiración por lo que se había logrado entonces en astronomía. De manera análoga, deseaba poder alcanzar el mismo objetivo en el campo de la neurociencia.

El cumplimiento de los principios FAIR en el desarrollo de la ciencia sí que se priorizó, afortunadamente, cuando en 2020 la pandemia del COVID paralizó nuestras vidas. En ese momento se firmó el *“Manifiesto por la investigación del COVID-19 de la Unión Europea”*, un documento desarrollado por la Comisión Europea para maximizar el acceso a los resultados científicos en la batalla contra el COVID. Este manifiesto tenía como objetivo garantizar que los resultados de cada investigación relacionada con el COVID-19 estuvieran disponibles y accesibles de forma rápida y gratuita para todos los investigadores, gobiernos y la sociedad en general, facilitando así una respuesta global y coordinada a la crisis sanitaria que vivimos en 2020. Uno de sus puntos dice textualmente *“Hacer los artículos científicos y los datos de las investigaciones de acceso libre sin demora y siguiendo los principios FAIR (...)”*. Es pues, un claro ejemplo de cómo debería ser y desarrollarse la ciencia en cualquier disciplina: ciencia abierta.

Volviendo al caso que nos ocupa, que es la astronomía, para conseguir sus objetivos siguiendo los principios FAIR, IVOA marcó una hoja de ruta con cuatro pasos fundamentales, los cuales se ilustran en la figura 2:

- El primero, fue el de desarrollar estándares y protocolos que permitan un acceso homogéneo a la información existente en los archivos astronómicos.
- El segundo, es el de implementar dichos estándares y protocolos en los diferentes centros de datos astronómicos, que permita una homogeneización de los mismos y la interoperabilidad deseada.
- El tercero pasa por desarrollar herramientas de localización y análisis de esos datos estandarizados previamente.
- Finalmente, es necesario fomentar el uso de estas herramientas por parte de la comunidad astronómica, tanto profesional como amateur (e, incluso por el público en general) para realizar un tipo de investigación que, fuera de VO, se realizaría de manera muy ineficiente o, simplemente, no podría llevarse a cabo.



Figura 2: Hoja de ruta marcada por IVOA con base en los principios FAIR. Los pasos a seguir incluyen (1) el desarrollo de estándares y protocolos VO, (2) la implementación de dichos estándares en los diferentes centros de datos, (3) el desarrollo de herramientas de análisis y (4) el fomento del desarrollo de nueva ciencia que se beneficie de todos los pasos anteriores.

Esta hoja de ruta que deben seguir los diferentes proyectos VO repartidos por todo el mundo se concreta en acciones como la creación de archivos astronómicos, el desarrollo de herramientas de análisis, la generación de conocimiento en base a esas herramientas y datos, así como el fomento de las actividades de formación. A continuación se describen estas acciones y la labor que realiza el SVO en cada una de ellas.

## Archivos astronómicos: datos, datos y más datos

Desde la década de los 90 hasta la actualidad, el volumen de datos astronómicos ha ido aumentando masivamente, gracias principalmente a los avances tecnológicos en instrumentación y observación que se han llevado a cabo durante estas últimas décadas. El uso de telescopios espaciales y terrestres cada vez más potentes y sofisticados, capaces de generar cantidades ingentes de datos, ha hecho posible este crecimiento prácticamente exponencial.



Figura 3: Telescopio espacial Hubble. Fuente: NASA, ESA.

Conviene situarnos y poner en contexto este avance tan espectacular. En la década de los 90, los datos astronómicos eran recolectados principalmente mediante telescopios ópticos y radiotelescopios terrestres. Con los primeros grandes telescopios espaciales, como el Telescopio Espacial Hubble (HST, figura 3), puesto en órbita en 1990, la astronomía digital comenzó a tomar relevancia. Es cierto que antes del Hubble ya había en órbita otros telescopios espaciales que contribuyeron enormemente a los avances en astronomía, como es el caso del International Ultraviolet Explorer (IUE), operativo entre 1978 y 1996, y pionero en el desarrollo de archivos astronómicos. Pero también es cierto que el volumen de datos generado por el IUE era mucho menor que el de otros que vinieron después, como el del telescopio Hubble que mencionábamos antes. Desde su lanzamiento

hasta la actualidad, después de más de 30 años observando, el Hubble ha enviado a la Tierra una enorme cantidad de datos. En sus primeros años, recolectaba una media de entre 10-15 gigabytes por año. Ahora esas cantidades nos parecen casi ridículas (¡en cualquier dispositivo USB podemos almacenar mucho más que eso!), pero en aquella época fue un paso enorme en la obtención de datos astronómicos.

A finales de los 90 y principios de los 2000, la capacidad de observación y los instrumentos astronómicos fueron evolucionando, aumentando drásticamente el volumen de datos. El surgimiento de grandes cartografiados astronómicos como el Two Micron All-Sky Survey (2MASS, 1997-2001) o el *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS), que comenzó sus observaciones en el 2000 y continúa a día de hoy, fueron clave para este cambio. El SDSS, por ejemplo, fue pionero en generar grandes volúmenes de datos con mapas tridimensionales del universo. Durante su primera fase de observaciones, del 2000 al 2005, recopiló más de 10 terabytes (¡1 terabyte equivale a 1 000 gigabytes!) de datos, suponiendo un cambio enorme para los estándares de la época. En toda su andadura, ha obtenido más de 600 terabytes.

Pero podríamos decir que el comienzo de la era del *Big Data* en astronomía realmente explotó en la década de 2010, con telescopios y misiones espaciales que generan volúmenes de datos en la escala de petabytes (o lo que es lo mismo, ¡millones de gigabytes!). Misiones espaciales como Gaia, de la Agencia Espacial Europea (ESA), lanzada en 2013, que ha revolucionado la astronomía observacional con su mapa en tres dimensiones de la Vía Láctea y que en sus más de diez años de observación ha enviado más de 100 terabytes a la Tierra. O el Telescopio Espacial James Webb (JWST), lanzado en 2021, y que puede producir más de 235 gigabytes de datos al día de altísima resolución, en los que estamos viendo, por ejemplo, las primeras galaxias y la estructura del universo primitivo con un detalle antes inimaginable.

Estas misiones, y las que vendrán en un futuro próximo, como el Large Synoptic Survey Telescope (LSST), el Square Kilometre Array (SKA) o el Observatorio Vera C. Rubin, que previsiblemente generarán del orden de algunos terabytes por noche, son claros ejemplos del tremendo avance tecnológico y del cambio hacia la necesidad de infraestructuras de procesamiento de datos más avanzadas. Esta evolución ha traído consigo nuevos retos en términos de almacenamiento, procesamiento y análisis de datos, lo que ha impulsado también el desarrollo de técnicas de inteligencia artificial y computación en astronomía. Y el VO es, sin duda, la respuesta de la comunidad astronómica a este crecimiento de datos que continúa acelerándose sin descanso.

En particular, el SVO gestiona uno de los centros de datos astronómicos de referencia a nivel internacional, el Centro de Datos del CAB, donde se alojan, entre otros, el archivo del Gran Telescopio Canarias (GTC, figura 4) y el del Observatorio de Calar Alto, que son los dos archivos más importantes que el SVO ha desarrollado en términos de uso, volumen de datos e impacto científico. Además de desarrollar y gestionar estos grandes archivos y otros más reducidos, el SVO tiene también entre sus principales tareas dar apoyo y asesoramiento a otros centros de datos astronómicos españoles en la creación de sus propios archivos, para que estos se adapten a los estándares VO, y con el objetivo de crear una comunidad española de proveedores de datos VO lo más amplia posible. Esto encaja perfectamente con la idea de que el VO no se concibe como una base de datos monolítica y centralizada, sino todo lo contrario, su objetivo es crear una red de centros de datos distribuidos por todo el mundo. Este asesoramiento y formación está orientado no solo a los proveedores de datos profesionales sino también a la comunidad amateur, como veremos más adelante.



Figura 4: Gran Telescopio Canarias, Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

Entre estas labores de apoyo, podemos destacar el asesoramiento al Observatorio Astrofísico de Javalambre que el SVO brindó en las primeras etapas de desarrollo de su archivo de datos. Especialmente relevante también es la colaboración del SVO con el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) en el diseño y desarrollo de un archivo compatible con los estándares VO para su radiotelescopio de 40 metros. Situado en el Observatorio de Yebes,

este radiotelescopio (figura 5) opera en varias bandas en longitudes de onda centimétricas y milimétricas, y tanto de manera individual (antena única), como de forma coordinada con otros radiotelescopios (mediante observaciones VLBI). Actualmente, el Observatorio de Yebes se encuentra desarrollando dicho archivo para hacer públicos todos los datos científicos del radiotelescopio de 40 metros, y el SVO están prestando apoyo en varios aspectos del proyecto, incluyendo por ejemplo el estudio de la compatibilidad del actual modelo de datos, el diseño de un nuevo modelo de datos compatible con VO o el registro en el VO.



Figura 5: Fotografía del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yebes. Créditos: Instituto Geográfico Nacional.

Y cuando hablamos de archivos astronómicos y centros de datos, la interoperabilidad (de nuevo parte de los principios FAIR) es la palabra clave. La importancia de archivos de datos homogéneos, con los mismos estándares VO y que permitan un acceso fácil y la tan ansiada interoperabilidad, es decir, que se puedan “comunicar entre ellos”, se hizo más patente en la astrofísica moderna con la llamada astronomía multimensajero o astronomía multilongitud de onda.

Para entender esto, podemos hacer referencia a la parábola del elefante y las personas que no pueden ver. Imaginemos un grupo de personas a las que se les venda los ojos. Imaginemos también, aunque parezca imposible, que estas personas nunca han oído hablar ni han visto antes un elefante. Y puestos a imaginar, imaginemos que ese grupo de personas aprenden cómo es un elefante tocándolo por primera vez. Pero en esta historia, cada individuo con los ojos vendados toca una parte diferente del cuerpo del elefante, solamente una, como el costado o el colmillo. A continuación, cada uno describe su percepción y lo que cree que tiene ante sí, pero sus descripciones son muy diferentes entre sí. Por ejemplo, el que toca la pata piensa que es un árbol, aquel que toca la cola piensa que es una cuerda, el que toca el costado piensa que es una pared, y así cada uno de ellos. Es decir, cada persona describe al elefante basándose en su limitada experiencia. Esto, en la mayoría de los casos, les lleva a conclusiones erróneas y muy alejadas de la realidad. La figura 6 muestra una ilustración de esta representativa historia.

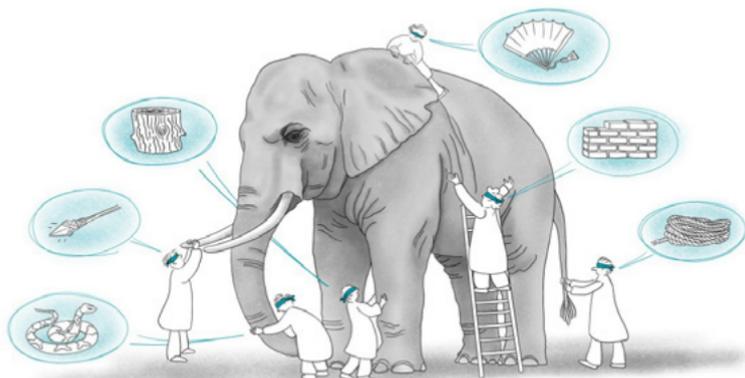


Figura 6: Ilustración de la parábola del elefante y las personas ciegas.  
Créditos: Luciana Giono (2022).

Llevemos ahora esto al ámbito astronómico. Cuando las astrónomas y astrónomos estudiamos cualquier objeto del cielo, ya sea un objeto estelar, una galaxia, etc., es no solo recomendable sino muchas veces necesario acceder a toda la información disponible del mismo en los diferentes rangos de longitud de onda del espectro (lo que supone acceder normalmente a diferentes archivos astronómicos). Esto nos permite tener una visión global del objeto de estudio y evitar llegar a conclusiones sesgadas como les pasaba a las personas que tocaban el

elefante. Con un vistazo rápido a la figura 7, podemos ver claramente a qué nos referimos. Este es un ejemplo de cómo se ve la nebulosa del Cangrejo, un resto de la supernova SN 1054, en los distintos rangos del espectro. Como puede observarse, la estructura filamentosa que por ejemplo podemos ver en luz visible (imagen de arriba a la derecha) desaparece por completo en una imagen en rayos-gamma (abajo a la derecha), donde la estructura es casi puntual. Así pues, la necesidad de estudiar este objeto con datos multirango es muy enriquecedora. Otro caso científico que ejemplifica muy bien la importancia de la astronomía multirango fue el descubrimiento en 2017 de una onda gravitacional consecuencia de la colisión de dos estrellas de neutrones. Su posterior seguimiento desde muy diferentes telescopios en distintos rangos de longitud de onda, como parte de una colaboración internacional, fue crucial para entender lo que realmente estaba ocurriendo en ese increíble evento astronómico.

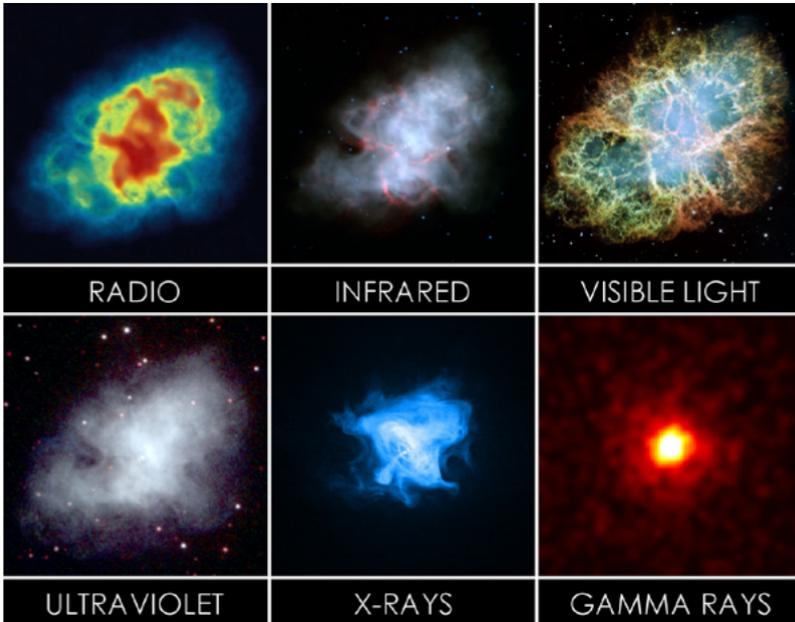


Figura 7: Imágenes de la nebulosa del Cangrejo en diferentes longitudes de onda. Créditos: NRAO/AUI and M. Bietenholz; NRAO/AUI and J.M. Uson, T.J. Cornwell (radio); NASA/JPL-Caltech/R. Gehrz / University of Minnesota (infrarrojo); NASA, ESA, J. Hester and A. Loll / Arizona State University (visible); NASA/Swift/E. Hoversten, PSU (ultravioleta); NASA/CXC/SAO/F. Seward et al. (rayos-X); NASA/DOE/Fermi LAT/R. Buehler (rayos gamma).

