



ESO

OPTATIVA

INICIACIÓN a la ASTRONOMÍA



EDITORIAL AFORTUNADAS

INICIACIÓN a la ASTRONOMÍA

**Federico Fernández Porredón
Oswaldo González Sánchez**



EDITORIAL AFORTUNADAS

Coordinación editorial y proyecto didáctico

Rafael Fernández Hernández

Dirección artística y técnica

Jaime Hernández Vera

Autores

Coordinador

Federico Fernández Porredón

Equipo

Federico Fernández Porredón

Oswaldo González Sánchez

Francisco Javier Sánchez Portero

Asesoramiento documental: Carmen Delia Pérez Hdez.

Apéndice: La astronomía y las culturas aborígenes canarias.

Juan Antonio Belmonte Avilés

Revisión científica: Jorge Luis del Rosario García

Coordinación Área CCNN: Carmelo Tejera Rguez., Álvaro Díaz Torres

Proyecto Diseño Corporativo Editorial

Director

Jaime Hernández Vera

Investigadores

Javier Torres Franquis

Cristóbal Ruiz Medina

Luis Carlos Espinosa Padilla

María Luisa Hernández Correa

Maquetación

María Luisa Hernández Correa

Ilustraciones

Francisco Javier Sánchez Portero

Julio Pestano Rodríguez

Oswaldo Glez. Sánchez

Walter Myers

Javier Torres Franquis

Fotografías

AGE FOTOSTOCK; Juan A. Belmonte Avilés; Caltech/Jet Propulsion

Laboratory/NASA; Canarias 7; Cartográfica de Canarias; Consorcio SOHO/EIT

(ESA/NASA); Alberto Darias Pérez; José A. Glez. Escalera; Oswaldo Glez. Sánchez;

David Hdez. Ojados; European Space Agency; Federico Fdez. Porredón;

Instituto de Astrofísica de Canarias; Johnson Space Center/NASA;

David Malin et al. IAC/RGO; David Malin, Royal Greenwich Observatory;

Museo de la Ciencia y el Cosmos. O.A.M.C. Cabildo de Tenerife; NOAO/GOES-7;

Noemy Rguez. Gómez; Jesús Rguez. Ulloa; Space Telescope Science Institute

(Telescopio Espacial Hubble); Alan Stern (Southwest Research Institute), Marc Buie (Lowell

Observatory)/C. Burrows y J. Krist (STScI)/C.R. O'Dell y S.K. Wong

(Rice Univ.)/Erich Karkoschka (University of Arizona)/J. Bahcall (Institute for

Advanced Study), M. Disney (University of Wales)/Steve Lee (Univ. Colorado),

Phil James (Univ. Toledo), Mike Wolff (Univ. Toledo)

El presente material didáctico ha sido

creado por iniciativa de Editorial Afortunadas, S.A.

Reservados todos los derechos.

© Editorial Afortunadas, S.A.

Villalba Hervás, 4-6º

38002 Santa Cruz de Tenerife

Email: edafortunadas@cistia.es

Libro de texto para la Etapa Secundaria Obligatoria, Segundo Ciclo,
aprobado para su uso en los centros docentes públicos y privados de
la Comunidad Autónoma de Canarias por la Resolución de la
Dirección General de Ordenación e Innovación Educativa
de 26 de Marzo de 1999.

Fotomecánica: Contacto

Impresión: Litografía A. Romero, S.A.

ISBN: 84-930259-5-X

Depósito legal: TF. 588-1999

PRESENTACIÓN

El libro INICIACIÓN A LA ASTRONOMÍA va dirigido a aquellos alumnos de segundo ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria que, cursando sus estudios en centros de la Comunidad Autónoma de Canarias, hayan elegido la asignatura optativa del mismo título cuyo currículo quedó establecido según resolución de 8 de mayo de 1995 (BOC de 25 de mayo de 1995) de la Dirección General de Ordenación e Innovación Educativa.

La finalidad que cumplen las optativas en la Educación Secundaria Obligatoria es la de contribuir a desarrollar los objetivos de la etapa mediante unos contenidos y metodología que respondan a los intereses, motivaciones y necesidades del alumnado, ampliando la oferta educativa y configurando itinerarios flexibles que permitan completar su formación, así como descubrirle nuevas aptitudes.

Hemos distribuido los contenidos de INICIACIÓN A LA ASTRONOMÍA en siete unidades didácticas más un apéndice.

Las dos primeras páginas de cada unidad comprenden la introducción. En ella se emplean frases relativas al contenido que se va a tratar y se incluyen preguntas que incitan a un debate en el que salgan a la luz los preconceptos que tiene el alumnado sobre el tema en cuestión. Los desarrollos conceptuales van acompañados de dos apartados fijos en todas las unidades: uno lleva por título **Vamos a observar**; el otro es **Apunte histórico**. En los márgenes se incorporan anotaciones de diferente tipo: **Actividad**; **Razona, reflexiona y calcula**; **Nota**; **¿Sabías que...?** Al final de cada unidad se introducen las siguientes secciones fijas: **Taller**; **Para saber más**, (**Matemáticas celestes**, **Ecoastronomía**, **Astroinformática**, **Para profundizar**, etc) y **Autoevaluación**. La unidad se cierra con el **Vocabulario** y la **Bibliografía**.

Para que reconozcas cada uno de estos términos, se representan a continuación los símbolos que los identifican:



Apunte histórico



Vamos a observar



Actividad



Ecoastronomía



Nota



¿Sabías que...?



Razona, reflexiona
y calcula



Taller



Para saber más



Autoevaluación



Astroinformática



Matemáticas
celestes

Editorial Afortunadas espera que este material te ayude a descubrir la geografía celeste, a profundizar en el conocimiento de las estrellas, constelaciones y otros cuerpos y fenómenos astronómicos. Deseamos que disfrutes observando la bóveda celeste desde el cielo de Canarias.

ÍNDICE GENERAL

Unidades

Epígrafes

Desarrollos



1 ASTRONOMÍA DIURNA

Pág. 8

1. Los movimientos de la Tierra: la rotación.
2. Los movimientos de la Tierra: la traslación.

- El día y la noche.
- Los crepúsculos.
- El año.
- La estaciones.
- Zonas climáticas extremas.



2 ASTRONOMÍA NOCTURNA

Pág. 28

1. La bóveda celeste: las constelaciones.
2. Los movimientos aparentes de los astros.

- Las constelaciones
- El brillo de las estrellas
- Coordenadas horizontales o altazimutales
- De la rotación y traslación de la Tierra.
- Coordenadas ecuatoriales
- La precesión de la Tierra y sus consecuencias.



3 ESCALA Y COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO

Pág. 54

1. Preparando el viaje: del macrocosmos al microcosmos.
2. Explorando el universo exterior.
3. Acercándonos a lo más pequeño.

- Cuerpos celestes.
- Los ladrillos del Universo: los átomos.
- Las Islas Canarias, la Tierra, el sistema solar, las estrellas y nuestra galaxia en los sucesivos con textos dentro del Universo.
- De la visión macroscópica a la subatómica.



4 EL SISTEMA SOLAR 1: EL SOL

Pág. 84

1. Origen del sistema solar.
2. El Sol.
3. La luz del Sol.
4. Análisis de la luz.

- La formación del Sol y de los planetas.
- El Sol: situación y fuente de energía.
- Atmósfera y manchas solares.
- Ondas electromagnéticas
- El color de los cuerpos
- Refracción y dispersión de la luz



5 EL SISTEMA SOLAR 2: EL SOL: TIERRA-LUNA

Pág. 110

1. La Tierra
2. Estructura de la Tierra
3. La Luna: características generales.
4. Posiciones Sol-Tierra-Luna. Consecuencias.

- Origen y evolución de la Tierra
- Las capas sólidas interiores y las fluidas exteriores de la Tierra.
- Origen y estructura de la Luna.
- Órbita y fases de la Luna.



6 EL SISTEMA SOLAR 3: PLANETAS, ASTEROIDES, COMETAS Y METEOROIDES

Pág. 146

1. Los planetas del sistema solar
2. Características de los planetas.
3. Los cometas.
4. Meteoros, meteoroides y meteoritos.

- Los planetas interiores y exteriores.
- Movimiento retrógrado.
- Mercurio, Venus, Marte.
- Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno, Plutón.



7 LAS ESTRELLAS Y LAS GALAXIAS

Pág. 180

1. Las estrellas.
2. Colores y tipos de estrellas.
3. Evolución estelar.
4. Estrellas dobles y variables.
5. Las galaxias.
6. El Universo y la teoría del Big Bang.