## Herramientas de análisis: para una ciencia más fácil

Una vez que disponemos de una ingente cantidad de datos llegando a nuestros archivos astronómicos de todo el mundo, ¿qué hacemos con ellos?, ¿cómo podemos analizar tanto volumen de datos de una manera óptima? Parece lógico pensar que el cambio en este almacenamiento masivo de datos, tiene que llevar aparejado también un cambio en el modo en el que nos relacionamos con ellos, en cómo los procesamos y analizamos. Hoy en día, es impensable tratar de abordar estos datos de la misma manera que hace dos décadas. Y la respuesta, una vez más, la tiene el VO. Como hemos comentado antes, uno de sus cometidos es el continuo desarrollo de herramientas de descubrimiento y análisis novedosas que hagan posible examinar los datos de una manera mucho más eficiente.

Si repasamos algunas de estas herramientas, no podemos dejar de mencionar a TOPCAT o Aladin Sky Atlas, ambas plenamente integradas en el VO. TOPCAT (Tool for OPERations on Catalogues And Tables) nos permite trabajar con tablas enormemente grandes, comparar datos propios con otros existentes en catálogos astronómicos, comparar catálogos entre sí o realizar operaciones entre ellos. Por su parte, *Aladin* (figura 8) es un atlas del cielo orientado a la visualización y análisis de imágenes astronómicas, de muy diferentes catálogos y longitudes de onda. Estas herramientas han facilitado enormemente el trabajo de las investigadoras e investigadores en astrofísica observacional.



Figura 8: Vista del visor principal de la herramienta Aladin Sky Atlas, con la galaxia Andr6meda como ejemplo.

En esta línea, también el SVO ha desarrollado numerosas herramientas a lo largo de su trayectoria para facilitar este análisis de datos. Todo el listado completo se puede encontrar en su portal web<sup>2</sup>. Aquí, por cuestiones de espacio, destacaremos brevemente las más usadas por la comunidad astronómica.

Empezaremos con VOSA<sup>3</sup> (acrónimo de *VO SED Analyzer*), una herramienta ampliamente utilizada en astronomía, como demuestran sus más de 4 300 usuarios, que han analizado más de 14 millones de objetos. VOSA permite obtener información sobre la temperatura, la luminosidad, el radio, la masa y otros parámetros físicos de estrellas y enanas marrones a partir de la energía que emiten dichos objetos astronómicos en diferentes longitudes de onda (en concreto en el óptico, infrarrojo y ultravioleta). De manera muy resumida, VOSA ofrece datos fotométricos (una medida de la cantidad de luz que nos llega de un objeto) de diferentes catálogos astronómicos y construye una distribución espectral de energía (o SED, por sus siglas en inglés) con dichos datos. A continuación, VOSA compara la SED observada con modelos teóricos. Estos modelos predicen cómo debería ser la SED de un objeto dadas sus propiedades físicas y, a través de esta comparación, nos proporciona información sobre los parámetros del objeto. En la figura 9 se muestra un ejemplo de una SED obtenida con VOSA para la estrella Altair, de la constelación del Águila. Cada color hace referencia a puntos fotométricos obtenidos con distintos telescopios (por ejemplo 2MASS, AKARI o IUE, entre otros).

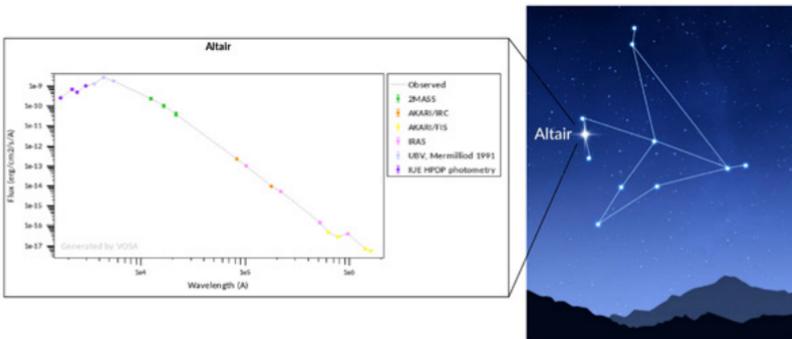


Figura 9: Ejemplo de una distribución espectral de energía (SED) obtenida con la herramienta VOSA del SVO de la estrella Altair, (izquierda) la estrella más brillante de la constelación del Águila, que puede observarse e observarse a simple vista en el cielo. A la derecha, representación gráfica de dicha constelación.

<sup>2</sup> <https://svo.cab.inta-csic.es/main/index.php>

<sup>3</sup> <http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa/index.php>

Otra de las herramientas estrella del SVO es el Servicio de Filtros (o FPS<sup>4</sup>, por sus siglas en inglés - *Filter Profile Service*), también ampliamente usada por la comunidad astronómica internacional. El FPS contiene información y descripción detallada de más de 10 000 filtros fotométricos, la mayor colección pública de este tipo, entre los que se incluyen filtros específicos de misiones de exploración del sistema solar y de observación de la Tierra. En el portal web del FPS podemos encontrar, para cada filtro individual, una pequeña descripción del mismo, su curva de transmisión, sus propiedades matemáticas y sus propiedades de calibración. El FPS es un servicio web muy completo que, además, sirve de base para otros servicios y aplicaciones, como son, por ejemplo, *Specphot* (que permite calcular la fotometría sintética de un espectro individual o una colección de espectros) o *COLCA* (con la que podemos obtener colores fotométricos dada una colección de modelos teóricos, un rango de parámetros físicos y una colección de filtros). En la figura 10 se muestra la evolución del número de publicaciones por año que han hecho uso de las herramientas VOSA (a la izquierda) y FPS (a la derecha) desde 2008 hasta octubre de 2024. Puede verse cómo estas herramientas han sido utilizadas ampliamente por la comunidad científica.

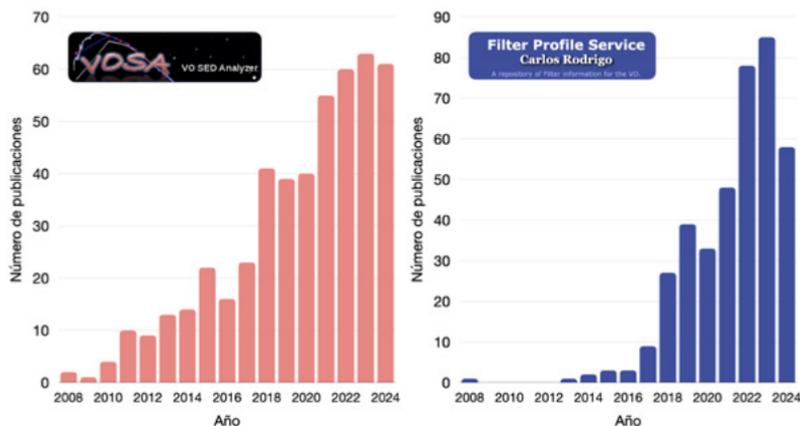


Figura 10: Histograma de las publicaciones arbitradas que han hecho uso de las herramientas VOSA (izquierda) y el Servicio de Filtros (derecha) desde el 2008 hasta octubre de 2024. Fuente: Astrophysics Data System.

Y, para cerrar esta sección, no podemos olvidarnos de las herramientas de análisis basadas en la inteligencia artificial y la minería de datos como el Machine Learning, que cada vez están más en auge.

<sup>4</sup> <http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/fps/>

El aumento exponencial de datos astronómicos que se está produciendo y se seguirá produciendo en los próximos años con la puesta en marcha de nuevas infraestructuras, hace necesario el desarrollo de nuevos entornos de análisis de datos que tengan en cuenta estas nuevas tecnologías. El SVO es consciente de ello y ya está embarcado en esta misión con el desarrollo de algunas líneas de trabajo en este campo. Un trabajo pionero fue la clasificación supervisada de las curvas de luz observada por la misión CoRoT o, más recientemente, la determinación de parámetros físicos de objetos ultrafríos observados por Gaia usando técnicas de interferencia bayesiana.

## Generación de conocimiento: ciencia con el Observatorio Virtual

Es importante no perder de vista el propósito de todos estos archivos y herramientas de análisis. El desarrollo de nuevos estándares, grandes archivos y centros de datos, así como de nuevas herramientas de análisis, tiene como fin último poder hacer ciencia, es decir, generar nuevo conocimiento. Es por ello que IVOA, ya desde 2009, creó el Comité de Prioridades Científicas, con el objetivo de mantener el impacto científico del VO, implicar a la comunidad astronómica e impulsar el desarrollo de nuevos servicios, protocolos y herramientas que desemboquen en el desarrollo de nuevos casos científicos.

Para alcanzar esta meta, es necesario que los servicios desarrollados por el VO tengan una clara orientación científica que facilite su uso por parte de la comunidad. Sin embargo, a menudo ocurre que la falta de familiaridad de la comunidad astronómica con el VO, es decir, la ausencia de vínculos sólidos entre el VO y los grupos de investigación, hace que el impacto científico de los esfuerzos del VO se diluya. Para que esto no ocurra, el SVO ha destinado gran parte de sus recursos, desde su creación, a acercar el VO a la comunidad astronómica española.

Como consecuencia, desde el SVO se vienen desarrollando durante todos estos años de trayectoria una serie de proyectos científicos en colaboración con otros grupos de investigación, utilizando la metodología y herramientas VO como base de los mismos. Nuevas líneas de investigación que sería casi inviable llevar a cabo fuera del marco VO. En esta estrecha colaboración con otros grupos tanto nacionales como internacionales para hacer lo que denominamos ciencia-VO, España, a través del SVO, está jugando un papel destacado dentro de la alianza internacional.

Entre las líneas de investigación que lidera o en las que participa el SVO podemos destacar algunas, aunque la lista es mucho más extensa. Con varios trabajos publicados en los últimos años, el análisis de objetos

transitorios (conocidos como “*transients*”) es uno de los proyectos en los que más se evidencia el alto potencial del VO. Los “*transients*” son fenómenos astronómicos que ocurren durante determinados periodos de tiempo, desde fracciones de segundo hasta semanas o incluso años, y que pueden deberse a distintas fuentes astrofísicas. La enorme cantidad de datos de archivo en diferentes longitudes de onda ofrece una oportunidad única para el análisis de estos objetos, lo que ha permitido al SVO explotar dicha información y dar un enfoque distinto a esta línea de investigación.

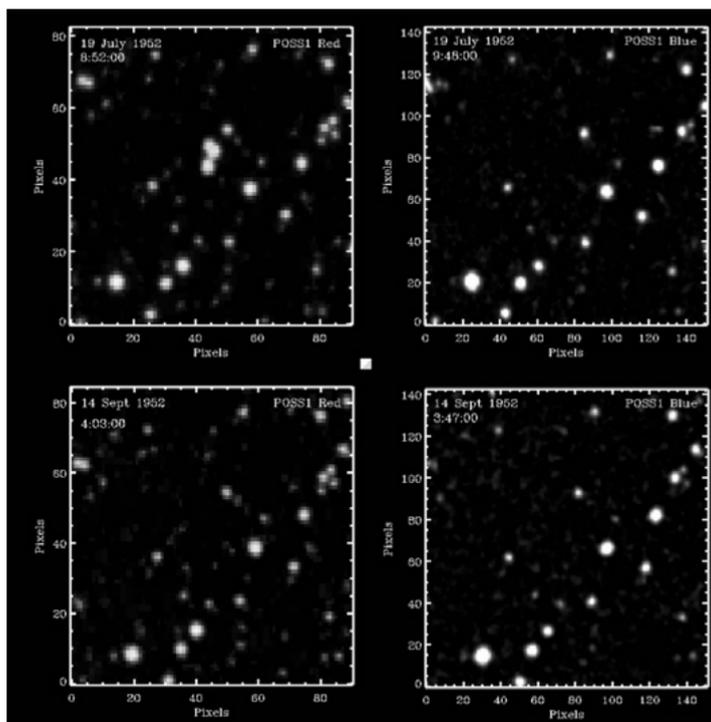


Figura 11: Ejemplo de un objeto transitorio triple. En el panel de arriba a la izquierda puede verse el objeto, centrado en la imagen, el cual se muestra ausente en el resto de las imágenes, que fueron tomadas con el mismo telescopio en momentos posteriores. Fuente: Solano y colaboradores (2024).

En la figura 11 se muestra un ejemplo del descubrimiento de uno de estos objetos, publicado por E. Solano y colaboradores en 2024. En la figura pueden verse cuatro imágenes de la misma región del cielo tomada en cuatro momentos diferentes de 1962 por el telescopio

Palomar Observatory Sky Survey (en los filtros rojo, paneles izquierdos, y azul, paneles derechos). En la imagen de arriba a la izquierda, puede verse un objeto triple (en el centro de la imagen), que no aparece en el resto de las imágenes. Según los autores del trabajo, la explicación más probable para este objeto transitorio sería un objeto de fondo amplificado por el efecto de una lente gravitatoria. Otra de las líneas de investigación en las que participa activamente el SVO es en el estudio de estrellas subenanas calientes, con varios artículos publicados en revistas científicas de primer nivel. Estas estrellas son objetos azules evolucionados, compactos, con una capa de hidrógeno extremadamente fina la cual todavía es motivo de debate entre la comunidad, aunque la mayoría de los modelos teóricos apuntan a que los sistemas binarios podrían ser la respuesta. En esta línea, el SVO ha trabajado en los últimos años en la estimación de la tasa de binariedad de las subenanas calientes, así como en el descubrimiento de nuevas de estas estrellas.

## Actividades de formación como elemento clave

Extender el uso de las herramientas y archivos VO es un reto para esta alianza internacional. Además de la colaboración directa con los propios grupos de investigación, la formación es un elemento clave para asegurar la adopción del marco del VO por parte de los astrónomos y astrónomas españoles. Es de gran importancia que las nuevas generaciones de astrónomos se familiaricen con este marco tan pronto como comiencen su carrera científica. En este contexto, las escuelas que organiza e imparte el SVO juegan un papel fundamental para alcanzar este objetivo (figura 12). De hecho, de entre todos los proyectos VO a nivel internacional, el SVO es sin duda el más activo en lo que a organización de escuelas se refiere.