- Brillo de las estrellas; colores y tipos de estrellas
- El cuerpo negro.
- Leyes Stefan-Boltzman y Wien. Diagrama H-R
- Nacimiento, vida y muerte de una estrella.
- Sistemas estelares múltiples y estrellas variables.
- La Vía Láctea. Cúmulos abiertos y globulares.
- Quásares y el Grupo Local
- La constante de Hubble. La teoría del Big Bang.



APÉNDICE

Pág. 212

1. Guía de las constelaciones.
2. La astronomía y las culturas aborígenes canarias.
3. Tablas y efemérides.
4. Glosario.

Taller

Para saber más

- El cuadrante.
- Reloj de sol ecuatorial.

- Los primeros astrónomos.
- Influencia de la inclinación de la Tierra y de la duración del día en los ecosistemas.
- Perímetro, rotación y traslación terrestres.
- Duración del año: velocidad media.
- Inclinación de los rayos solares: resta de ángulos; ángulos alternos-internos.
- Programas de informática.

- El nocturlabio.
- Contador de estrellas.
- La ballestilla.
- Retratando constelaciones

- Determina la altura y el azimut de un astro brillante.
- Mide la separación angular entre dos estrellas y determina su número en el contador.
- Comprueba sobre qué constelación está el Sol el día de tu cumpleaños.
- Instantáneas de larga exposición y fotografía circumpolar.
- Magnitudes estelares: cálculos de potencias de exponente entero o decimal
- La declinación más meridional visible desde Canarias: suma de ángulos.
- Coordenadas astronómicas; sistemas de coordenadas y su aplicación a la astroinformática.

- Los prismáticos.
- El telescopio.
- Construcción de un catalejo.

- El telescopio (apunte histórico).
- Determinación de la distancia a un astro conociendo la distancia angular. Concepto de radián.
- Más sobre el átomo.
- Astroinformática.

- Un espectroscopio de bolsillo.
- Creando manchas solares.

- La masa y la energía, dos caras de una misma moneda.
- El Sol, un horno de cuatrocientos cuatrillones de vatios de potencia.
- Pero... ¿es que no se cumple la ley de conservación de la materia?
- Espectros de emisión y de absorción. El espectro solar: las líneas de Fraunhofer.
- Apunte histórico sobre el espectroscopio.
- Actividad de observación: parte mensual de observaciones solares y astroinformática.

- Reproducción de las fases lunares.
- Formación de cráteres en la Luna.

- La molécula de agua y el átomo de carbono.
- La influencia de la atmósfera en la observación astronómica. El color del cielo.
- Las mareas en los puertos canarios.
- Observaciones del centelleo, de la extinción y de la variación de la distancia a la Luna.
- El agujero de ozono y el efecto invernadero.
- Determinación del apogeo y perigeo de la Luna y astroinformática.

- Reproducción a escala del sistema solar.
- Grabando los sonidos de Júpiter.
- Trayectoria de un cometa.

- El Hubble encuentra un posible planeta fugitivo.
- Buscando la escala del sistema solar.
- Distancia Tierra-Venus en su máxima elongación: soluciones gráfica y analítica. Teorema de Pitágoras.
- La relación periodos orbitales de satélites de Júpiter y sus distancias al planeta. Tercera ley de Kepler.
- Observar satélites artificiales y Astroinformática.

- Relación entre la temperatura y el color de un sólido incandescente.
- Disminución de la luminosidad con la distancia.
- La expansión del Universo.
- Diagrama H-R.

- Determinación de la magnitud de una estrella variable por el método de Argelander: interpolación.
- Observación de estrellas dobles.
- Astroinformática.

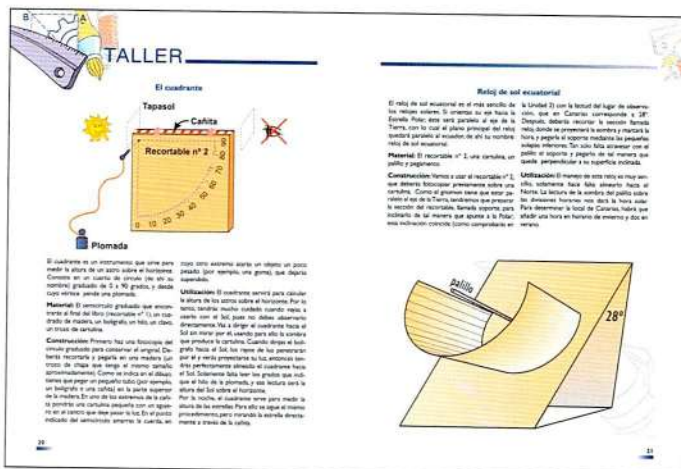
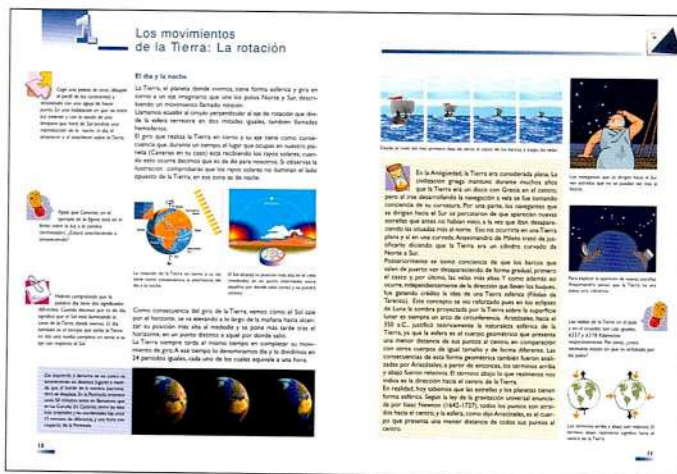
- Recortables. Material didáctico.

ESQUEMA DE UNIDAD

Las dos primeras páginas comprenden la introducción. En ella se emplean frases relativas al contenido que se va a tratar y se incluyen preguntas que incitan a un debate en el que salgan a la luz los preconceptos que tiene el alumnado sobre el tema en cuestión.



Los desarrollos conceptuales, recogidos en el sumario anterior, van acompañados de dos apartados fijos en todas las unidades: uno lleva por título **Vamos a observar**. En él se propone la observación de los astros, de sus movimientos y de sus principales rasgos, haciendo uso para ello de ese laboratorio natural, cambiante y gratuito, que es la bóveda celeste, lo que servirá de apoyo para un aprendizaje significativo. El otro apartado es **Apunte histórico**, en el que se da una visión de los descubrimientos astronómicos y del contexto social, generalmente hostil, en que éstos se produjeron. Junto al cuerpo central de la página, o texto principal, en los márgenes se incorporan notas o curiosidades que tratan de ampliar o afianzar los conceptos expuestos. Estas tareas encaminadas a desarrollar o a profundizar los contenidos aparecen ordenadas de esta forma: **Actividad; Razona, reflexiona y calcula; Nota; ¿Sabías que...?**



Al final de cada unidad se introduce la sección fija **Taller**, en la que se propone la construcción de una parte del material que debe utilizarse en las observaciones.

PARA SABER MÁS

Los primeros astrónomos

Como ya sabes, el hombre primitivo se dio cuenta de la existencia de los días y de la noche, de la existencia de las estaciones y de la existencia de los meses. Pero, ¿cómo se dio cuenta de la existencia de los días y de la noche? ¿Cómo se dio cuenta de la existencia de las estaciones y de la existencia de los meses? ¿Cómo se dio cuenta de la existencia de los días y de la noche? ¿Cómo se dio cuenta de la existencia de las estaciones y de la existencia de los meses?

La inclinación del eje de la Tierra y la duración del día influyen en la diversidad de los ecosistemas terrestres.

Como has visto, el eje de la Tierra se inclina respecto a la perpendicular a la trayectoria de su órbita. Esta inclinación es la responsable de la existencia de las estaciones y de la existencia de los meses. La inclinación del eje de la Tierra y la duración del día influyen en la diversidad de los ecosistemas terrestres.

Como has visto, el eje de la Tierra se inclina respecto a la perpendicular a la trayectoria de su órbita. Esta inclinación es la responsable de la existencia de las estaciones y de la existencia de los meses. La inclinación del eje de la Tierra y la duración del día influyen en la diversidad de los ecosistemas terrestres.

También como sección permanente al final de cada unidad didáctica tenemos **Para saber más**, apartado que, tratando de ampliar y ahondar a través de las actividades y de atender a la diversidad, introduce aspectos como **Matemáticas celestes**, **Ecoastronomía**, **Astroinformática**, **Para profundizar**, etc.

AUTOEVALUACIÓN

Conexiones sobre la vida

Movimientos de la Tierra

Reflexión sobre la vida

Inclinación del eje

Estaciones

VOCABULARIO

BIBLIOGRAFÍA

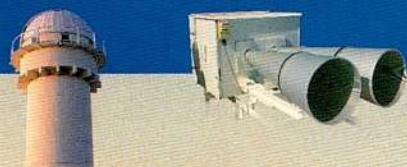
Una tercera sección es la que denominamos **Autoevaluación**. La unidad se cierra con el **Vocabulario** y la **Bibliografía**.

Guía de las constelaciones

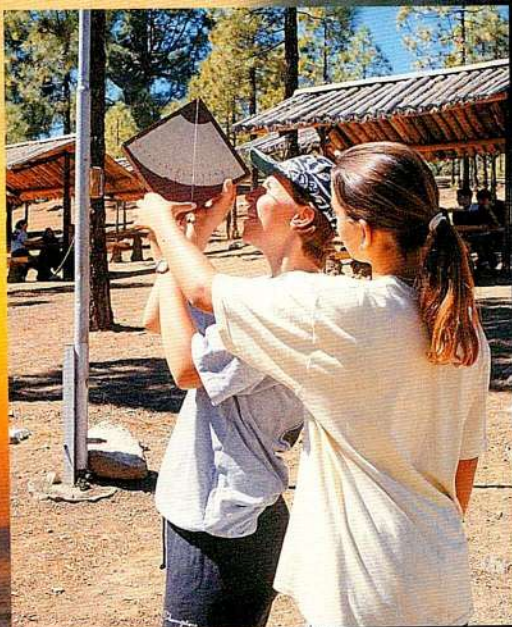
Al finalizar las siete unidades, se abre el **Apéndice**, compuesto por cuatro apartados: la **Guía de las constelaciones** (descripción de la geografía celeste que familiariza al alumnado en la observación de la bóveda), la **astronomía y las culturas aborígenes canarias**, las **Tablas y efemérides** (datos para observar un acontecimiento celeste determinado que se prevé va a ocurrir) y el **Glosario** (definiciones de los términos científicos que se han ido seleccionando del **Vocabulario** de cada una de las unidades).



ASTRONOMÍA DIURNA



Existen situaciones cotidianas tan habituales y evidentes que raramente nos detenemos a reflexionar sobre ellas. Hechos tan comunes como la alternancia de las noches y los días y la llegada cíclica de las estaciones merecen una reflexión.



*El sol se detuvo en medio del cielo,
y no se apresuró a ponerse, casi un
día entero.*

*Libro de Josué.
Antiguo Testamento.*

Expresiones de uso tan corriente como: a mediodía, el próximo año, por la tardecita, a la salida del sol, el verano que viene, ponen de manifiesto que empleamos a diario conceptos astronómicos de forma rutinaria. Escribe una relación de expresiones de uso frecuente que utilicen estos conceptos y coméntala con tus compañeros.

¿A qué se debe el cambio de posición del Sol durante el día?

¿Es el Sol el que se mueve o es la Tierra?

¿Dónde está el Sol durante la noche? ¿Por qué tienes la certeza de que saldrá unas horas después?

¿Por qué tenemos la seguridad de que dentro de unos meses llegará el verano?

¿Se debe el invierno a que la Tierra estará más lejos del Sol?

Los movimientos de la Tierra: La rotación



Coge una pelota de tenis, dibújale el perfil de los continentes y atraviésala con una aguja de hacer punto. En una habitación en que no entre luz exterior y con la ayuda de una lámpara que hará de Sol tendrás una reproducción de la noche, el día, el amanecer y el anochecer sobre la Tierra.

El día y la noche

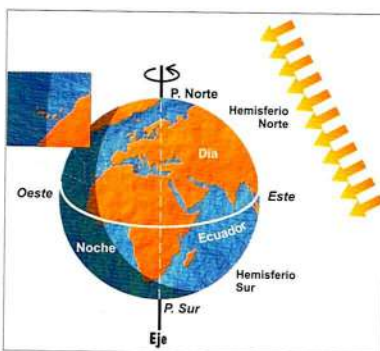
La Tierra, el planeta donde vivimos, tiene forma esférica y gira en torno a un eje imaginario que une los polos Norte y Sur, describiendo un movimiento llamado *rotación*.

Llamamos *ecuador* al círculo perpendicular al eje de rotación que divide la esfera terrestre en dos mitades iguales, también llamadas hemisferios.

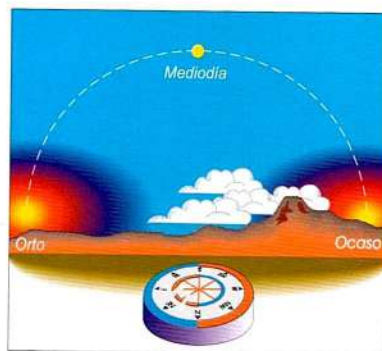
El giro que realiza la Tierra en torno a su eje tiene como consecuencia que, durante un tiempo, el lugar que ocupas en nuestro planeta (Canarias en tu caso) está recibiendo los rayos solares; cuando esto ocurre decimos que es de *día* para nosotros. Si observas la ilustración comprobarás que los rayos solares no iluminan el lado opuesto de la Tierra; en esa zona es de *noche*.



Fíjate que Canarias, en el ejemplo de la figura, está en el límite entre la luz y la sombra (terminador). ¿Estará anocheciendo o amaneciendo?



La rotación de la Tierra en torno a su eje tiene como consecuencia la alternancia del día y la noche.



El Sol alcanza su posición más alta en el cielo (mediodía) en un punto intermedio entre aquellos por donde salió (orto) y se pondrá (ocaso).

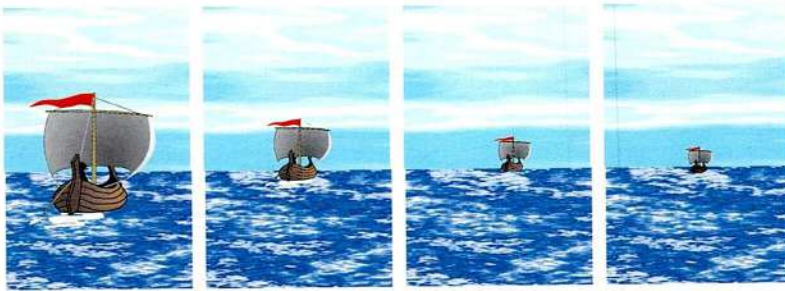


Habrás comprobado que la palabra *día* tiene dos significados diferentes. Cuando decimos que es de *día* significa que el Sol está iluminando la zona de la Tierra donde vivimos. El *día* también es el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta completa en torno a su eje con respecto al Sol.

Como consecuencia del giro de la Tierra, vemos cómo el Sol sale por el *horizonte*, se va elevando a lo largo de la mañana hasta alcanzar su posición más alta al *mediodía* y se pone más tarde tras el horizonte, en un punto distinto a aquel por donde salió. La Tierra siempre tarda el mismo tiempo en completar su movimiento de giro. A ese tiempo lo denominamos *día* y lo dividimos en 24 periodos iguales, cada uno de los cuales equivale a una hora.

De izquierda a derecha se ve cómo va amaneciendo en distintos lugares a medida que el borde de la sombra (terminador) se desplaza. En la Península amanece unos 50 minutos antes en Barcelona que en La Coruña. En Canarias, entre las islas más orientales y las occidentales hay unos 15 minutos de diferencia, y una hora con respecto de la Península.





Desde el nivel del mar, primero deja de verse el casco de los barcos y luego, las velas.



En la Antigüedad, la Tierra era considerada plana. La civilización griega mantuvo durante muchos años que la Tierra era un disco con Grecia en el centro, pero al irse desarrollando la navegación a vela se fue tomando conciencia de su curvatura. Por una parte, los navegantes que se dirigían hacia el Sur se percataron de que aparecían nuevas estrellas que antes no habían visto, a la vez que iban desapareciendo las situadas más al norte. Eso no ocurriría en una Tierra plana y sí en una curvada. Anaximandro de Mileto trató de justificarlo diciendo que la Tierra era un cilindro curvado de Norte a Sur.