Las escuelas VO organizadas en anteriores proyectos VO europeos y nacionales han demostrado ser el instrumento más eficaz para atraer a la comunidad astronómica hacia el VO mostrando sus capacidades en términos de descubrimiento, acceso y análisis de datos. El programa de las escuelas se suele estructurar en torno a cuatro pilares fundamentales. Primero, se realizan sesiones introductorias sobre el VO en general. Después, se realizan varias sesiones prácticas, guiadas por el equipo VO, las cuales suponen la mayor parte del tiempo destinado a la escuela. En estas sesiones se ofrecen diferentes tutoriales, adaptados al perfil de los participantes (ya sean amateurs, principiantes, profesionales, etc.), para que se familiaricen con las principales herramientas del VO y puedan explorar algunas de sus capacidades y características. Una vez que se han realizado estos tutoriales, los participantes pueden proponer casos prácticos relacionados con sus propios intereses científicos, que

abordan con la ayuda y asesoramiento del equipo experto. Por último, al final de cada escuela, se les pide a los participantes que completen una breve encuesta, de manera anónima, con algunas preguntas sobre la valoración de la escuela, la calidad, el nivel y la dificultad de los tutoriales, su conocimiento previo sobre el VO así como sus planes para el futuro uso del mismo. Los resultados de las encuestas se comentan en tiempo real antes de cerrar la escuela. Esta retroalimentación es crucial para mejorar diversos aspectos de las subsecuentes escuelas, como el programa y la organización de las mismas.

Desde los inicios, estas escuelas se llevaban a cabo de manera presencial. Sin embargo, la llegada de la pandemia del COVID-19 supuso un nuevo reto en la organización de estas escuelas, las cuales empezaron a realizarse en un formato «virtual». A pesar de las dudas iniciales, este nuevo formato resultó ser tremendamente exitoso y provechoso en todos los aspectos. Con estas escuelas remotas se pueden llegar a un público más amplio, independientemente de las restricciones geográficas y/o financieras, alcanzando algunas de ellas más de 100 participantes.



Figura 12: Uno de los tutores en una escuela SVO dando asesoramiento a una de las participantes.

La primera escuela SVO tuvo lugar en Granada en 2009. Desde entonces, se han llevado a cabo más de 30 escuelas tanto a nivel nacional (escuelas SVO) como a nivel europeo (escuelas Euro-VO). Estas escuelas han sido dirigidas a un público muy heterogéneo, desde estudiantes de máster y doctorado de universidades españolas y centros de investigación, a investigadores más seniors, así como a la Federación de Asociaciones Astronómicas de España. Cabe destacar también la I Escuela VO Latinoamericana o la escuela dirigida a la

Sociedad Astronómica Brasileña, las cuales resultaron tener una elevada participación. Estas actividades en las que el SVO lleva inmerso desde el comienzo de su trayectoria continúan reforzándose año tras año. Actualmente, se siguen realizando estas escuelas online mientras se reanudan gradualmente las escuelas presenciales.

## Más allá de la comunidad astronómica profesional

El SVO también destina parte de sus recursos y capacidades a llevar la ciencia a las aulas y a los hogares, utilizando infraestructuras telemáticas y herramientas profesionales para acceder a datos astronómicos reales y analizarlos de manera similar a como lo haríamos los astrónomos y astrónomas.

Las actividades educativas y de divulgación que el SVO lleva organizando a lo largo de su carrera, están destinadas tanto a estudiantes de secundaria y universidad, como astrónomos aficionados y público en general.

### Colaboraciones con la comunidad amateur

Llegar a la comunidad amateur y establecer colaboraciones con ella es también uno de los objetivos del SVO. La organización de dos escuelas VO especialmente adaptadas para ellos, una en 2021 y otra en 2023, con más de 100 participantes en cada una de ellas, es un buen indicio del interés que despierta el VO entre los miembros de esta comunidad. Así, acercar el VO y hacerles partícipes de su impacto es un propósito que se ha hecho realidad a través de diversos proyectos que se han ido poniendo en marcha durante la larga trayectoria del SVO.

Por un lado, el VO, en el marco de los proyectos Euro-VO y SVO, ha desarrollado una serie de casos prácticos y tutoriales que pueden ser de gran utilidad para las actividades de divulgación que llevan a cabo las diversas asociaciones de astrónomos aficionados. En estas guías se introducen una serie de conceptos astronómicos a través de la utilización de datos reales de archivo. Todos los casos prácticos comparten una misma estructura: tras una breve descripción del caso científico y de las herramientas VO a utilizar, se explica de manera detallada la metodología de análisis a llevar a cabo. El cálculo de la distancia a la galaxia Andrómeda o a la nebulosa del Cangrejo, la clasificación de galaxias según la Secuencia de Hubble o la generación del diagrama de Hertzsprung-Russell del cúmulo de las Pléyades, son algunos ejemplos de los casos prácticos que se pueden consultar. Además de para la comunidad amateur, este material didáctico también se

ha utilizado ampliamente para la enseñanza de la astronomía en los últimos cursos de secundaria, bachillerato y universidad.

Otro de los avances notables en las colaboraciones con la comunidad amateur es la del desarrollo de archivos astronómicos. Ya hemos hablado de la importante labor que hace el SVO en el desarrollo y mantenimiento de archivos astronómicos profesionales, como el del GTC o el de Calar Alto. Pero esta labor va más allá del ámbito profesional, ya que el SVO ofrece también la posibilidad de construir y alojar archivos para la comunidad de astrónomos aficionados, archivos que están plenamente integrados en la filosofía VO.

Esta posibilidad ha supuesto una gran oportunidad para diferentes grupos amateurs, que pueden ahora gestionar y almacenar todos sus datos de manera mucho más sencilla y ordenada, con equipos de mantenimiento a largo plazo y un acceso mucho más eficiente. Ejemplos de estos archivos son la base de datos de SASDABA, un archivo espectroscópico de estrellas brillantes de todo el cielo, en colaboración con el Observatorio Astronómico del Garraf (OAG), o también el archivo del Observatorio de Cielo Profundo de la Asociación Astronómica de Cartagena. De este modo, los datos de archivo de los astrónomos aficionados pueden compararse fácilmente con los de cualquier archivo «profesional», lo que también supone un avance en el impulso de las colaboraciones Pro-Am (Profesional-Amateur), que cada vez son más numerosas y fructíferas.

Una de estas colaboraciones con la comunidad amateur y en la que está involucrado el SVO es el proyecto sobre "identificación y caracterización de estrellas dobles olvidadas", que se está llevando a cabo junto con el OAG y la Agrupación Astronómica de Cartagena. Utilizando datos de la misión Gaia, se han confirmado y caracterizado más de 400 sistemas binarios y múltiples, resultados que han sido publicados en un artículo científico. Otro de los proyectos que se está desarrollando actualmente, también en colaboración con el OAG, es el estudio de nebulosas planetarias a partir de imágenes y espectros de las mismas, obtenidos en diversos telescopios, entre ellos el IAC80 en el Observatorio del Teide.

### Ciencia ciudadana con el Observatorio Virtual

Finalmente, pero no por ello menos importante, hay que destacar la labor que se hace desde el SVO para acercar la ciencia al público general, tratando de involucrar a todo tipo de audiencia en proyectos de investigación reales a través de diferentes actividades.

En este apartado hay que destacar el proyecto de identificación de asteroides cercanos a la Tierra, un proyecto que se lleva desarrollando desde 2011 y cuyo objetivo es proporcionar nueva información sobre

las órbitas de asteroides que se encuentran cerca de nuestro planeta y que podrían potencialmente colisionar con él. En la figura 13 se muestra una ilustración del proyecto. Cualquier persona puede desde su casa participar en este proyecto, sin necesidad de tener ningún conocimiento previo en astronomía, lo que lo hace especialmente atractivo para el público general. Solo con una conexión a internet y registrándose en la página del proyecto, se puede acceder a imágenes reales del cielo e identificar diferentes asteroides. Tras una inspección visual, es posible de manera muy sencilla medir sus coordenadas en cada imagen. Una vez que estas imágenes son validadas, los datos se envían al Centro de Planetas Menores con el fin de actualizar la información correspondiente a los parámetros orbitales de cada asteroide. El cartografiado que más está ayudando en esta identificación es el SDSS, el cual permite obtener fotometría del asteroide en hasta cinco bandas o filtros ( $u, g, r, i, z$ ) y construir una SED con la que podemos estimar la composición del asteroide. Este dato es importantísimo en lo que a defensa planetaria se refiere, ya que no sería lo mismo que impacte sobre la Tierra un potencial asteroide formado por un aglomerado de compuestos carbonáceos, el cual podría desintegrarse al contacto con la atmósfera, a que lo haga un asteroide compuesto principalmente de hierro.



Figura 13: Ilustración artística de un grupo de asteroides del sistema solar.  
Créditos: David Cabezas y SVO.

Con más de 4 000 usuarios registrados, este proyecto de ciencia ciudadana continúa siendo un éxito. No solo ha permitido mejorar el conocimiento de los parámetros de cientos de asteroides, sino que además ha aumentado en un 40% el número de asteroides cercanos a la Tierra con una clasificación taxonómica.

## Gran comienzo, brillante futuro

El SVO, a lo largo de sus 20 años de trayectoria, ha demostrado pues ser una iniciativa consolidada, tanto a nivel nacional como internacional, y de gran impacto en la comunidad científica. Desde sus inicios ha estado en constante evolución, adaptándose tanto a los avances tecnológicos como a las crecientes demandas de los investigadores. Su capacidad para integrar, gestionar y facilitar el acceso a grandes volúmenes de datos astronómicos ha sido clave para su reconocimiento a nivel internacional. Además, el desarrollo continuo de herramientas de análisis avanzadas, como VOSA, ha reforzado su capacidad de respuesta a las necesidades de la comunidad científica. Hoy en día, el SVO es una herramienta indispensable en la investigación astrofísica, permitiendo que científicos de todo el mundo puedan acceder a información de calidad y realizar análisis avanzados.

Además de su relevancia en la investigación astrofísica, el SVO ha desempeñado un papel fundamental en la formación de nuevas generaciones de astrónomas y astrónomos. A través de la organización de escuelas especializadas, ha facilitado el aprendizaje en el manejo de herramientas VO, garantizando que la comunidad científica esté preparada para enfrentar los desafíos futuros. Asimismo, el SVO ha promovido activamente proyectos de ciencia ciudadana, involucrando a la sociedad en la recopilación y análisis de datos astronómicos, lo que ha ampliado el alcance de sus investigaciones y ha fomentado una mayor conciencia pública sobre la astronomía.

La relevancia del SVO no solo se refleja en su capacidad de responder a las necesidades científicas actuales, sino también en su compromiso por continuar siendo un referente en la astronomía global, contribuyendo al desarrollo de nuevos descubrimientos, proyectos de vanguardia y a la formación de futuros científicos y científicas.

# El Matemático Rodríguez, director del Real Observatorio (1819-1823)

Rafael Bachiller

Astrónomo y director del Observatorio Astronómico Nacional (IGN)

## Resumen

El 30 de septiembre de 1824 falleció José Rodríguez González en Santiago de Compostela. Nacido en Lalín en 1770, este ilustre matemático, geodesta y astrónomo, ocupó la dirección del Real Observatorio Astronómico de Madrid desde 1819 hasta el final de sus días. En el año en que se conmemora el bicentenario de su fallecimiento, la Real Academia Gallega de Ciencias acordó nombrarlo “Científico gallego del año 2024”. Este artículo se suma al homenaje rememorando los años que el Matemático Rodríguez pasó en Madrid afanándose por recuperar el Observatorio que, tras la invasión napoleónica, había quedado en un estado lamentable.

## Introducción: Madrid, 1819

Los seis largos años de la guerra de la Independencia habían dejado una España muy maltrecha. Había sido una lucha durísima en la que no solo habían participado los ejércitos: paisanos de toda clase y edad, hombres, mujeres y niños habían tomado parte en una contienda que se extendió de manera casi simultánea por todo el territorio: desde Cataluña al golfo de Cádiz. Fue, en resumen, una guerra especialmente destructiva que había dejado al país sumido en una profunda crisis económica.

Tratando de escapar de su situación miserable, militares que habían abandonado el ejército, guerrilleros y campesinos se entregaban al bandolerismo o al contrabando. Campos destrozados, industrias arruinadas, comercio inexistente, parón en los suministros que llegaban de las colonias americanas y falta de mano de obra; este fue el escenario en el que, el 10 de mayo de 1814, Fernando VII llegó a Madrid y, sin siquiera tener una idea muy precisa del estado de la nación, anuló el legado liberal para establecer el absolutismo.

Durante el Sexenio Absolutista que se extendió desde 1814 a 1820, la situación económica fue ruinoso. El Estado no solo necesitaba paliar el caos económico en la Península, sino que también precisaba aumentar sus recursos para hacer frente a los crecientes movimientos independentistas en América. En un intento desesperado de hacer salir a la Hacienda Pública de la quiebra en la que se encontraba, el ministro de Hacienda, Martín de Garay (quien había sido discípulo del gran Jovellanos), planteó una severa reforma fiscal en 1817. No eran buenos tiempos para el desarrollo de las artes y las ciencias.



Vista de Madrid desde el camino a Segovia hacia 1820, Christian Gottlieb Hammer.

Cabe imaginar pues al Madrid del año 1819 como una ciudad mísera y deprimida. Las grandes iniciativas científicas que, gracias al patrocinio ilustrado de Carlos III, se habían sucedido en la segunda mitad del siglo XVIII, habían sido arruinadas por las tropas napoleónicas y, ahora, el estado de la hacienda pública no propiciaba su recuperación. Ejemplo particularmente manifiesto de la situación es el Observatorio Astronómico de Madrid: con el bello edificio de Villanueva y el magnífico telescopio de Herschel, había sido fundado en 1790 sin escatimar medios, pero, tras quedar reducido a la ruina en 1808, llevaba una década sin encontrar la manera de recuperarse.

## El Observatorio tras la guerra

Napoleón había llegado el 2 de diciembre de 1808 a Chamartín y, casi inmediatamente, se había establecido en la colina del Retiro, un emplazamiento estratégico para la toma de la capital. Y, ya en el Retiro, las tropas emprendieron una labor concienzuda de devastación de la que no se libró el Observatorio que sirvió de alojamiento a los franceses. Cuenta Gil de Zárate (quien fue Comisario Regio del Observatorio entre 1851 y 1861) cómo *"... lo destruyeron todo, tiraron libros y papeles, quemaron el gran telescopio y con dificultad se salvaron parte de los instrumentos..."*



El edificio de Villanueva tras la guerra de la Independencia.

Tras la contienda, el Observatorio se vio prácticamente sin personal. El primer director, Jiménez Coronado, tras ser elegido como diputado a Cortes, había fallecido en Jerez de la Frontera el 24 de noviembre de 1813. Previamente también había fallecido, en 1809, el subdirector José Chaix, quien había participado en la campaña francesa para la medición del arco de meridiano entre Dunkerque y Barcelona que condujo a la definición del metro. También participó Chaix, entre 1806 y 1808, en las campañas de Biot y Arago para la extensión de la triangulación a las Baleares, una tarea a la que contribuyó José Rodríguez. Además de Jiménez Coronado y Chaix, otros astrónomos o instrumentistas habían desaparecido o habían cambiado de profesión.