Posteriormente se tomó conciencia de que los barcos que salen de puerto van desapareciendo de forma gradual, primero el casco y, por último, las velas más altas. Y como además así ocurre, independientemente de la dirección que lleven los buques, fue ganando crédito la idea de una Tierra esférica (Filolao de Tarento). Este concepto se vio reforzado pues en los eclipses de Luna la sombra proyectada por la Tierra sobre la superficie lunar es siempre un arco de circunferencia. Aristóteles, hacia el 350 a.C., justificó teóricamente la naturaleza esférica de la Tierra, ya que la esfera es el cuerpo geométrico que presenta una menor distancia de sus puntos al centro, en comparación con otros cuerpos de igual tamaño y de forma diferente. Las consecuencias de esta forma geométrica también fueron analizadas por Aristóteles; a partir de entonces, los términos arriba y abajo fueron relativos. El término abajo lo que realmente nos indica es la dirección hacia el centro de la Tierra.

En realidad, hoy sabemos que las estrellas y los planetas tienen forma esférica. Según la ley de la gravitación universal enunciada por Isaac Newton (1642-1727), todos los puntos son atraídos hacia el centro, y la esfera, como dijo Aristóteles, es el cuerpo que presenta una menor distancia de todos sus puntos al centro.



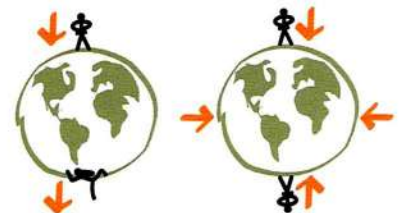
Los navegantes que se dirigen hacia el Sur ven estrellas que no se pueden ver más al Norte.



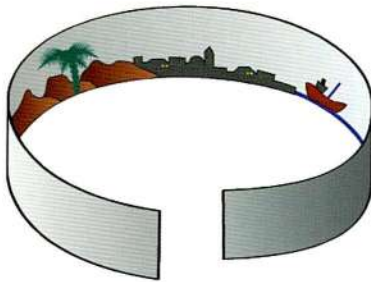
Para explicar la aparición de nuevas estrellas Anaximandro pensó que la Tierra no era plana, sino cilíndrica.



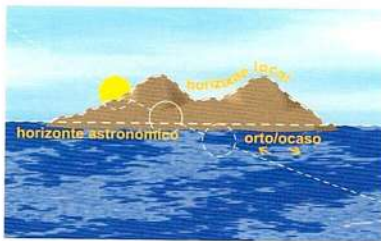
Los radios de la Tierra en el polo y en el ecuador son casi iguales, 6357 y 6378 Kilómetros respectivamente. Por tanto, ¿crees necesario insistir en que es achatada por los polos?



Los términos arriba y abajo son relativos. El término abajo realmente significa hacia el centro de la Tierra.



Dibuja en una tira alargada tu horizonte local.



Los obstáculos muchas veces nos impiden observar el orto y el ocaso.



Con la finalidad de que saques tus propias conclusiones, te invitamos a que hagas estas observaciones:

El horizonte desde un lugar determinado

Vas a comprobar que el concepto de horizonte depende del lugar elegido. Dibuja en una tira de papel el horizonte completo que ves desde un lugar determinado. Por ejemplo, la azotea de tu casa. El horizonte que has dibujado, que se llama horizonte local, ¿es una línea recta o hay obstáculos en él? Comprueba las diferencias con el que ves desde otros lugares, por ejemplo desde tu centro de estudio.

Los astrónomos usan el denominado horizonte astronómico, la línea imaginaria que verías si a tu horizonte le quitaras todos los obstáculos. Por ejemplo, si estuvieras en medio del océano.

Salida y puesta del Sol

Anota en el cuaderno de campo la hora en la que el Sol aparece sobre el horizonte y la hora en que se oculta en un día cualquiera. Señala además, en el horizonte dibujado anteriormente, el punto por donde sale y por donde se pone el Sol. Comprueba en la prensa la hora exacta de la salida y puesta del Sol. ¿Coinciden con las que anotaste? Si no es así, ¿a qué puede deberse? ¿Qué tiempo ha pasado desde que el Sol salió por tu horizonte hasta que se puso?

El momento en que el Sol comienza a verse sobre el horizonte astronómico se denomina *orto*; cuando termina de ocultarse, *ocaso*. Sin embargo, los obstáculos muchas veces nos impiden observar estos fenómenos.

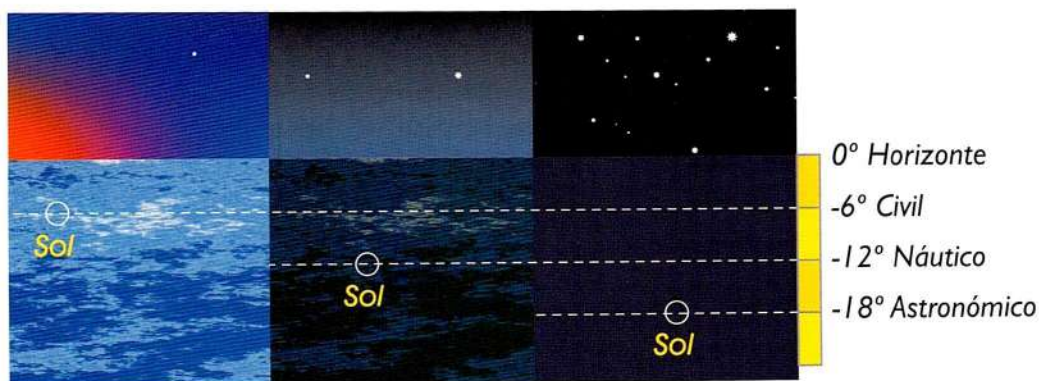
Generalmente el Sol sale a cierta distancia del punto cardinal Este, y no exactamente por él. Lo mismo pasa con la puesta de Sol en relación con el Oeste. Por todo ello, el día y la noche no duran lo mismo.

Los Crepúsculos

Habrás notado que, después de que el Sol se oculta tras el horizonte, la noche no cae de golpe sino paulatinamente debido a la dispersión de la luz en la atmósfera terrestre; lo mismo ocurre antes de que el Sol salga sobre el horizonte por la mañana. Precisamente a esa *dispersión* de la luz en la atmósfera se debe el color azul del cielo. Esto no ocurre, por ejemplo, en la superficie de la Luna, donde no hay atmósfera. Allí, la noche llega instantáneamente. Además, durante el día lunar el cielo es negro por no tener la luz un medio de dispersión.



Observar es más que ver, es contemplar atentamente los astros a simple vista o con la ayuda de instrumentos, con la finalidad de comprender sus movimientos y su naturaleza. Nunca debes mirar directamente al Sol, y mucho menos con prismáticos o telescopio.



La altura del Sol bajo el horizonte determina la oscuridad de los distintos tipos de crepúsculos.

Se llama *crepúsculo* vespertino al periodo de tiempo que hay entre la puesta del Sol y el inicio de la oscuridad, y crepúsculo matutino al comprendido entre el fin de la oscuridad y la salida del Sol.

Según el tipo de oscuridad al que nos refiramos, existen tres tipos de crepúsculos: civil, náutico y astronómico.

De forma aproximada podemos determinar la duración de cada crepúsculo, utilizando procedimientos cotidianos. Por ejemplo, si todavía hay luz suficiente como para leer un libro, nos encontramos en el crepúsculo civil, es decir, desde que se pone el Sol hasta que el centro del disco solar se encuentra 6° por debajo del horizonte.

Si ya no podemos leer, pero nos es posible separar la línea del horizonte entre el cielo y la Tierra (o, en el caso del mar, la línea del horizonte entre el cielo y el mar), tenemos lo que denominamos crepúsculo náutico. Éste dura hasta que la altura del Sol es -12°. Cuando dejamos de percibir esa línea, entramos en el crepúsculo astronómico, el cual termina cuando podemos ver las estrellas más débiles. Esto ocurre cuando la altura del Sol por debajo del horizonte supera los 18°.

Los efectos producidos en la atmósfera por las cenizas arrojadas en la erupción del volcán Pinatubo (1991) se notaron en unos crepúsculos especialmente rojos.





Tomando las debidas precauciones, mide la altura del Sol sobre el horizonte con una regla colocada cerca de los ojos. Sitúa ahora la regla a un palmo de tu cara y mídela de nuevo. Saca conclusiones.



La altura del Sol sobre el horizonte, así como la distancia relativa entre los cuerpos celestes, se mide en grados de circunferencia. No se puede decir que la altura del Sol sobre el horizonte sea por ejemplo de 15 centímetros, pues esa medida cambiaría al acercar o alejar la regla a tus ojos. Para medir la altura del Sol lo harás con el cuadrante.



Anota la posición de la sombra arrojada por el gnomon a distintas horas.



En el siglo II de nuestra era, Ptolomeo consideró como primer meridiano hacia el Oriente el que pasa por la Punta de Orchilla, en la isla de El Hierro. Esta tierra era la más occidental que se conocía.

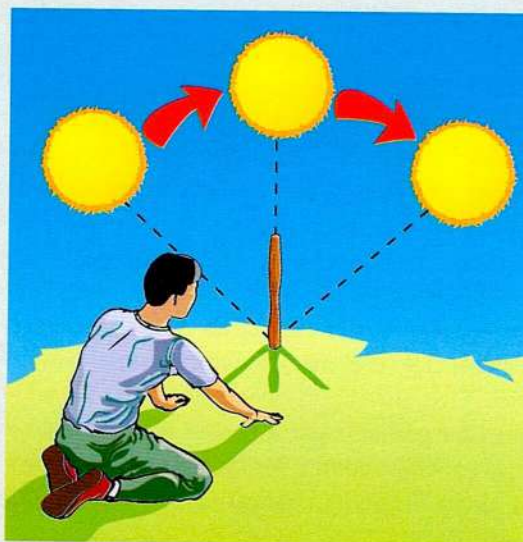
Evolución del Sol a lo largo del día. Determinación de la hora del mediodía y de los puntos cardinales



Materiales:

- Gnomon (varilla perpendicular al suelo).
- Cuadrante (se puede construir según se muestra en **Taller**).
- Cinta métrica.
- Tizas de diferentes colores.
- Reloj.

Para realizar esta observación debes elegir un lugar descubierto, de suelo llano y horizontal, por ejemplo, un patio o una terraza. Coloca una varilla perpendicularmente al suelo con la finalidad de



hacer un seguimiento de la sombra que proyecta. A este simple artilugio lo llamamos *gnomon*.

Marca con una cruz el extremo de la sombra que se extiende bajo el gnomon y anota la hora en el cuaderno de campo. Repite la operación a intervalos de tiempo determinados a partir de cierta hora de la mañana. Verás cómo la sombra va decreciendo hasta que alcanza su mínima longitud y vuelve a hacerse más grande. Determina la hora en que la sombra fue más pequeña y marca con una tiza su dirección. A esa hora se le llama mediodía solar, y la sombra marca la dirección del punto cardinal Norte. Si prolongas la línea de la sombra alrededor de toda la Tierra, pasará por los polos Norte y Sur. Estas líneas se llaman meridianos. Señala los cuatro puntos cardinales en el dibujo de tu horizonte.



Los meridianos son las líneas que van de un polo a otro. Junto con los paralelos (los círculos paralelos al ecuador) sirven para definir la posición de un punto sobre la esfera terrestre. Las coordenadas de un punto vienen dadas por su latitud y su longitud. La latitud es el ángulo existente entre el ecuador y el punto; la longitud es el ángulo entre el meridiano que pasa por éste (meridiano local) y otro que sirve de referencia (el que pasa por Greenwich, cerca de Londres). Las Islas Canarias están situadas entre $27,5^\circ$ y $29,5^\circ$ de latitud Norte y entre $13,5^\circ$ y 18° de longitud Oeste.

También puedes medir la altura del Sol con un cuadrante

Puedes completar la observación anterior midiendo con el cuadrante la altura del Sol, tal y como hacen las chicas de la foto y elaborando una tabla de valores como la suya. Para ello, cada vez que marcas en el suelo el extremo de la sombra, debes medir con el cuadrante el ángulo que forma el Sol con el horizonte. Anota la hora en que el ángulo es máximo. ¿Cómo era la longitud de la sombra a esa hora? Saca conclusiones.

Resultados experimentales

Es aconsejable que elabores una tabla en la que se reflejen los resultados de tu investigación. La siguiente puede servirte de modelo:

Los resultados que obtuvo un grupo de alumnos y alumnas de acampada en Vilaflor (Isla de Tenerife) el día 25-4-96, usando un gnomon de 87,7 centímetros de longitud se resumen en la tabla siguiente:

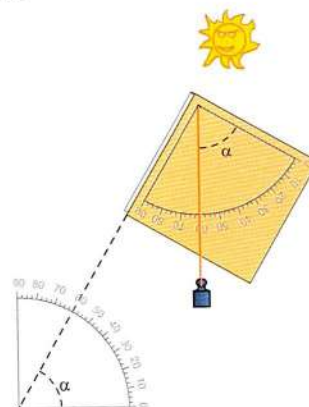
Observaciones	Hora local	Longitud sombra (cm)	Ángulo cuadrante
1 ^a	11:30	72,5	57°
2 ^a	12:00	53,5	60°
3 ^a	12:30	45,5	70°
4 ^a	13:00	36,5	75°
5 ^a	13:15	31,5	78°
6 ^a	13:30	28	80°
7 ^a	13:45	25,5	82°
8 ^a	14:00	23,5	---
9 ^a	14:10	23	75°
10 ^a	14:20	23,5	---
11 ^a	14:33	24,5	76°
12 ^a	14:45	26,5	77°



El cuadrante sirve para determinar la altura de los astros sobre el horizonte. ¡No observes el Sol directamente!



¿Por qué el ángulo que forma la plomada con el borde del cuadrante es el mismo que el formado por los rayos solares con el suelo?



Debes tener en cuenta que las medidas están siempre sometidas a error. En este tipo de observaciones con más razón ya que, mientras apuntas al Sol con el cuadrante, debes anotar el ángulo que forma la cuerda de la plomada. También el viento afectará a la exactitud de la medida.

Los movimientos de la Tierra: La traslación

El año



El año no tiene un número exacto de días. Por eso, cuando celebramos el fin de año, estamos un poco más atrás en la órbita que el año pasado. El desfase sólo se corrige cada cuatro años.

Además del movimiento de giro en torno a su eje, la Tierra se traslada alrededor del Sol describiendo una elipse. Su distancia del Sol, sin embargo, no varía mucho (152 y 147 millones de kilómetros son la distancia máxima y mínima del Sol, llamadas respectivamente *afelio* y *perihelio*) con lo que la elipse se asemeja bastante a una circunferencia.

Al tiempo que tarda la Tierra en pasar dos veces consecutivas por el mismo punto de la trayectoria lo llamamos año, periodo en el que completa 365,25 vueltas sobre su eje. Por lo tanto, un año no tiene un número exacto de días. Para evitar el desfase, a uno de cada cuatro años le añadimos un día más. A ese año lo llamamos bisiesto. Si no añadiéramos ese día extra, al cabo de cuatro siglos, por ejemplo, el 31 de diciembre coincidiría con el final del verano.

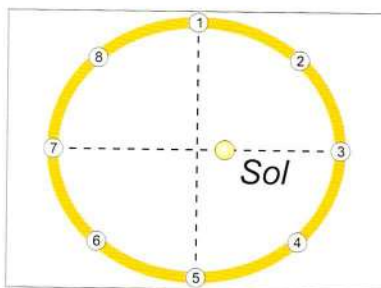
Las estaciones

El eje de la Tierra no es perpendicular a la trayectoria de nuestro planeta, sino que forma con la perpendicular un ángulo de $23,5^\circ$. Al efecto de esta inclinación, combinado con el movimiento de traslación, se debe la existencia de las estaciones.

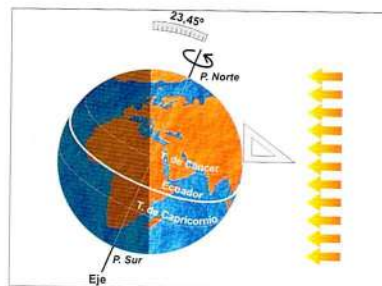
El esquema siguiente muestra cómo el Sol, en el transcurso del año, envía sus rayos perpendicularmente a la Tierra sobre zonas que están comprendidas entre $23,5^\circ$ de latitud al norte del ecuador (trópico de Cáncer) y $23,5^\circ$ de latitud al Sur (trópico de Capricornio).



En la figura de la derecha se indica la trayectoria de la Tierra respecto del Sol. Discute con tus compañeros qué posiciones ocuparemos cuando es verano y cuando es invierno en Canarias.



Señala sobre uno de los círculos que representa la Tierra, dónde será de día y dónde será de noche.