El Observatorio pasó a depender de la Junta de Protección del Museo de Ciencias que se había creado en 1815 y, a partir de ese momento, se reintegraron en el Observatorio José Miguel Sarasa, José Ramón de Ibarra, José Radón, el instrumentista Francisco Lorenzo y el conserje Fabián Esteban. En noviembre de ese mismo año se encomendó al arquitecto Antonio López Aguado que informase sobre el estado del edificio de Villanueva y sobre el coste de su reparación. El arquitecto remitió puntualmente un presupuesto detallado cuyo montante total ascendía a 249.000 reales de vellón.

Pero ya hemos visto la situación en la que se encontraba la Hacienda tras la guerra. No nos extraña, pues, que en el margen del informe de López Aguado apareciese una nota escrita en estos términos: *“Dígasele que cuente con seis mil reales mensuales, única cantidad disponible”*. Y a esta cantidad mísera tan solo se iban sumando otras comparablemente pequeñas asignadas directamente por el rey.

## Se busca director

La Junta de Protección del Museo de Ciencias era consciente de la importancia que tendría, para recuperar el Observatorio, poner a su frente a un buen científico. En un escrito del 16 de enero de 1816 se mencionaba a dos personas consideradas idóneas para dirigir el Observatorio. Una de ellas era José Rodríguez *“... que en el día (dice) se halla viajando por Alemania, después de haber tenido la satisfacción de haber sido, solo por su distinguido mérito y conocimientos, uno de los compañeros de MM. Biot y Arago en la prolongación de la meridiana hasta la isla de Formentera, y después de haber pasado algunos años en Londres en donde igualmente se dio a conocer presentando una Memoria a la R. Sociedad, mandada imprimir en la colección de sus memorias, sobre uno de los puntos más delicados de la Mecánica celeste y más digno de llamar la atención de los hombres, que es sobre la verdadera figura de la tierra”*.

El otro candidato citado por la Junta era José Joaquín Ferrer, un prestigioso navegante, astrónomo, cartógrafo y matemático, que había viajado por América del Sur y había estudiado astronomía en Suiza. Observador cuidadoso, había descrito los dos eclipses solares de 1803 y 1806, así como el cometa Halley en su paso de 1811.

En 1818 murió Ferrer y no quedó más candidato que Rodríguez para cumplir las expectativas de la Junta. Durante sus viajes por Europa, Rodríguez ya había expresado su deseo de regresar a España aun a costa de renunciar a ofertas muy tentadoras. Así, en 1817, escribía desde París: *“El Comisario que de los Buenos Ayres han enviado aquí para buscar sabios y artistas me ha hecho las propuestas las más*

*lisonjeras y ventajosas de parte de su Gobierno... pero estoy absolutamente decidido a seguir la suerte desgraciada o próspera de mi patria, que nunca abandonaré”.*

Dado que los intereses de la Junta y los de José Rodríguez coincidían, fue nombrado este Profesor de Astronomía del Real Museo de Ciencias Naturales el 2 de enero de 1819, fijándose el inicio de sus nuevas responsabilidades en el 1 de junio.



El Observatorio de Madrid en 1818 por Juan Mieg del Real | Museo de Ciencias Naturales.

## Rodríguez llega a Madrid

José Rodríguez llegó pues a Madrid con 48 años de edad. Estaba ya en la capital, para tomar posesión de su cargo, el 29 de mayo de 1819. En efecto, en una carta fechada en ese día, comunica a su gran amigo, el también gallego Julián Suárez Freire: *“Acabo de llegar a estos Madriles del Rey, después de un mes de viaje, habiéndome detenido algo en las Provincias de la Vizcaya con el objeto de visitar sus ricas minas.... He visto ya algunos de estos señores de la Junta Protectora de Ciencias del Museo, quienes parecen muy dispuestos a hacer a favor de estas lo que dependa de ellos; y hoy espero visitar y tener una conferencia con el señor Ministro de Estado, el cual por su parte es amigo de las ciencias y de sus establecimientos.”*

Parece encontrarse en un estado de ánimo optimista, además de por las buenas perspectivas con las que se le presenta su tarea por sentirse arropado por otros gallegos ilustres: *“Parece que aquí se hallan establecidos muchos de nuestros paisanos hombres de mérito y que se hacen estimar por sus principios de honradez y pundonor. Esto me ha dado la mayor satisfacción...”*

La dirección de Rodríguez que aparece en el remite de la carta es “Calle de las Hileras, 9”, una estrecha calle en pleno centro que desde la Plaza de Herradores se cruza con Arenal para desembocar en la Plaza de San Martín.

Sin embargo, apenas tres semanas más tarde, en una nueva carta escrita el 19 de junio, el ánimo ya parece decaer un poco: *“Mi sueldo aun no está corriente, pero espero que no tardará, puesto que el nuevo ministro es conocido y amigote desde Paris”* y más adelante: *“los cuentos miserables desta Corte no merecen la pena ser puestos en papel.”*

La Villa y Corte se encontraba en un estado tan lamentable que no debía resultar particularmente alentadora. Lo describe muy bien Mesonero Romanos en sus Memorias de un setentón: *“...calles estrechas, tortuosas y desniveladas, asombradas por las paredes de los conventos y sus extendidos huertos, sin empedrado muchas de ellas, y las demás cubiertas de una capa movediza de agudos y desiguales guijarros y algunas losas estrechas y resquebrajadas a guisa de aceras. Obstruidas dichas calles por los puntales y escombros de las fincas ruinosas, y por la preparación de los materiales para las obras; por las basuras que en medio de ellas colocaban los vecinos, para que dos veces por semana fuesen recogidas alternativamente por los barrenderos...; estas calles, así dispuestas, estaban interceptadas además a todas horas por multitud de perros, cabras, corderos, cerdos, pavos y gallinas, que los vecinos de los pisos bajos sacaban a pastar a la vía pública; por las recuas de asnos retozones que acarreaban el yeso y la cal para las obras; por las caballerías que, cargadas de inmensos serones llenos de pan o de reses muertas pendientes de garfios, servían para distribuir a las tiendas estos alimentos, sobre los cuales descansaban los inmundos pies del jinete conductor; por los mozos de cuerda cargados de los muebles de las mudanzas de las casas, y con los mismos muebles entrando en ellas por los balcones, porque no permitía otra cosa lo estrecho, empinado y oscuro de las escaleras, y por las bandadas de muchachos baldíos que jugaban al toro o se apedreaban.”*

El ambiente político que se respira en este mísero escenario tampoco es muy halagüeño. En los Episodios Nacionales (ej. *“La Segunda Casaca”*), Galdós relata las algaradas callejeras e intrigas que suceden en la ciudad y que acabarían desembocando en la sublevación de Rafael de Riego el 1 de enero de 1820.

No es extraño que Rodríguez se encuentre cada vez más a disgusto. En sus cartas hay referencias a algunos de los acontecimientos políticos que se suceden, pero hay más a su Galicia natal, a los amigos y familiares que dejó allí. Liberal convencido, no oculta en estas cartas el poco respeto que le inspiraba Fernando VII.

Y para rematar todo ello, tampoco agradan a Rodríguez los nueve meses de invierno y tres de infierno de la capital, y achaca a este clima los problemas de salud que comienzan a asaltarle. Pronto hará alusión a su deseo de escapar de Madrid y poder retomar sus viajes.

## Profesor de astronomía

En octubre de 1819, ya se encuentra Rodríguez pensando en sus clases que comenzarían el 2 de diciembre, pero parece no congeniar muy bien con el claustro. Refiriéndose a un tal profesor Alcón, escribe el 12 de octubre: *“Yo no llevo trato alguno con este ni los demás profesores por que estos se ocupan muy poco de Ciencias, ni del estado en que se hallan fuera de España: y solo Alcón vino a pedirme Cartas para algunos sabios de París; pero con tanta prisa que apenas me dejó tiempo para escribirlas. Mi trato y buena armonía es con los señores de la Junta de Protección de las Ciencias del Museo, principiando por su excelente presidente el Marqués de Santa Cruz: a estos señores debo mucha atención y consideración y esto es lo que basta a mis designios.”*

Según la Gaceta de Madrid, las lecciones las impartía el profesor en una sala del gabinete de Historia Natural (Palacio de Goyeneche, en la Calle Alcalá, 13, donde ahora se encuentra la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando) los martes, jueves y sábados a las 12 de la mañana. No conocemos los detalles del programa de su curso, pero en la Gaceta se especifica que *“En estas lecciones expondrá los principales fenómenos del mundo, las leyes de los movimientos del sol, de la luna, de los planetas y demás cuerpos celestes, y los instrumentos necesarios para seguir y observar todos estos fenómenos. Luego hará la aplicación de estas doctrinas al calendario civil y religioso de los pueblos de Europa, a la cronología, a la geodesia y a la navegación.”*

Tampoco sabemos de la identidad alumnos que asistían a estas clases, ni siquiera su número. Pero sabemos que la asistencia era libre y que (según un comentario de Felipe Bauzá) las lecciones recibían *“bastante concurso”*.

En junio de 1821, en su calidad de diputado en Cortes (puesto para el que había sido elegido el 21 de mayo de 1820), Rodríguez hizo una intervención entusiasta en favor de la creación de la Universidad Central en Madrid, una institución que debería seguir el ejemplo de otras grandes universidades científicas europeas. Debido al contexto

de precariedad existente, el matemático insistía en que los profesores de la Universidad serían los encargados de otras instituciones científicas (como el Observatorio, el jardín Botánico, etc.) y que no supondrían un gasto nuevo para el Estado. Destacaba también la importancia de que tal Universidad se estableciese en la capital para que desde aquí irradiase sus conocimientos a las provincias. Y no olvidaba los retornos económicos que una institución de este estilo podría reportar; ponía como ejemplo la creación de la Academia de Ciencias de París por Luis XIV y cómo gracias a ello *“...una gran porción de máquinas e instrumentos que hoy día se fabrican en París, y que atraen allí el dinero de las demás naciones, incluso el de España; porque aquí apenas hay un artista que sepa hacer un compás, y si hay alguno no encuentra nadie que se lo compre.”*



El Noviciado de los Jesuitas en la calle de San Bernardo, sede de la Universidad Central a mediados del siglo XIX, después reconvertido al actual Caserón de San Bernardo | Litografía de Eusebio de Lettre.

Y seguía más adelante *“...así no solo se conseguirá fomentar nuestra industria y difundir las luces por toda la península, sino que además el Gobierno tendrá mayor proporción para consultar en caso necesario a una porción de sujetos de luces, y no será tan fácilmente engañado como lo ha sido muchas veces...”* *“... además de que [esta Universidad] es del mayor interés que se difundan por toda la Península estos conocimientos, porque la España es un país rico, y hasta ahora no se ha podido sacar producto de los bienes que poseemos, solamente por la ignorancia en que nos hallamos de estos conocimientos”,* concluía.

La Universidad Central de Madrid se aprobó mediante Real Orden el 3 de octubre de 1822 y el 7 de noviembre tuvo lugar su constitución mediante la integración de la Universidad de Alcalá de Henares, los Estudios de San Isidro y los establecimientos del Museo de Ciencias Naturales, incluido el Observatorio; por lo que Rodríguez fue considerado profesor de la Universidad desde su fundación.

Rodríguez impartiría en Madrid un total de cuatro cursos de astronomía. El cuarto, ya como profesor de la Universidad Central, lo comenzó -según nos informa El Universal- el 4 de enero de 1823 y se desarrolló como de costumbre en el gabinete de Historia Natural, martes, jueves y sábados a las 12, y con un programa muy similar al del primer año.

## Director del Observatorio – Los esfuerzos por reparar el edificio

Desde su llegada a Madrid, Rodríguez se afaná por conseguir fondos para reparar el edificio del Observatorio, concretamente para financiar el plomo que es necesario para cubrir el tejado. Como hemos visto, los fondos asignados para su reparación (6 000 reales mensuales) estaban muy por debajo de las necesidades.

A estos se sumaron, a partir de enero de 1820, otros 8 000 reales mensuales asignados directamente por el Rey en concepto de *“Nomina de gastos extraordinarios de la Real Casa para atender a las obras necesarias en el Real Observatorio Astronómico de esta Corte”*. Pero esta asignación solo se cobró en enero y febrero, y se redujo a la mitad (4.000 reales) el 2 de mayo. Un mes después, el 3 de junio, Rodríguez dirigió un escrito al ministro de la Gobernación en el que se quejaba amargamente de la situación en la que se dejaba al Observatorio mientras que, para reparar el Museo del Prado, se habían asignado 46.000 reales mensuales. Concluye Rodríguez solicitando que se repartan estos fondos entre las dos instituciones:

*“A vista, pues, de eso y de la preferencia que en el estado actual de la nación, se merecen los establecimientos científicos, el exponente pide a vuestra excelencia se sirva obtener de S.M. se destinen los 6 mil reales mensuales de correos, y los 16 mil de la tesorería general, para reparar el observatorio, medio arruinado; dejando al museo de pintura los 24 mil de la tesorería de Palacio.*

*El exponente espera de las luces patrióticas de vuestra excelencia el éxito equitativo de esta medida, sin la cual no es posible organizar el Observatorio en muchos años.”*

Gracias a este escrito de Rodríguez, se consiguió que la partida del Observatorio ascendiese a 16 000 reales.



El Observatorio de Madrid antes de la guerra de la Independencia, dibujo de Isidro González Velázquez.

Había pasado ya un año desde su llegada a Madrid y no puede producirnos extrañeza que, sumido como estaba en las miserias nacionales, el matemático añorase cada vez más sus viajes científicos. Había solicitado licencia para realizar un viaje por Holanda, Alemania y Francia, durante los cuatro meses de vacaciones de 1820, para instruirse sobre las actividades y la organización de sus instituciones científicas.

Sin embargo, el 21 de mayo de ese mismo año, cuando tuvieron lugar las primeras elecciones a Cortes del recién estrenado Trienio Liberal, Rodríguez resultó elegido como diputado por Galicia y esto no solo impediría que realizase el viaje que había proyectado, sino que alteraría drásticamente el curso de sus actividades. Su labor como diputado se desarrollaría desde el 1 de julio de 1820 hasta el 14 de febrero de 1822.

En 1820, se sucedieron los escritos de la Junta de Protección solicitando fondos para la reparación del Observatorio. El 31 de agosto se solicitaban 60 000 reales para evitar que las lluvias produzcan el hundimiento de la parte norte del edificio de Villanueva. La respuesta llegó el 10 de octubre con una asignación reducida a 3 000 reales semanales. Cabe imaginar la decepción que causarían en Rodríguez las bajas cantidades que se le concedían.

El 25 de noviembre de 1820 el matemático solicitó a la Junta de Protección que se enviasen al Observatorio las obras de astronomía, física, meteorología, matemáticas y las Memorias de varias Academias científicas que se encontraban en los fondos de unas

bibliotecas monacales que se habían suprimido. No descuidaba Rodríguez el interés por la historia de la ciencia, pues añadía en su solicitud: *“Puede que algunas obras sean ya muy viejas, y antiguas y de ningún otro uso que para la historia de la ciencia, pero eso es una razón de más para que se las destine al Observatorio, y que las hace inútiles en las Bibliotecas de nuestros establecimientos literarios en los cuales no entra el estudio de la Astronomía como parte integrante de la Enseñanza Pública.”* La Junta transmitió la petición al Ministerio de la Gobernación que, el 7 de enero de 1821, accedió a la solicitud expresando que *“... parece muy natural que a su tiempo se reúnan la belleza del edificio con lo exquisito y raro de los instrumentos y libros.”* Los libros debieron llegar al observatorio hacia la primavera siguiente.

El 1 de febrero de 1821, en un escrito de la Junta de Protección del Museo al Ministerio de la Gobernación se considera que ha llegado el momento de que el Observatorio *“corra de una sola mano”* y se solicita que José Rodríguez sea nombrado director *“...sin otro sueldo por ahora”*. Suponemos, pues, que hasta ahora, bajo los liberales, venía desempeñado este papel de manera informal desde su puesto de profesor de astronomía, aunque recordemos que el Gobierno absolutista le había nombrado ya director en 1819.

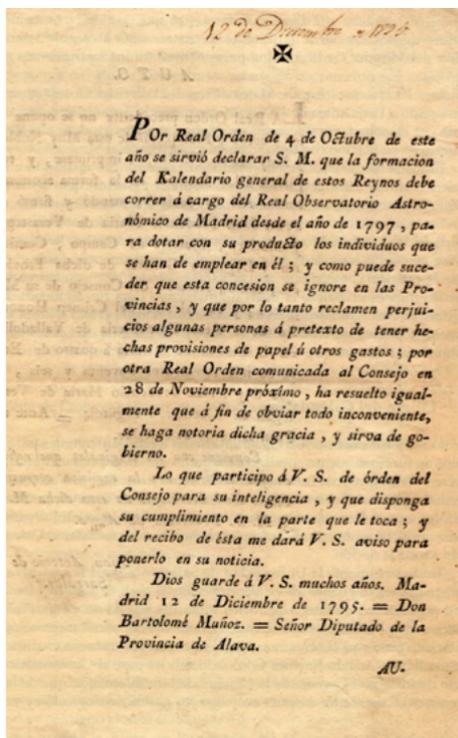
El Ministerio aprobó la solicitud el 21 de julio de 1821 *“... sin que para ello sea obstáculo de su actual encargo como diputado”* y añadiendo que *“...no tienen duda de que el Sr. Diputado D. José Rodríguez es su único director nato, sin necesidad de otro nombramiento, ni de que no ha perdido esta cualidad porque haya merecido la confianza de su provincia nombrándole representante de la Nación; antes al contrario se ve más obligado a continuar sus tareas científicas por una especie de gratitud en favor de su Patria...”*. En su papel de Director formal, Rodríguez deberá ocuparse del Calendario (lo que le permitirá obtener fondos, ver siguiente sección), de recuperar los instrumentos que fueron del Observatorio, de elaborar un plan de trabajos científicos y de dirigir las obras de reparación del edificio Villanueva.

A nuestro juicio, este fue un plan claramente irrealista. En el estado en el que se encontraba el edificio, sin instrumentos, sin la mínima financiación necesaria, y con las obligaciones de su Director en Cortes, era imposible reconstruir y, mucho menos reorganizar, el Observatorio. Rodríguez multiplicó sus escritos solicitando recursos para las obras, realizó gestiones diversas (por ejemplo, contrató un préstamo con cargo a las futuras recaudaciones del calendario) pero no pudo hacer mucho más. Como veremos, tras su marcha en 1824, el Observatorio seguía en un estado sumamente precario.

## La guerra del Calendario

Aunque, como se ha dicho, la fundación del Observatorio en 1790 se realizó con ánimo de no escatimar medios ni para el edificio diseñado por Villanueva ni para el gran telescopio de Herschel, las dificultades económicas no tardaron en aparecer. En un intento de conseguir la financiación que se precisaba para hacer funcionar la institución, el primer director, Jiménez Coronado, había solicitado que el privilegio de redactar el Calendario que se vendía en toda España pasase de la Universidad de Salamanca al Observatorio.

La transferencia de este privilegio al Observatorio se consiguió mediante una Real Cédula promulgada en 1795. Una vez descontados los gastos de impresión y satisfechos unos derechos a la Universidad de Salamanca, el fruto de las ventas que quedaba en manos del Observatorio ascendía a unos seis mil duros.



Real Orden de 1795 dando la exclusividad del Calendario al Observatorio de Madrid.

Pero durante la guerra de la Independencia, las Cortes de Cádiz transfirieron el privilegio del Calendario desde el Observatorio de Madrid al vecino Observatorio de la Marina en San Fernando, y esto dio lugar a un larguísimo litigio entre los dos observatorios.

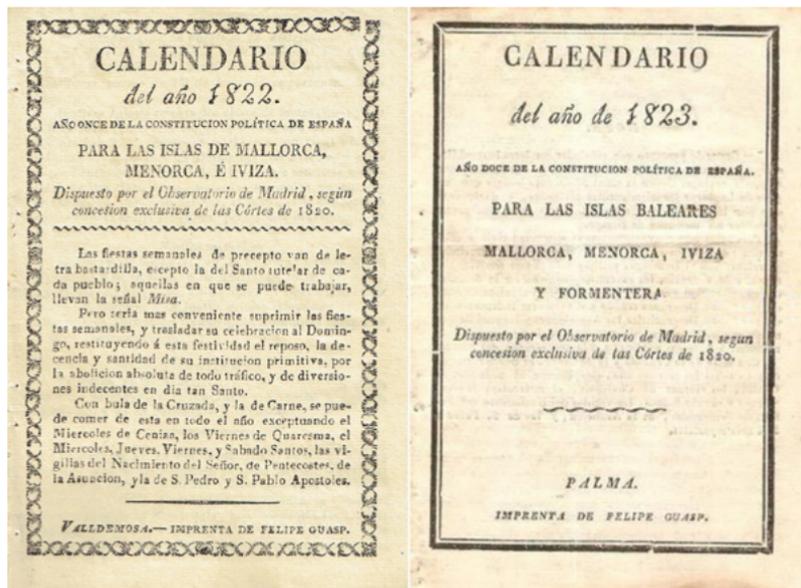
El astrónomo José Miguel de Sarasa, que había estado cautivo en Francia durante la guerra, había regresado a Madrid en 1815 y había conseguido que se creara para él una cátedra de astronomía que debía ser financiada con cargo a los fondos del Calendario que administraba el Observatorio de Cádiz. A esto se opuso frontalmente esta institución para la que, sin duda, estos fondos eran también vitales dada la precariedad en la que se encontraba todo el país.

El Observatorio de San Fernando retuvo el privilegio del Calendario hasta el 8 de noviembre de 1820 cuando, mediante un Decreto de Cortes, la exclusiva fue reintegrada al Observatorio de Madrid. Y, desde este momento, la responsabilidad de redactar el Calendario recayó directamente sobre José Rodríguez.

## Rodríguez y los malditos Calendarios

Las penalidades que pasó Rodríguez para la elaboración del Calendario están documentadas en la biografía del matemático que escribió Ramón María Aller y en las cartas que escribía a su amigo Julián. El 4 de julio de 2021 ya escribía que la elaboración de estos calendarios para las provincias le obligaban a estar *“atado a Madrid como un perro”*.

Los calendarios eran unas obritas dirigidas a las clases populares que contenían el santoral, las fiestas civiles y religiosas, los patronos de cada pueblo, algunos hitos históricos y curiosidades diversas. Se hacían versiones ligeramente diferentes para territorios distintos: había ediciones para Galicia y Asturias; Baleares; Castilla la Vieja, León, la Rioja y Montañas de Santander; Andalucía, etc.



Calendarios para Baleares de los años 1822 y 1823.

Rodríguez realizó sin duda los correspondientes a los años 2022, 2023 y 2024 (que se elaboraban en el año anterior) al menos la versión para Galicia y Asturias. Pero no estamos seguros de si él solo confeccionaba todas las versiones o si había más de un redactor. Tratando de dejar bien claro de quién era la exclusiva, los calendarios de estos años llevan escrito en sus portadas *“Dispuesto por el Observatorio de Madrid, según concesión exclusiva de las Cortes en 1820”*.

El 15 de agosto dice con alivio en otra carta *“Por fin he concluido con estos malditos Calendarios, llevando nuestro Rey el de Galicia y Asturias muy barato.”*

Se refiere aquí a Manuel Rey, el impresor del Calendario de Galicia y Asturias, con quien mantuvo desavenencias particularmente amargas. Por ejemplo, en enero de 1822, Rey se quejaba de que no vendía suficientes ejemplares y que no podría cumplir con el compromiso dinerario que había adquirido, mediante escritura, con Rodríguez que debe aportar una cantidad de su bolsillo. Escribe a Julián *“Esto bien lo merezco yo por mi fatuidad en fiarme de semejantes perillanes, pero los cinco mil reales que debo entregar al Observatorio serán para mí una buena lección en lo sucesivo.”*

En junio de 1822, Rodríguez planeó un nuevo viaje, de unos dos meses de duración, esta vez hacia Francia, Flandes y Holanda. Seguramente seguía desalentado por el poco rendimiento que daba el Calendario, pues en la misma carta (15 de junio) que menciona sus planes de viaje dice que *“...mi observatorio no está aún corriente, por falta de dinero, y de lo poco que este año ha producido la venta del Almanaque, único fondo que le asignaron las Cortes, sin que este establecimiento entre en el presupuesto ordinario de gastos”*.

No sabemos si Rodríguez llegó a realizar este viaje pues su rastro se nos pierde desde julio hasta enero de 1823, cuando comenzó su cuarto curso de astronomía ya en la Universidad Central. Pero la guerra del Calendario entre Madrid y Cádiz todavía se prolongaría durante años. La falta de armonía entre el monarca y las Cortes, junto con el ambiente general crispado por interminables luchas políticas, proporcionaba el caldo de cultivo propicio en el que las reclamaciones de Cádiz sobre el Calendario y los intentos de defensa de Madrid se hacían cada vez más violentos.

En 1833 todavía seguían las discusiones: casi en su lecho de muerte, Fernando VII redactó una Real Orden que obligaba a las dos partes a que conversasen sobre la exclusividad del Calendario. Como resultado de dichas negociaciones, se propuso un reparto de las ganancias, pero el Observatorio de San Fernando se mantuvo inflexible reclamando la totalidad. Hasta el 5 de diciembre de 1855 no se promulgaría una ley que aclararía definitivamente la situación al suprimir el privilegio del Calendario que seguía disfrutando el Observatorio de San Fernando, dejando así la exclusiva para Madrid.

## Enfermedad y últimos días en Madrid

Decididamente Rodríguez no fue muy feliz en Madrid. Pero, afortunadamente, siempre estuvo en contacto permanente con sus amigos y familiares en Galicia, sobre todo con Julián Suárez Freire, con quien mantuvo esa correspondencia distendida en la que rememoraba los numerosos amigos comunes que tenían en Galicia. Esta correspondencia ha sido felizmente recuperada por Carmen Villanueva en su excelente tesis sobre el Matemático supervisada por el profesor José Ángel Docobo (ver Bibliografía). Rodríguez siempre estaba disponible para hacer gestiones para sus amigos de Galicia y se encargaba de enviarles libros o pequeños objetos. También realizaba trámites desde Madrid para la Universidad de Santiago.

En Madrid tenía especial amistad con Felipe Gil, conde de Taboada, y con Joaquín Fondevila, ambos antiguos conocidos de juventud en Santiago. Taboada llegó a ser Consejero de Estado durante el Trienio Liberal. Además, Fondevila era miembro, como Rodríguez, de la Sociedad Constitucional o Sociedad del Anillo, en la que compartían sus opiniones liberales moderadas.

De sus 6 hermanos, sabemos que uno de ellos, Andrés, vivía en Madrid cuando José Rodríguez llegó a la capital, pero apenas se conocían pues habían estado diecinueve años sin verse. Estaba Andrés enfermo de tuberculosis y, aunque José corrió con los gastos de su enfermedad, no debieron establecer una relación muy estrecha entre ellos.

A los pocos meses de su llegada a la capital ya se quejaba del clima y del ambiente, y tenía pocas aficiones Rodríguez que le sirviesen de evasión. Quizás su distracción favorita para desconectar de las miserias de la Villa y Corte era el salir de excursión por El Escorial y alrededores, donde acudía para buscar minerales con los que engrosar su colección. También a buscar minerales viajó en la primavera de 1822 a Andalucía, parece que disfrutó mucho cuando en *“...Cabo de Gata hice una buena colección de minerales raros, que solo se encuentran allí.”*

En carta del 4 de julio de 1821 escribe: *“... si me hallase libre, ya me hubiera embarcado de aquí a más de 200, o más leguas, por salir de este maldito Madrid, y respirar otro aire”*. Y el 11 de 1822 insiste: *“Fondevila va a salir para las aguas de Puerto Llano y yo también deseo salir de este maldito país”*. Visitó unas minas de plomo en las Alpujarras y una buena parte del viaje la debió realizar en burro pues a su regreso a Madrid, el 25 de mayo, comenta *“Acabo de llegar a estos Madriles, bien fatigado del viaje jumentil desde Granada”*. Fruto de este trabajo de campo fue su *“Noticia geognóstica sobre Sierra Nevada”* que se publicó en los *Annales de Chimie et de Physique*.

Desde 1821 se quejaba a menudo Rodríguez de sufrir “constipados”, quizás resfriados o puede que diarreas, o quizás ambas cosas. En todo caso, según lo refleja en sus cartas, fueron dolencias que le acompañaron hasta su salida de Madrid en abril de 1823, es posible que fuesen los síntomas de una enfermedad subyacente, más grave y persistente.