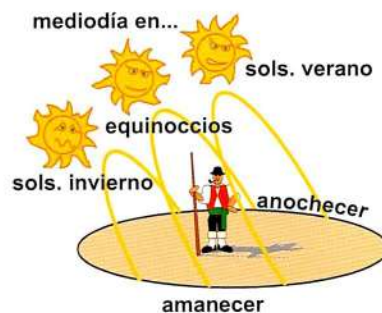
En las regiones entre los trópicos, el Sol llega a estar lo suficientemente alto como para situarse justo sobre tu cabeza. Fuera de esta zona, no ocurre así.



Los rayos solares no inciden nunca perpendicularmente en latitudes al norte de $23,5^\circ$ N. Trópico de Cáncer es el paralelo terrestre que tiene esa latitud. Los rayos solares no inciden nunca perpendicularmente en latitudes al Sur de $23,5^\circ$ S. Trópico de Capricornio es el paralelo que tiene esa latitud.

El comienzo y el final de las estaciones están marcados por el paso de la Tierra a través de unos puntos característicos de su órbita en los que se producen los equinoccios y los solsticios. En el dibujo de la página 17 vemos la posición de la Tierra en: 1 Primavera; 2 Verano; 3 Otoño; 4 Invierno.

Posición 1: el 21 de marzo, los rayos solares inciden perpendicularmente al ecuador, lo que origina el comienzo de la primavera en el hemisferio Norte y el otoño se inicia en el Sur. Es el equinoccio de



En verano no hace más calor porque el Sol brille más, sino porque está más tiempo y más alto en el cielo.

primavera: en él la duración del día y de la noche es la misma, doce horas. A partir de esa fecha, en el hemisferio Norte los días serán más largos que las noches.

Posición 2: el 21 de junio, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el trópico de Cáncer. Empieza el verano en el hemisferio Norte y el invierno en el Sur. Es el *solsticio* de verano, cuando en el hemisferio Norte se da el día más largo y la noche más corta del año, al contrario que en el hemisferio Sur. A partir de esa fecha, las noches crecerán y menguarán los días en nuestro hemisferio.

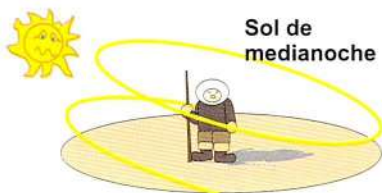
Posición 3: el 22 de septiembre, los rayos solares vuelven a incidir perpendicularmente al ecuador. Comienza el otoño en el hemisferio Norte y la primavera en el Sur. Es el equinoccio de otoño: la duración del día y de la noche son iguales, esto es, doce horas.

Posición 4: el 21 de diciembre, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el trópico de Capricornio. Comienza el invierno en el hemisferio Norte y el verano en el Sur. Es el solsticio de invierno: en él se producen en nuestro hemisferio el día más corto y la noche más larga del año. A partir de esa fecha, vuelven a crecer los días, cerrándose el ciclo.

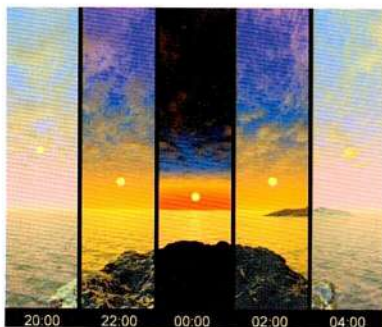
¿Qué influencia tiene este viaje anual en el clima de las Islas?

Como has visto, las variaciones estacionales están producidas por los diferentes recorridos aparentes del Sol en el cielo a lo largo del día. Durante el verano en Canarias el Sol sale y se pone más al Norte, alcanza a mediodía gran altura y hace un recorrido más largo en el cielo; por eso los días son más largos y cálidos. En invierno, el astro rey sale y se pone más al Sur; no asciende mucho en el cielo y su recorrido es corto; por eso, los días son más breves y frescos.

Sin la influencia de la atmósfera y los océanos, podríamos afirmar que el día más cálido en el hemisferio Norte sería el 21 de junio, y el más fresco el 21 de diciembre. ¿Cuáles son para ti las fechas más calurosas en Canarias? ¿Y las más frescas?



Dentro de los círculos polares, el Sol está durante parte del verano por encima del horizonte, aunque sea medianoche (sol de medianoche), y durante parte del invierno no sale en todo el día.



Sol de medianoche en el Nord Cape, Noruega, el punto más al Norte de Europa.



Sin moverse de Alejandría, Eratóstenes fue capaz de calcular el diámetro de la Tierra simplemente midiendo una sombra y empleando el razonamiento.

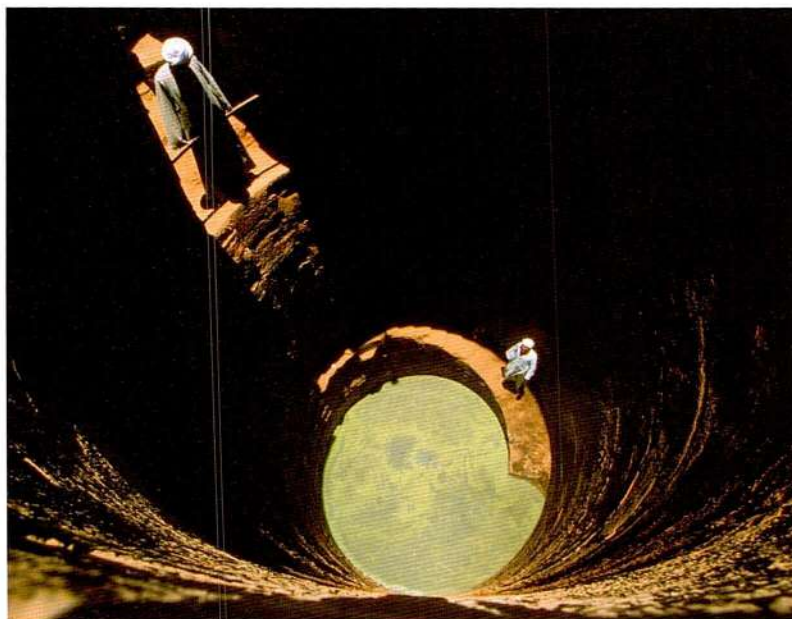
En los equinoccios, el Sol sale justo por el Este y se pone exactamente por el Oeste. En primavera y otoño, por tanto, todo es mediano: el Sol alcanza a mediodía una altura mediana, hace un recorrido mediano y los días no son ni tan cortos ni frescos como en invierno, ni tan largos y cálidos como en verano.

Zonas climáticas extremas

Existen zonas de la Tierra donde la posición del Sol adquiere valores extremos: cerca del ecuador, el Sol está muy alto en el cielo a mediodía durante todo el año. El clima es extremadamente caluroso. Por encima de la latitud $66,5^\circ$ Norte o Sur (los denominados círculos polares) el Sol llega a estar en algún momento del año por encima del horizonte durante varios días seguidos, hasta llegar al caso extremo de los polos, donde a una noche de seis meses le sigue un día de otros seis. Durante el largo y singular día polar, el Sol se mantiene pocos grados por encima del horizonte, recorriéndolo de forma completa en 24 horas, sin sobrepasar nunca los $23,5^\circ$ de altura. Durante los seis meses que dura la larga noche polar, lógicamente el Sol no sale. Todos conocemos las consecuencias climáticas extremas que esta característica astronómica produce en los polos.



Una vez zanjada la discusión sobre la forma de la Tierra y admitida su naturaleza esférica, el siguiente problema fue determinar su tamaño. La primera persona de quien se tiene constancia que consiguiera medirla con precisión fue Eratóstenes de Cyrene, dos siglos antes de Cristo. Eratóstenes, que era director de la Biblioteca de Alejandría, tenía noticias de que en el mediodía de una determinada fecha (el día del solsticio de verano), en la ciudad de Siene, que es la actual Asuán, los rayos solares caían perpendicularmente sobre el suelo, de forma que no producían sombra sobre una estaca clavada verticalmente. Eratóstenes nunca había observado un fenómeno similar en Alejandría, ciudad en la que vivía y que está a 5.000 estadios (unidad de longitud usada en la Grecia clásica) al Norte de Siene. Esa distancia viene a ser unos 800 kilómetros. Esperó que llegara esa fecha, y comprobó que en Alejandría la sombra producida era de 7 grados. Este ángulo, pensó, tenía que ser el mismo que el formado por los radios de la Tierra que conducen a ambas ciudades. Mediante una sencilla proporción determinó el valor casi exacto del perímetro terrestre, dándole un resultado próximo a 250.000 estadios, unos cuarenta mil kilómetros. Con lo que el radio de la Tierra resultaba ser algo mayor de seis mil kilómetros, casi el mismo que el aceptado hoy en día.