## Informe final sobre el estado del Observatorio

Hay constancia de que, a principios del verano de 1823, ya se encontraba nuestro matemático en la casa de su gran amigo Julián, en Santiago de Compostela. Pero poco sabemos de él hasta que el 15 de mayo de 1824 aparece fechado el informe sobre el estado del Observatorio que el 14 de febrero le había requerido la Junta de Protección del Museo de Ciencias Naturales. Las palabras de tal informe son desoladoras:

*“...en el citado Observatorio no hay hoy día más empleado que el Profesor de Astronomía del Museo y un Guardia provisional para impedir roben las maderas y plomos: aquel nombrado por S.M. en 1819, según consta en la orden adjunta con 24 000 reales de sueldo anual y este pagado mensualmente en 160 reales de vellón.*

*Además, había un Portero y un Artista antiguos pagados por Tesorería; aquel murió hace dos años; pero un observatorio naciente y aun formado no necesita porteros ni artistas agregados.”*

Sigue Rodríguez detallando el estado de las finanzas del Observatorio, el escaso fruto que dio el Calendario y los problemas que este seguía dando por la nueva transferencia de la exclusiva a Cádiz:

*“Los fondos del Establecimiento se redujeron: 1º a lo que se cobró por Tesorería desde el 23 de octubre de 1820 hasta el 11 de mayo de 1824 con más de 60 000 reales prestados para cubrir el Edificio. 2º desde 1822 hasta el 1823 incluso, el producto de la composición y venta del Calendario Civil, devuelta al Observatorio conforme a la concesión primitiva y exclusiva hecha por el Supremo consejo de Castilla, en el reinado anterior.*

*El Recaudador de este producto nombrado por S.M. fue don Lorenzo García del Comercio de Madrid al 4 por ciento de comisión; y el arquitecto encargado de las obras y compras de los Materiales para el Edificio fue el Intendente honorario del Ejército don Antonio López Aguado, a quien entregaba mensualmente el citado García las sumas convenidas y cargo por menor de gastos, y inversión para en manos del mismo Aguado. Las circunstancias del tiempo no permitieron que la venta del Calendario en 1822 y 23 produjese lo que podía esperarse de tiempos*

tranquilos; pues Aragón, Navarra, Vascongadas, Asturias, Granada y otras nada produjeron, ya por que no hubo licitadores, ya por no querer pagar bajo pretextos del tiempo y de la guerra. Se dieron poderes legales a personas de confianza para poder verificar los pagos, pero casi todos fueron gastos y esfuerzos inútiles. Mas por haber dejado mis papeles en Madrid, no me es posible ahora dar a los Señores de la Junta una razón circunstanciada de las entradas y salidas.

*Solo diré que a los artistas que han trabajado y suministrado materiales para las obras del Observatorio se les está debiendo unos 46.957 reales y que para pago de estos, aún existen en manos de García unos 20.000 reales. De los mismos fondos se pagó por orden del Gobierno y en los años 22 y 23 una pensión de 4 700 reales anuales a doña Rosa Olay viuda, pero además de los acreedores anteriores existen algunos otros en las Provincias, los cuales habiendo hecho imprimir, y aun principiado a vender el Calendario de este presente año por contrata hecha legalmente, se vieron privados de su venta, a causa de la concesión, transferida por S.M. al Observatorio de San Fernando en 3 de noviembre último. Estos reclaman con justicia los gastos ocasionados por una contrata legal; pero mis respuestas a sus justas reclamaciones los habían calmado por ahora."*

Vemos que los instrumentos astronómicos siguen en el Gabinete de Historia Natural, y el autor trasluce, además de frustración, un cierto distanciamiento del Observatorio pues ya no se para a hacer propuestas concretas que puedan conducir a recuperar la institución:

*"Todo lo demás que falta para el reparo y trabajos del Observatorio naciente debe arreglarse a los instrumentos que hoy día posee, los que todos se hallan custodiados en el Gabinete de Historia Natural, y a disposición de su conservador don Manuel González, junto con algunos míos.*

*En cuanto a las pocas obras, que faltan para poder principiar a realizar el sistema de Observaciones astronómicas y meteorológicas correspondientes al estado actual de las ciencias y artes, el arquitecto debe por precisión ceñirse a las instrucciones del astrónomo observador.*

*Por lo que mira a los fondos necesarios para poner el edificio en estado de trabajar, y los indispensables para su conservación, compra sucesiva de libros y de Instrumentos, y de todo lo demás que poco a poco pueda ponerle al nivel de los muchos establecimientos que hoy día existen en Europa, nada me atrevo a proponer a los señores de la Junta porque ignoro enteramente las necesidades y estado del erario.*

*Se bien los recursos, que para este objeto pueden y deben emplearse, pero este asunto debe tratarse más bien verbalmente que por escrito.*



El edificio del Gran Ecuatorial (antigua vivienda de astrónomos) en 2024 | OAN

*Esto es lo que por ahora se me ofrece exponer a los señores de la Junta: siendo para mí de la mayor satisfacción si mereciese su aprobación y pudiese contribuir al buen éxito de sus miras ilustradas y a sus esfuerzos por los progresos de las ciencias naturales.*

*Dios nuestro Señor guarde muchos años la vida de vuestras excelencias."*

Este informe pone pues un tristísimo punto final al paso de Rodríguez por el Observatorio. A pesar de sus escritos y gestiones, el edificio sigue sin estar utilizable. Y sin instrumentos, difícilmente podía recuperar su actividad de observación astronómica.

## Director hasta la muerte

Tras su marcha definitiva de Madrid, no hay constancia de que Rodríguez fuese cesado en su cargo de Director del Observatorio ni del de Profesor de Astronomía. Quizás consideraba que este viaje a Santiago era algo temporal y pensase en regresar. Pero la nueva situación política era ahora poco favorable para el regreso de Rodríguez a la Corte, dado el marcado perfil liberal del matemático.

De hecho, no parece casualidad que el regreso de Rodríguez a Santiago en abril de 1823 coincidiese con la invasión francesa de los Cien Mil Hijos de San Luis que acabarían entrando en Madrid

el 23 de mayo. El 1 de octubre de 1823, Fernando VII derogaría la Constitución y declararía nulas las actuaciones del régimen constitucional. Se iniciaba así la Década Ominosa que supuso el retorno de la monarquía absoluta y una dura represión de los liberales. Esto confirma que el ambiente de Madrid no debía resultar en absoluto atractivo para el regreso de Rodríguez.

Entre la primavera y el verano de 1824, Rodríguez realizó un viaje a Oporto, Lisboa y Coímbra, y allí quedó admirado por la riqueza que observaba, un esplendor que él atribuía a la influencia inglesa. Pero no se encontraba bien nuestro hombre: en una carta desde Lisboa afirma *“tengo bastante debilidad y ningunas ganas de escribir, ni de hablar de cosas públicas”*.

En septiembre de 1824 ya estaba Rodríguez de regreso en Santiago y hay pruebas de que el día 12 le trató su médico de cabecera. Aunque no se conoce la naturaleza exacta de su dolencia, su empeoramiento debió de ser muy rápido, pues falleció el día 30 de ese mismo mes.

En su testamento, fechado el mismo día de su fallecimiento, se presenta como *“Catedrático Director que soy del Observatorio Astronómico de la Villa y Corte de Madrid, y Profesor de Astronomía del Museo de la misma, residente actualmente en la ciudad de Santiago...”*, en tiempo presente, lo que confirma que nunca cesó en sus cargos.

La vida de Rodríguez no fue larga, pues falleció poco antes de cumplir los 54 años de edad. Sin embargo, dice Séneca que *“no recibimos una vida corta, ...la vida es larga si sabemos aprovecharla”*. Por el contenido de este libro, no nos cabe duda de que José Rodríguez supo cómo aprovechar su vida, fue un hombre que vivió plenamente su tiempo, disfrutó de una existencia aventurera y muy fructífera, una vida que hoy nos sirve de inspiración y ejemplo.

## Fontán, nuevo director

Tras el fallecimiento de Rodríguez, el Observatorio siguió durante la Década Ominosa en un estado de completo abandono y sin director. El relevo en su jefatura no se produjo hasta el 17 de febrero de 1835, cuando fue nombrado en el cargo otro gallego ilustre: Domingo Fontán (1788-1866), célebre por haber sido autor del primer mapa científico de Galicia que había culminado en 1834. Hay una continuidad de Rodríguez a Fontán que va más allá de la dirección del Observatorio. En efecto, Fontán había sido alumno de Rodríguez en Santiago de Compostela entre 1812 y 1814 y, es más, siempre reconoció en su maestro la fuente de inspiración para su trabajo de triangulación que condujo al levantamiento del mapa de Galicia.

Desgraciadamente, tampoco tuvo éxito Fontán en la recuperación del Observatorio que *“estaba ocupado entonces por un Guarda que había convertido sus salas en gallineros y cuadras para burras de leche”*. Sus relaciones con la Junta de Protección del Museo de Ciencias fueron tensas posiblemente por su firme empeño de que se restituyeran al Observatorio los instrumentos depositados en el Gabinete. Fontán consiguió que los instrumentos llegasen al Observatorio en 1837, pero, muy posiblemente debido al estado de abandono general en el que seguía la institución, muchos de estos fueron perdidos en años posteriores.

Se negaba Fontán a comenzar las clases de astronomía antes de que se restaurase el Observatorio. Había presentado al Gobierno el presupuesto indispensable para su habilitación y la Reina lo había aprobado. Pero el Administrador del Real Sitio del Retiro (que curiosamente se llamaba Ventura Fontán, sin que sepamos si guardaba parentesco con el Director) no permitía el acceso a los materiales que eran imprescindibles para las obras. Y esto resucitó una vieja disputa sobre los límites de los terrenos del Observatorio que se remontaba a los tiempos de Villanueva y que había de extenderse durante muchos años más.

En efecto, no logró Fontán un acuerdo sobre los terrenos del Observatorio. Además, al igual que Rodríguez, también fue elegido diputado a Cortes, este por Pontevedra y por el Partido Liberal Moderado, un cargo que ocupó desde 1836 hasta su jubilación en 1843. Quizás por sus ocupaciones políticas, o por el desánimo que le debían causar todos estos litigios, Fontán no se ocupó mucho del Observatorio en la segunda mitad de la década de 1830. En 1840, la Dirección General de Estudios llamaba la atención al Gobierno sobre el lastimoso estado en el que se encontraba y esto llevó a encargar la dirección del Observatorio a un ingeniero de caminos: Jerónimo del Campo y Roselló, quien reduciría la actividad a la única posible: las observaciones meteorológicas.



Domingo Fontán por Antonio María Esquivel, 1852 | Univ. de Santiago de Compostela

## Un final triste que abrió una etapa brillante

Hasta 1845 no se inició la recuperación efectiva del Observatorio, cuando fue incorporado a la Universidad Central junto al Jardín Botánico y al Gabinete de Historia Natural. Isabel II restableció el Observatorio Astronómico y Meteorológico mediante una Real Orden del 24 de septiembre de 1851 y, desde entonces, salvo en el paréntesis de la Guerra Civil, la actividad de la institución ya no decayó. El artífice de la recuperación fue una persona excepcional: Antonio Gil de Zárate (1793-1861). La historia de los más de 170 años que han transcurrido a su nombramiento como Comisario Regio del Observatorio (el 5 de diciembre de 1851) ha sido mucho más brillante que el período de Rodríguez aquí relatado. Pero, aunque más alegre, esta es otra historia

que queda fuera del alcance de este texto.



El Gran Telescopio de Herschel reconstruido,  
2024 | OAN

Hemos visto que no tuvieron suerte ni éxito los dos directores gallegos en el Observatorio, les tocó bregar con la institución durante la época más oscura de su historia. Pero, afortunadamente, ambos reunieron méritos sobrados en otros ámbitos, tanto en el científico como en el político. Rodríguez, en particular, destacó por su participación en las medidas del meridiano y por ofrecer una visión de las investigaciones sobre la forma y el tamaño de la Tierra su tiempo, temas que son detallados en otros capítulos de este volumen. Ojalá que esos logros le compensaran de los dolorosos sinsabores

que vivió durante su estancia en Madrid tratando de sacar adelante el Observatorio. Además, por esas carambolas de la historia (que a veces son afortunadas), la recuperación del Observatorio fue posible gracias a su integración en la Universidad Central, en cuya creación tanto empeño puso nuestro matemático.

Los astrónomos actuales del Observatorio seguimos hoy la senda de nuestros antepasados compartiendo muchos de sus desvelos: la financiación nunca es suficiente para mantener la institución con todo el esplendor que quisiéramos y las gestiones y los trámites administrativos siguen atosigándonos. Incluso la cubierta de plomo del edificio de Villanueva sigue siendo motivo de preocupación pues, ahora, cada vez hay menos artesanos que sepan soldarla y mantenerla en perfecto estado.

Como nuestros antepasados, seguimos velando por hacer del Observatorio una institución más excelente y creemos que actualmente se encuentra, a nivel científico, en el momento más brillante de su historia. Afortunadamente, nuestros esfuerzos para la conservación de su patrimonio histórico y artístico han cristalizado en la reciente inclusión del Real Observatorio Astronómico de Madrid en el patrimonio mundial de la Unesco. Esto nos garantiza que su legado será mantenido en buen estado y, cabe esperar, durante mucho tiempo.



El edificio de Villanueva en 2024 | OAN

No hay duda de que estos momentos históricos brillantes, que tenemos la suerte de vivir ahora, han sido posibles gracias a la esforzada labor de astrónomos que, como el Matemático Rodríguez, superaron los tiempos oscuros. Contra viento y marea, en condiciones extremadamente difíciles, estos científicos pusieron su incansable empeño en conservar aquellas ruinas en nuestro querido Cerrillo de San Blas, mientras confiaban en la llegada de tiempos mejores. Desde el siglo XXI vuela a ellos nuestro más profundo reconocimiento.

## Agradecimientos

Este texto está basado en la obra del Dr. Manuel López Arroyo “*El Real Observatorio Astronómico de Madrid (1785-1975)*” y en la tesis doctoral de la Dra. María Carmen Villanueva Pérez “*José Rodríguez González (1770-1824), matemático, geodesta, astrónomo, naturalista y viajero científico por Europa*” realizada bajo la dirección del Dr. José Ángel Docobo Durántez, catedrático de la Universidad de Santiago. Todos los entrecomillados en el presente texto (salvo el de Mesonero Romanos) proceden de estas dos obras y no se incluyen referencias individualizadas para agilizar la lectura. El autor queda muy agradecido a la Dra. Villanueva y al Dr. Docobo por una lectura detallada del manuscrito. Una versión en gallego de este artículo ha sido publicada en el volumen “*José Rodríguez González (1770-1824). Un matemático sublime*” Ed. J. J. Nieto Roig, RAGC. DOI: 1017075/jrgms.2024.

## Bibliografía

ASOCIACIÓN DE AMIGOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID. (1992). *Doscientos años del Observatorio Astronómico de Madrid*. Madrid: Estudio Gráfico Madrid S. L. Reimpreso en 2023, CNIG ed.

BACHILLER, RAFAEL (2008). *El Real Observatorio Astronómico de Madrid y la astronomía del siglo XVIII*, en “Ilustración ciencia y técnica en el siglo XVIII español” MUVIM, Univ. de Valencia.

BACHILLER, RAFAEL (2009) *Francisco Íñiguez e Íñiguez. Regeneracionismo y astrofísica en el Observatorio Astronómico de Madrid*, en “Viaje por el universo del siglo XIX al XXI”. Pamplona: Universidad de Navarra.

COMELLAS, JOSÉ LUIS (1979). *El siglo XIX*, en Historia de España. Barcelona, Carroggio S.A. de ediciones.

GIL DE ZÁRATE, ANTONIO (1859). *Noticia histórica del Real Observatorio Astronómico y Meteorológico de Madrid*. Anuario del Real Observatorio de Madrid para 1860.

JIMÉNEZ LANDI, A. (ca. 1970). Manuscrito con apuntes para una Historia del Observatorio de Madrid. Archivo del OAN.