Pozos llamados nilómetros permiten medir en Egipto el nivel del Nilo durante las crecidas. En el nilómetro de Siene, los rayos del Sol entran verticalmente una vez al año, iluminando por completo las aguas del fondo.



De las siguientes observaciones que se proponen, debes hacer una o dos al trimestre durante el curso.

Determinación experimental de las estaciones

Con algunas observaciones periódicas, realizadas a lo largo del año, podrás comprobar que las horas a las que sale y se pone el Sol por tu horizonte, así como la posición del astro rey en el mismo, cambian durante el año.

1) Dibuja varias de esas posiciones en tu horizonte y anota la fecha y hora correspondientes a cada una.

2) Señala las fechas en que sale más al Norte y más al Sur. Haz lo mismo con la puesta de sol.

A partir del segundo trimestre, cuando ya hayas realizado varias observaciones, tendrás datos suficientes para responder a las siguientes preguntas:

¿En qué fecha salió el Sol más tarde? ¿A qué hora salió?

¿En qué fecha se puso más temprano? ¿A qué hora se puso?

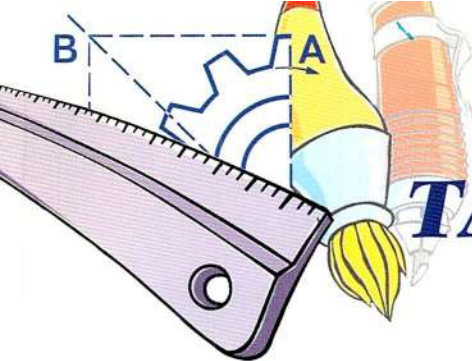
¿En qué fecha salió más próximo al Sur?

Con la ayuda de un gnomon o un cuadrante, comprueba cómo la altura del Sol a una determinada hora, por ejemplo al mediodía, varía durante el año. Determina la fecha en la que la sombra es más corta a mediodía y aquella en que es más larga.

Trata de relacionar lo observado con las estaciones.

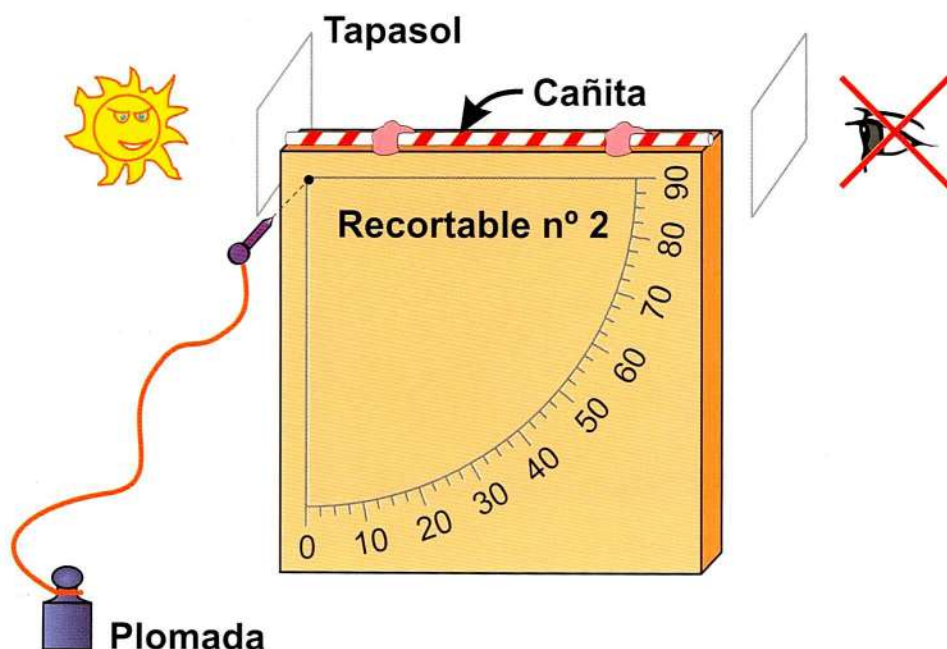


Existen unas fechas en las que el Sol sale exactamente por el punto cardinal Este, se pone justo por el Oeste y, además, la duración de la noche y el día es la misma. ¿Cuáles son esas fechas?



TALLER

El cuadrante



El cuadrante es un instrumento que sirve para medir la altura de un astro sobre el horizonte. Consiste en un cuarto de círculo (de ahí su nombre) graduado de 0 a 90 grados, y desde cuyo vértice pende una plomada.

Material: El semicírculo graduado que encontrarás al final del libro (recortable nº 1), un cuadrado de madera, un bolígrafo, un hilo, un clavo, un trozo de cartulina.

Construcción: Primero haz una fotocopia del círculo graduado para conservar el original. Deberás recortarla y pegarla en una madera (un trozo de chapa que tenga el mismo tamaño aproximadamente). Como se indica en el dibujo, tienes que pegar un pequeño tubo (por ejemplo, un bolígrafo o una cañita) en la parte superior de la madera. En uno de los extremos de la cañita pondrás una cartulina pequeña con un agujero en el centro que deje pasar la luz. En el punto indicado del semicírculo amarras la cuerda, en

cuyo otro extremo atarás un objeto un poco pesado (por ejemplo, una goma), que dejarás suspendido.

Utilización: El cuadrante servirá para calcular la altura de los astros sobre el horizonte. Por lo tanto, tendrás mucho cuidado cuando vayas a usarlo con el Sol, pues no debes observarlo directamente. Vas a dirigir el cuadrante hacia el Sol sin mirar por él, usando para ello la sombra que produce la cartulina. Cuando dirijas el bolígrafo hacia el Sol, los rayos de luz penetrarán por él y verás proyectarse su luz, entonces tendrás perfectamente alineado el cuadrante hacia el Sol. Solamente falta leer los grados que indique el hilo de la plomada, y esa lectura será la altura del Sol sobre el horizonte.

Por la noche, el cuadrante sirve para medir la altura de las estrellas. Para ello se sigue el mismo procedimiento, pero mirando la estrella directamente a través de la cañita.



Reloj de sol ecuatorial

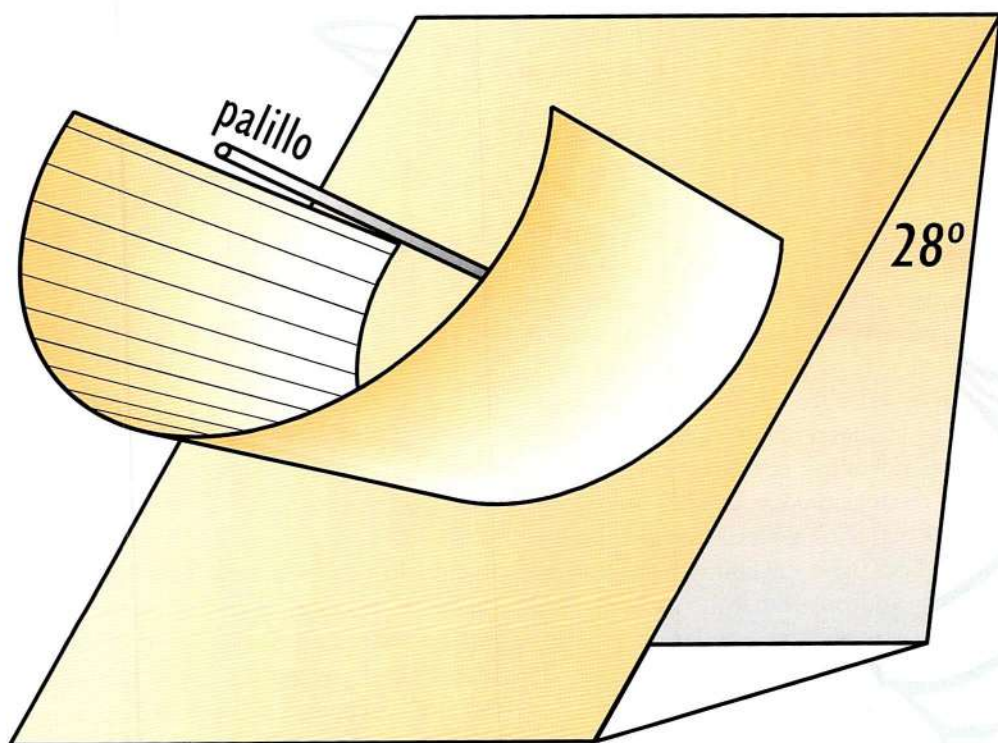
El reloj de sol ecuatorial es el más sencillo de los relojes solares. Si orientas su eje hacia la Estrella Polar, éste será paralelo al eje de la Tierra, con lo cual el plano principal del reloj quedará paralelo al ecuador, de ahí su nombre: reloj de sol ecuatorial.