LÓPEZ ARROYO, MANUEL (2004). *El Real Observatorio Astronómico de Madrid (1785-1975)*. CNIG ed.

DE MESONERO ROMANOS, RAMÓN (1881). *Memorias de un setentón natural y vecino de Madrid*. Biblioteca virtual Miguel de Cervantes.

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL (2023). *Real Observatorio Astronómico de Madrid. Ciencia, historia y patrimonio*. CNIG ed.

TINOCO, J. (1951). *Apuntes para la historia del Observatorio de Madrid*. Madrid: Talleres del Instituto Geográfico y Catastral.

VILLANUEVA PÉREZ, MARÍA CARMEN (2023). *José Rodríguez González (1770-1824), matemático, geodesta, astrónomo, naturalista y viajero científico por Europa*. Tesis Doctoral, Universidad de Vigo.

---

# Datos astronómicos

## Constantes físicas y astronómicas

### 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 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	$\alpha$	$7,29735257 \cdot 10^{-3}$
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	$u$	$1,66053892 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ )

### Constantes cosmológicas

cantidad	símbolo	valor
constante de Hubble	$H_0$	$69 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
distancia de Hubble	$c/H_0$	$4400 \text{ Mpc}$
edad del Universo	$t_0$	$1,38 \cdot 10^{10} \text{ años}$
edad del desacoplamiento	$t_{\text{dec}}$	$380000 \text{ años}$
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)	$T_0$	$2,725 \text{ K}$
velocidad del Sol respecto del CBR		$370 \text{ km s}^{-1}$

( $1 \text{ pc} = 3,085678 \cdot 10^{16} \text{ m}$ ,  $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc} = 3,085678 \cdot 10^{22} \text{ m}$ )

### 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 astronómicas

cantidad	símbolo	valor
unidad astronómica	ua	$149597870700 \text{ m}$
masa de la Tierra	$\mathcal{M}_{\oplus}$	$5,972410^{24} \text{ kg}$
radio ecuatorial de la Tierra	$\mathcal{R}_{\oplus}$	$6,3781366 \cdot 10^6 \text{ m}$
masa solar	$\mathcal{M}_{\odot}$	$1,988547 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
radio solar	$\mathcal{R}_{\odot}$	$6,9566 \cdot 10^8 \text{ m}$
luminosidad solar absoluta	$L_{\odot}$	$3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$
temperatura solar efectiva	$T_{\odot}$	$5772 \text{ K}$
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	$G\mathcal{M}_{\text{L}}$	$4,9028001 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
de Gauss	k	$0,01720209895$
razón de masa lunar a terrestre	$\mu_{\text{L}}$	$0,0123000371$

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.

### Factores de conversión de interés práctico

1 año luz	$= 0,9461 \cdot 10^{16} \text{ m} = 0,3066 \text{ parsecs} = 63241 \text{ ua}$
1 día luz	$= 173,145 \text{ ua}$
1 hora luz	$\approx 7,21 \text{ ua}$
c	$= 300 \text{ MHz m} = 300 \text{ GHz mm} = 300 \text{ THz } \mu\text{m}$
1 km s <sup>-1</sup>	$\approx 1 \text{ pc} / \text{millón de años}$
1 ua / año	$= 4,740470 \text{ km s}^{-1}$
1 ua / día	$= 1731,457 \text{ km s}^{-1}$
$\mathcal{M}_{\odot} / L_{\odot}$	$\approx 0,52 \text{ s3 cm}^{-2}$ (unidades cgs) $\approx 5200 \text{ kg W}^{-1}$ (unidades SI)
1 $\mathcal{M}_{\odot} \text{ pc}^{-3}$	$\approx 40 \text{ átomos de H por cm}^3$
1 Jy (Jansky)	$= 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} = 10^{-23} \text{ erg cm}^{-2}$

## 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:

$$\frac{B_1}{B_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$$

$$m_1 - m_2 = 2,5 \log \left( \frac{B_2}{B_1} \right)$$

diferencia de magnitudes $m_1 - m_2$	razón de brillos $B_2/B_1$
0,1	1,10
0,2	1,20
0,3	1,32
0,4	1,45
0,5	1,58
0,6	1,74
0,7	1,91
0,8	2,09
0,9	2,29
1,0	2,51
2,0	6,31
3,0	15,85
4,0	39,81
5,0	100,00
6,0	251,19
7,0	631
8,0	1585

razón de brillos $B_2/B_1$	diferencia de magnitudes $m_1 - m_2$
2	0,75
3	1,19
4	1,51
5	1,75
10	2,50
15	2,94
20	3,25
25	3,49
30	3,69
35	3,86
40	4,01
50	4,25
60	4,45
70	4,61
80	4,76
90	4,89
100	5,00

## 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.

## Equivalencias de distancias

**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>

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 $R_{\odot}$	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.

## 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.

### Interpolación directa

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:

$$\begin{array}{l} T_{-2} V_{-2} \\ T_{-1} V_{-1} \\ T_0 V_0 \\ T_1 V_1 \\ T_2 V_2 \end{array}$$

Denominemos  $p$  a la cantidad:

$$p = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

Si hemos escogido  $T_0$  como el valor, en la tabla, más próximo al que nos interesa,  $T$ , entonces el valor de  $p$  estará entre:  $-0,5 < p < 0,5$ .

Una primera aproximación al valor de la magnitud  $V$  para el instante  $T$  viene dada por (1<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 (2º 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 (3º 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 (4º 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 3<sup>h</sup> TU del día 5 de enero de 2025. De la tabla correspondiente al mes obtenemos los valores:

$T_{-2}$ :	3 de enero	$V_{-2} = 21^{\text{h}},64145$
$T_{-1}$ :	4 de enero	$V_{-2} = 22^{\text{h}},50967$
$T_0$ :	5 de enero	$V_{-2} = 23^{\text{h}},34739$
$T_1$ :	6 de enero	$V_{-2} = 24^{\text{h}},17236$
$T_2$ :	7 de enero	$V_{-2} = 25^{\text{h}},00525$

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 ( $0^{\text{s}},1 = 0^{\text{h}},00003$ ). Esta es la precisión con que podemos obtener la ascensión recta deseada, en el mejor de los casos. Obsérvese, además, que para evitar una discontinuidad al pasar de 24<sup>h</sup> a 0<sup>h</sup> hemos mantenido el sentido creciente de los valores de la ascensión recta añadiendo 24<sup>h</sup> cuando ha sido necesario.

En este ejemplo:  $p = 3^h 0^m / 24^h = 0,12500$ . Siguiendo los pasos anteriores, obtenemos los siguientes valores:

$$V = V_0 + \frac{p}{2} (V_1 - V_{-1}) = 23,45131$$

Dado que  $|V_1 - 2V_0 + V_{-1}| = 0,01275 \geq 0,00003$ , añadimos otro término:

$$V = 23,45131 + \frac{p^2}{2} (V_1 - 2V_0 + V_{-1}) = 23,45121$$

Dado que  $|V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}|/30 = 0,00128 \geq 0,00003$ , añadimos otro término:

$$V = 23,45121 + \frac{p(p^2-1)}{12} (V_2 - 2V_1 + 2V_{-1} - V_{-2}) = 23,45082$$

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

$$V = 23^h 27^m 2^s,0$$

El valor que se obtiene a partir de las efemérides del JPL es:  $23^h 27^m 2^s,7$ , 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 5 de enero de 2025 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:

$$p = 2 \frac{V - V_0}{V_1 - V_{-1}} = 0,7850$$

instante al que le corresponde un valor calculado:

$$V_{calc} = 23,99510$$

La corrección a aplicar a  $p$  es:

$$\Delta p = 2 \frac{V - V_{calc}}{V_1 - V_{-1}} = 0,0059$$

Al nuevo valor  $p = 0,7909$  le corresponde  $V_{calc} = 23,99996$ , para una nueva iteración la corrección a aplicar a  $p$  es  $\Delta p = -0,00004$ , obtenemos  $p = 0,7909$  y  $V_{calc} = 23,99996$ , valor que consideramos suficientemente aproximado, pues su discrepancia con el valor buscado es menor o similar a  $0^s,1 \simeq 0^h,00004$ . El instante de tiempo buscado es:

$$T = T_0 + p (T_1 - T_0) = 0^h + 0,7909 \times 24^h = 18^h,982$$

o sea, las  $18^h58^m,9$  del día 5 de enero de 2025. El instante calculado a partir de las efemérides es:  $18^h59^m00^s$ .

# In Memoriam

### Jesús Gómez González (1948 – 2024)

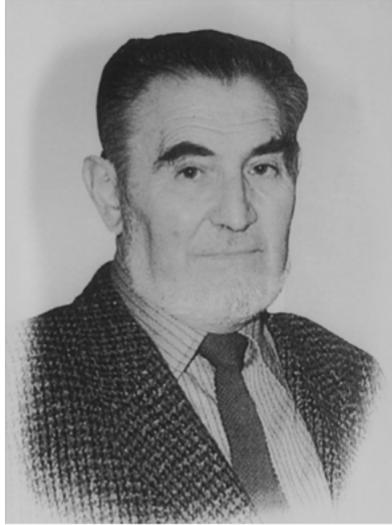


Nació en Madrid en 1948, se licenció en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense en 1970 y se doctoró en 1974. Ingresó en el Observatorio Astronómico Nacional contratado como astrónomo interino en 1974 y pasó a astrónomo en propiedad el 1 de marzo de 1977. Dirigió en Centro Astronómico de Yebes de 1974 a 1983 y de 1987 a 1988 y el OAN desde 1989 hasta 2002. Desde noviembre de 2002 hasta junio de 2017 ocupó el cargo de Subdirector General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales. Se jubiló el 26 de abril de 2018

Junto con el ingeniero del Observatorio de Yebes Alberto Barcia, dirigió la instalación y puesta a punto de del radiotelescopio de 13,7 metros de Yebes, inició la línea de VLBI en el Observatorio y, ya en los años 1990, proyectó y comenzó la instalación del gran radiotelescopio de 40 metros. Junto al arquitecto Antonio Fernández-Alba, concibió y dirigió la aprobación y ejecución del Plan de Reordenación del Real Observatorio Astronómico de Madrid.

Falleció el 3 de enero de 2024, con tan solo 75 años de edad, tras una larga lucha contra una grave enfermedad.

### **Manuel López Arroyo (1926 – 2024)**



Nació en Guadalajara el 8 de octubre de 1926, se licenció en Ciencias Matemáticas en la Universidad de Madrid. Tras ocupar un puesto de estadístico técnico en el Instituto Nacional de Estadística entre 1949 y 1952, ingresó en el cuerpo de astrónomos el 1 de agosto de 1953. Fue nombrado Subdirector del Observatorio en 1972, Director de Observatorio Astronómico Nacional en el 2 de marzo de 1984 y Director del Real Observatorio Astronómico de Madrid en 1989, cargo que ocupó hasta su jubilación el 8 de octubre de 1991.

En el Observatorio trabajó inicialmente en heliofísica y, más tarde, en astrofísica estelar. Junto con José Pensado visitó varios observatorios astronómicos europeos en busca de información para redactar el proyecto de modernización del Observatorio que comenzó a ejecutarse en 1970 y que incluiría la construcción del Observatorio de Yebes en Guadalajara y la instalación del telescopio de 1,5 metros en el Centro Hispano-Alemán de Calar Alto. De esta manera el Observatorio de Madrid se convirtió en el Observatorio Astronómico Nacional.

Falleció el 20 de enero de 2024 a los 97 años de edad.

**Antonio Fernández-Alba (1927 - 2024)**

Nació en Salamanca el 17 de diciembre de 1927. Se licenció en 1957 por la ETS de Arquitectura de Madrid, en la que también se doctoró en 1963 y de la que fue profesor durante cerca de 40 años. En 1989 ingresó en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando y en 2006 en la Real Academia Española. Fue reconocido con numerosos galardones desde su etapa como estudiante hasta su madurez, entre ellos el Premio Nacional de Arquitectura en 1963 y la Medalla de Oro de la Arquitectura en 2002.

En 1975 recibió el encargo del Observatorio de restaurar el edificio de Villanueva, labor por la que se le concedió el Premio Nacional de Restauración en 1980. Fue el autor del Plan de Reordenación del Real Observatorio Astronómico de Madrid y, para su ejecución, elaboró los proyectos de la Sala Museo y del Pabellón del telescopio Herschel y dirigió, desde el punto de vista arquitectónico, su construcción y numerosas actuaciones en el Observatorio.

Fue autor de varios libros (algunos de ellos sobre el Real Observatorio). Hasta pocos días antes de su fallecimiento, sucedido el 7 de mayo de 2024 a los 96 años de edad, estuvo asesorando a la dirección del Observatorio sobre cuestiones arquitectónicas y de restauración referentes al Real Observatorio Astronómico de Madrid.

---

# Índice alfabético de materias

## Índice

### A

- Aberración
  - ánua, 158
- Achatamiento
  - de la Tierra, 139
  - de los planetas, 237
- Acimut
  - de la estrella Polar, 360
- Albedo
  - de satélites naturales, 270
  - geométrico y de Bond, 236
- Año
  - duración, 158, 171
  - duración del año juliano, 116
  - duración media de distintos tipos de años, 115
- Asteroides
  - cercanos a la Tierra, 301
  - datos físicos, 299
  - datos fotométricos, 299
  - efemérides, 302
  - elementos orbitales, 298
  - magnitud, V, 300
  - número, 298
  - oposición, 301
  - rotación, 299
- Atmósfera terrestre
  - composición, 147
  - estructura, 145
  - refracción atmosférica, 147

### C

- Calendario
  - católico, 124
  - domingo de Pascua, 125
  - escritura numérica de fechas, 120
  - explicación general, 120
  - gregoriano, 124
  - israelita, 129
  - juliano, 126
  - musulmán, 127
  - perpetuo, 131

- reforma gregoriana, 124
- Ceres
  - datos fotométricos, 291
  - descubrimiento, 292
  - efemérides, 293
  - elementos orbitales, 290
  - masa, tamaño, 291
  - traslación, 291
- Cometas
  - de corto periodo, 312
  - de largo periodo, 311
  - elementos orbitales, 311
  - que pasan por el perihelio este año, 310
- Composición
  - abundancia solar de elementos químicos, 174
  - atmósfera terrestre, 147
  - moléculas en el medio interestelar, 387
- Constantes
  - astronómicas, 469
  - astronómicas para J2000, 174
  - atómicas y espectroscópicas, 468
  - cosmológicas, 468
  - electromagnéticas, 469
  - equivalencias útiles, 233, 473
  - factores de conversión, 469
  - fundamentales, 468
  - prefijos del SI, 470
- Constelaciones
  - del cielo mes a mes, 45
  - mapas, 326
  - posición y tamaño, 323
- Coordenadas
  - aparentes (aberración), 158
  - geográficas. *Véase* Posiciones geográficas
  - medias (precesión), 153
  - verdaderas (nutación), 156
- Corrección de las coordenadas

- por aberración ánuua, 158
  - por nutación, 156
  - por precesión, 153
  - por refracción atmosférica, 147
- Crepúsculo
  - civil, náutico y astronómico, 197
  - visibilidad de los planetas, 24
- Cúmulos estelares
  - abiertos o galácticos, 365
  - cerrados o globulares, 364
- D**
- Día
  - definición, 91, 120
  - del año, 108
  - día de la semana, 123, 131
  - día juliano, 123
  - duración del día, 199
  - duración media del día sidéreo, 114
  - duración media del día solar, 114
- Día juliano, DJ
  - año a año, 122
  - descripción, 121
  - día a día, 108
  - días julianos notables, 122
  - DJ y día de la semana, 123
  - fórmula para este año, 19
  - mes a mes, 122
  - modificado, 123
  - para fechas gregorianas, 123
- Distancia
  - en el sistema solar, 472
  - en la Vía Láctea, 471
- E**
- Eclipses
  - de Luna definición y tipos, 80
  - de Luna durante este año, 81
  - de Luna futuros, 86
  - de Luna interpretación de mapas y tablas, 81
  - de Luna magnitud, 81
  - de Sol definición y tipos, 70
  - de Sol durante este año, 71
  - de Sol futuros, 78
  - de Sol interpretación de mapas y tablas, 71
  - de Sol magnitud, 70
  - de Sol visibles en España, 78
  - durante este año, 21
  - durante este siglo, 21
- Ecuación de los equinoccios
  - definición, 113
  - día a día, 108
  - fórmula, 96
  - fórmula aproximada, 100
- Ecuación de tiempo
  - definición, 117
  - día a día, 108
  - fórmula, 97
  - fórmula aproximada, 118
  - gráfica, 98
  - valores extremos y nulos, 119
- Enanos, planetas
  - datos fotométricos, 291
  - definición, 289
  - descubrimiento, 292
  - efemérides, 293
  - elementos orbitales, 290
  - masa, tamaño, 291
  - satélites, 292
  - traslación, 291
- Equinoccios
  - de primavera y de otoño, 19
  - ecuación de los equinoccios. Véase Ecuación de los equinoccios
  - para este año, 20
- Eris
  - datos fotométricos, 291
  - descubrimiento, 292
  - efemérides, 297
  - elementos orbitales, 290

- masa, tamaño, 291  
satélites, 292  
traslación, 291
- Escalas de tiempos. *Véase también* Tiempo  
convenio para el Anuario, 19
- Estaciones  
duración, 20  
fechas extremas de inicio, 20  
inicio para este año, 20
- Estrellas  
brillantes, 339  
cercanas, 337  
constelaciones.  
*Véase* Constelaciones  
de gran movimiento propio, 338  
dobles, 345  
equivalencias en distancias, 471  
magnitud y brillo, 340  
nombres usuales, 332  
ocultaciones por la Luna, 41  
Pléyades, 335  
Polar. *Véase* Polar (estrella)  
tipo Mira, 353  
variables, 350  
variables Algol, 352  
variables  $\beta$  Lyrae, 352
- F**
- Fases de la Luna, 20
- Fecha  
escritura normalizada, 120  
juliana, 121
- Fenómenos astronómicos  
día a día, 45  
resumen anual, 19
- G**
- Galaxias  
brillantes, 380  
cuásares, 381  
cúmulos de galaxias, 382  
del Grupo Local, 375
- en catálogo de Messier, 371  
infrarrojas, 381  
ley de Hubble, 384  
nombres usuales, 377  
radiogalaxias, 381  
tabla de distancias, 384
- H**
- Haumea  
datos fotométricos, 291  
descubrimiento, 292  
efemérides, 295  
elementos orbitales, 290  
masa, tamaño, 291  
satélites, 292  
traslación, 291
- I**
- Interpolación  
directa, 473  
inversa, 475
- J**
- Júpiter  
conjunción y oposición, 23  
constelaciones recorridas, 23  
datos orbitales, físicos y fotométricos, 234  
efemérides, 248  
efemérides orbitales, 23  
efemérides para  
observaciones físicas, 249  
posición de los satélites galileanos, 272  
satélites, 266  
visibilidad en este año, 24
- L**
- Luna  
apogeos, 226  
comparación con otros satélites, 264  
coordenadas topocéntricas, 207

culminación, orto y ocaso en Madrid, 209  
 datos físicos, 204  
 distancia a la Tierra, 203  
 eclipses. *Véase* Eclipses  
 edad, 226  
 elementos medios orbitales, 203  
 fases  
   definición, 20, 225  
   en este año, 21, 225  
 libraciones, 204  
 meses, 204  
 ocultaciones, 40  
 órbita, 203  
 ortos y ocasos en cualquier lugar, 221  
 paralaje, 205  
 paso por el meridiano, 224  
 perigeos, 226  
 semidiámetro, 205

## M

### Magnitud

de asteroides brillantes, 299  
 de cúmulos estelares, 364  
 de estrellas, 340  
 definición, 340  
 de galaxias brillantes, 380  
 de galaxias del Grupo Local, 375  
 de los planetas cada 20 días, 243  
 del Sol: absolutas, aparentes, 172  
 de objetos Messier, 371  
 de planetas en oposición, 236  
 de satélites en oposición, 270  
 diferencia de magnitud y razón de brillo, 470  
 máxima de Mercurio, Venus y Marte, 22

media de Júpiter,...Neptuno, 23

### Makemake

datos fotométricos, 291  
 descubrimiento, 292  
 efemérides, 296  
 elementos orbitales, 290  
 masa, tamaño, 291  
 satélites, 292  
 traslación, 291

### Marte

datos orbitales, físicos y fotométricos, 234  
 efemérides, 246  
 efemérides orbitales, 23  
 efemérides para observaciones físicas, 247  
 fenómenos en este año, 23  
 satélites, 266  
 visibilidad en este año, 24

### Mercurio

datos orbitales, físicos y fotométricos, 234  
 efemérides, 242  
 efemérides orbitales, 22  
 efemérides para observaciones físicas, 243  
 fenómenos para este año, 22  
 tránsito, 22  
 visibilidad en este año, 24

### Meteoroides

lluvias de meteoros, 317  
 meteoros, 316

## N

### Nebulosas. *Véase también* Vía Láctea

de emisión, 367  
 de reflexión, 366  
 en catálogo de Messier, 371  
 planetarias, 368  
 restos de supernova, 368

### Neptuno

- conjunción y oposición, 23
- constelaciones recorridas, 23
- datos orbitales, físicos y fotométricos, 234
- descubrimiento, 238
- efemérides, 254
- efemérides orbitales, 23
- efemérides para observaciones físicas, 255
- satélites, 266
- Nutación**
- paso de coordenadas medias a verdaderas, 156
- O**
- Objetos menores**
- asteroides. *Véase* Asteroides
- cometas. *Véase* Cometas
- estadísticas, 289
- meteoroides. *Véase* Meteoroides
- planetas enanos. *Véase* Enanos, planetas
- Oblicuidad de la eclíptica**
- durante el año, 171
- Observaciones físicas**
- de los planetas, 242
- del Sol, 171
- Observatorios**
- en el mundo, 164
- en España, 163
- Ocultaciones**
- de asteroides por la Luna, 41
- de estrellas por la Luna, 41
- de planetas por el Sol, 41
- de planetas por la Luna, 40
- Órbita de la Tierra**
- afelio y perihelio en este año, 20
- afelio y perihelio extremos, 20
- datos orbitales, 234, 239
- Ortos y ocasos**
- de la Luna, 221
- de los planetas, 256
- del Sol en cualquier lugar, 192
- del Sol en las capitales, 191
- del Sol en Madrid, 177
- del Sol, orientación, 194
- P**
- Planetas**
- atmósfera, 238
- datos físicos, 237
- declinación durante el año, 240
- descubrimiento, 238
- efemérides, 240
- elementos orbitales, 234, 239
- fenómenos para este año, 22
- fórmulas, 239
- fotometría, albedo, 236
- magnetosfera, 238
- masa, tamaño, 237
- ocultaciones por la Luna, 40
- órbita, 233
- orientaciones y tamaños, 259
- ortos y ocasos en cualquier lugar, 256
- paso por el meridiano, 257
- posiciones heliocéntricas, 258
- rotación, 236
- satélites. *Véase* Satélites
- sistema planetario. *Véase* Sistema solar
- tránsitos, 86
- traslación, 235
- trayectorias anuales, 260
- visibilidad en este año, 24
- Plutón**
- datos fotométricos, 291
- descubrimiento, 292
- efemérides, 294
- elementos orbitales, 290
- masa, tamaño, 291

- satélites, 292
- traslación, 291
- Polar (estrella)
  - coordenadas aparentes, 359
  - coordenadas ecuatoriales J2000, 357
  - coordenadas horizontales, 358
  - determinación de la latitud, 358
- Polo Norte
  - de la Vía Láctea, 362
  - del sistema solar, 233
  - del Sol, 172
- Posiciones geográficas
  - ciudades españolas, 161
  - convenios, 19
  - observatorios españoles, 163
  - observatorios mundiales, 164
- Precesión
  - cálculo aproximado, 153
  - cálculo exacto, 155
  - efecto sobre las coordenadas ecuatoriales, 152
- R**
- Refracción
  - corrección de la altura observada, 147
  - fórmula aproximada, 148
- Rotación terrestre
  - día, 150
  - precesión y nutación, 150
  - variaciones irregulares, 156
- S**
- Satélites
  - artificiales, 159
  - datos físicos, 270
  - descubrimiento, 268
  - elementos orbitales, 266
  - fotometría, 270
  - nombres, 262
  - número, 262
  - periodos, 268
  - posición de los satélites de Saturno, 278
  - posición de los satélites galileanos, 272
  - tamaños, 270
- Saturno
  - conjunción y oposición, 23
  - constelaciones recorridas, 23
  - datos orbitales, físicos y fotométricos, 234
  - efemérides, 250
  - efemérides orbitales, 23
  - efemérides para observaciones físicas, 251
  - inclinación de los anillos, 23
  - posición de los satélites, 278
  - satélites, 266
  - visibilidad en este año, 24
- Semana
  - día de la semana corresp. a una fecha, 131
  - día de la semana corresp. a un día juliano, 123
  - numeración, 121
- Sistema solar
  - asteroides. *Véase* Asteroides
  - cometas. *Véase* Cometas
  - equivalencia en distancias, 472
  - meteoroides. *Véase* Meteoroides
  - sistema planetario, 233
  - unidades, 233
- Sol
  - abundancia de elementos químicos, 174
  - acimut de orto y ocaso, 194
  - afelio y perihelio, 20
  - cálculos aproximados, 189
  - coord. ecuatoriales, 175
  - coord. ecuatoriales aprox., 189
  - coord. heliográficas, 175

- crepúsculos, 197
- culminación, orto y ocaso en Madrid, 175
- datos físicos, 171
- distancia a la Tierra, 189
- duración del día, 199
- eclipses. *Véase* Eclipses
- eje de rotación, P, 175
- entrada en signos del zodiaco, 24
- luminosidad, 172
- manchas solares, 201
- movimiento diario, 189
- movimiento en el espacio, 173
- ocultaciones, 40
- órbita, 171
- ortos y ocasos en cualquier lugar, 192
- ortos y ocasos extremos en Madrid, 200
- orto y ocaso en las capitales, 191
- paralaje horizontal, 189
- paso por el meridiano, 197
- paso por el primer vertical, 196
- rotación, 172
- rotaciones sinódicas, 201
- semidiámetro, 189
- tiempo de paso del semidiámetro, 189
- viento solar, 173
- Solsticios
  - de verano y de invierno, 19
  - para este año, 20
- T**
- Tiempo
  - cambio de hora, 107
  - civil, 98
  - de efemérides (TE), 91
  - DUT1, 94
  - ecuación de los equinoccios. *Véase* Ecuación de los equinoccios
  - ecuación de tiempo. *Véase* Ecuación de tiempo
  - emisores de señales de tiempo, 98
  - escala atómica (TAI), 91
  - escalas de tiempo, 91
  - horario adelantado, 101
  - husos horarios, 101
  - meses (Luna), 204
  - oficial
    - en los países del mundo, 102
    - explicación, 101
  - oficial en España, 107
  - sidéreo, 95
  - sidéreo local, fórmula, 100
  - sidéreo medio, 112
  - sidéreo verdadero en Greenwich día a día, 108
  - siglo, milenio, 121
  - solar medio y verdadero, 97
  - Tiempo Atómico Internacional, 91
  - Tiempo Dinámico Terrestre (TDT), 92
  - tiempos dinámicos, 91
  - Tiempo Terrestre (TT), 92
  - Universal Coordinado (UTC), 93
  - Universal (TU, UT1), 92
- Tierra
  - atmósfera, 145
  - campo magnético, 143
  - comparación con otros planetas. *Véase* Planetas
  - distancia al Sol, 189
  - elipsoide de referencia, 139
  - forma y tamaño, 139
  - masa y momento de inercia, 142

periodo de rotación, 114  
 rotación, 150  
 satélites, 266

#### Tránsitos

definición, 86  
 en los próximos años, 87

#### Traslación

aberración ánuca, 158  
 año, 158  
 distancias al Sol, 158  
 velocidades, 158

## U

#### Unidades

astronómicas, 473  
 día, 91  
 equivalencias útiles, 233,  
 473  
 factores de conversión, 469  
 segundo, 91

#### Urano

conjunción y oposición, 23  
 constelaciones recorridas, 23  
 datos orbitales, físicos y  
 fotométricos, 234  
 descubrimiento, 238  
 efemérides, 252  
 efemérides orbitales, 23  
 efemérides para  
 observaciones físicas,  
 253  
 satélites, 266  
 visibilidad en este año, 24

## V

#### Venus

datos orbitales, físicos y  
 fotométricos, 234  
 efemérides, 244  
 efemérides orbitales, 22  
 efemérides para  
 observaciones físicas,  
 245  
 fenómenos en este año, 22  
 tránsito, 22

visibilidad en este año, 24

#### Vía Láctea

características cerca del Sol,  
 363  
 características globales, 362  
 cúmulos. *Véase* Cúmulos  
 estelares  
 equivalencia en distancias,  
 471  
 nebulosas. *Véase* Nebulosas  
 nubes moleculares, 369

## Z

#### Zodíaco

definición, 24  
 entrada del Sol en signos, 24



**Este anuario contiene las efemérides de los cuerpos del sistema solar y de estrellas, catálogos galácticos y extragalácticos, así como todo tipo de datos de utilidad para el astrónomo aficionado o profesional. Completan esta información varios artículos de divulgación científica.**

**EDITA:**  
O. A. Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)  
General Ibáñez de Ibero, 3 - 28003 Madrid  
Teléfono: + 34 91 597 95 14  
e-mail: [consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es)

[www.ign.es](http://www.ign.es) — [www.cnig.es](http://www.cnig.es) — [www.oan.es](http://www.oan.es)