Material: El recortable nº 2, una cartulina, un palillo y pegamento.

Construcción: Vamos a usar el recortable nº 2, que deberás fotocopiar previamente sobre una cartulina. Como el gnomon tiene que estar paralelo al eje de la Tierra, tendremos que preparar la sección del recortable, llamada soporte, para inclinarlo de tal manera que apunte a la Polar; esta inclinación coincide (como comprobarás en

la Unidad 2) con la latitud del lugar de observación, que en Canarias corresponde a 28° . Después, deberás recortar la sección llamada reloj, donde se proyectará la sombra y marcará la hora, y pegarla al soporte mediante las pequeñas solapas inferiores. Tan sólo falta atravesar con el palillo el soporte y pegarlo de tal manera que quede perpendicular a su superficie inclinada.

Utilización: El manejo de este reloj es muy sencillo, solamente hace falta alinearlo hacia el Norte. La lectura de la sombra del palillo sobre las divisiones horarias nos dará la hora solar. Para determinar la local de Canarias, habrá que añadir una hora en horario de invierno y dos en verano.





PARA SABER MÁS

Los primeros astrónomos



Como ya sabes, el hombre primitivo se alimentaba de la recolección de frutos y bayas y de la caza de animales, de los que aprovechaba su carne para alimentarse y sus pieles para vestirse. Es lógico que, llegado un momento, empezara a preguntarse cuándo llegaría la época de recolección o cuándo se producirían los movimientos migratorios que movían las grandes manadas de animales. Así, poco a poco, buscando la respuesta a estas preguntas el hombre aprende a relacionar los acontecimientos del mundo que le rodea con los cambios que observa en el cielo. Probablemente aparecen entonces los primeros calendarios, relacionados con los periodos de la Luna o con el Sol y las estrellas. Algunos pueblos primitivos descubren que transcurren aproximadamente 30 días entre dos Lunas llenas y que la aparición de determinadas estrellas por el horizonte, justo después de la puesta de Sol, coincide con la época de las migraciones o con la recolección de determinados frutos.

Pero, además de preguntarse cuándo, había que responder a otras preguntas, por ejemplo, hacia dónde dirigirse en busca de refugio y alimentos, por lo que había que aprender a orientarse. Descubren así que el Sol sale y se pone siempre, más o menos, por el mismo sitio. Probablemente aprenden a utilizar las proyecciones de la sombra para no perderse y conocer además las horas que quedan de luz, pero con el tiempo perciben que la salida y la puesta del Sol varían con las distintas épocas del año y que las estrellas son un método de orientación más seguro.

Hace unos 9 000 años, en las llanuras comprendidas entre el río Tigris y el Éufrates, en una zona conocida como Mesopotamia, hoy Irak, floreció una cultura que desarrolló grandes conocimientos astronómicos, la de los sumerios.

Los sumerios eran agricultores y ganaderos, por lo que necesitaban conocer con mayor o menor

exactitud la llegada de las lluvias, la época de la siembra, etc. Se desarrolla entonces un calendario lunar constituido por 12 meses de 30 días cada uno. Pero, puesto que el ciclo de la Luna es de 29 días y un resto y el año solar es de 365 días, con el tiempo se iría produciendo un desfase entre las estaciones y el calendario; para evitarlo, el pueblo recurre a los sacerdotes, que son los encargados de ajustar estos errores. Para ello, se construyen unas altas torres llamadas zigurats (colinas cósmicas) desde donde los sabios sacerdotes anotan con precisión las salidas y las puestas de Sol, las fases de la Luna, los movimientos de determinados grupos de estrellas, etc.; con todas estas observaciones, llegan a medir la duración del año con un error inferior a dos horas.

Los asirios y babilonios, que sustituyeron a los sumerios, mantenían un calendario lunar alternando meses de 29 y de 30 días, añadiendo de cuando en cuando un mes de 30 días; además, cada 3 años incluían un mes más, también de 30 días. De esta manera, estas dos últimas civilizaciones, a la vez que corregían los desfases producidos, constituyeron un calendario llamado luni-solar.

La inclinación del eje de la Tierra y la duración del día influyen en la diversidad de ecosistemas terrestres



Como has visto, el eje de la Tierra no es perpendicular a la trayectoria de ésta alrededor del Sol. Forma un ángulo de $23,5^\circ$ con dicha perpendicular; lo cual es determinante para la existencia de estaciones. Parece ser que las diferentes inclinaciones de los ejes de rotación de los planetas puede explicarse como consecuencia de impactos producidos por cuerpos menores (asteroides, cometas, etc.).



Se puede afirmar que si el grado de inclinación del eje terrestre fuera otro se produciría un cambio drástico en las características de los ecosistemas, ya que las temperaturas en la superficie serían distintas. Esto provocaría que los seres vivos que los habitan presentaran adaptaciones diferentes. Incluso podría ocurrir que, en casos límites de inclinación, las temperaturas extremas originadas impidieran la evolución de la vida.

Los ecosistemas están integrados por dos tipos de factores: los factores abióticos, es decir, físicos y químicos, tales como la temperatura, la composición química del suelo, etc; y los factores bióticos o seres vivos. La aparición y posterior evolución de éstos están condicionadas por las peculiaridades del medio que ocupan. Un cambio de estas características supone que los organismos tienen que adaptarse a ellas para no desaparecer. Así, de forma general, las extinciones de animales y plantas que han ocurrido en nuestro planeta han estado provocadas por la incapacidad de adaptarse a los cambios medioambientales. Por tanto, una modificación en la temperatura superficial del Planeta, debida a una diferente inclinación del eje o a un periodo de rotación distinto del actual (una duración mayor o menor del día), tendría consecuencias muy graves sobre los seres vivos, que deberían readaptarse o desaparecer, quizá dejando sitio a nuevos organismos mejor preparados para sobrevivir en un mundo diferente.



Si la distancia de la Tierra (imagen central) al Sol fuera distinta, la vida tal como la conocemos sería imposible. En Venus (imagen inferior), algo más cerca del Sol, las temperaturas son tan altas que derretirían algunos metales. En Marte (imagen superior), algo más lejos, las bajas temperaturas impiden la existencia de agua líquida.



La rotación de la Tierra alrededor de su eje determina el aparente movimiento diario de todos los astros de Este a Oeste. Sólo hay dos puntos en la superficie de la Tierra que no participan de este movimiento. ¿Sabrías decir cuáles son?

Debido a la fuerza de rozamiento de las mareas en la superficie de la Tierra y del aire de nuestra atmósfera, la velocidad de rotación de la Tierra va disminuyendo; por lo tanto, dentro de unos millones de años, ¿habrá aumentado o disminuido la duración del día?

Si contemplaras la puesta de Sol desde una playa, notarías que, cuando éste se haya puesto tras el horizonte, sus rayos aún iluminan zonas de la isla a mayor altura. Es decir, un observador situado en el pico del Teide podrá ver cómo el Sol se oculta tras su horizonte unos 8 minutos después de que se haya ocultado para otro observador situado en la playa. Podrías explicar a qué se debe este fenómeno.

La duración del día depende de la trayectoria que recorra el Sol sobre el horizonte. ¿Cuándo debemos suponer que es invierno, cuando la Tierra se encuentre más alejada del Sol o cuando la altura alcanzada por éste sea mínima?

Dinos qué instrumento de fácil elaboración emplearías si estuvieras en una isla desierta y quisieras saber en qué época del año nos encontramos. (Se supone que no tienes ni reloj, ni otro mecanismo moderno para averiguarlo). En Canarias, la duración del día oscila entre 14 y 10 horas, dependiendo de la época del año en la que nos encontremos. ¿Cuál sería la duración máxima y mínima del día en el polo Norte? ¿Y en el Sur? ¿Y en un país situado en el ecuador terrestre?

Algunas civilizaciones antiguas levantaban monumentos de piedra para averiguar la época

del año en la que se encontraban. Para ello utilizaban la posición del Sol en el horizonte. ¿Sabrías decir a qué posiciones del Sol se referían y qué fecha del año determinaban? Imagínate que por circunstancias desconocidas te encuentras en el interior de una habitación que sólo tiene una pequeña ventana en el techo. Durante el día observas que un rayo de luz solar penetra por dicha ventana verticalmente hasta el suelo. ¿En cuál de estos lugares te encuentras: EE.UU., España, Colombia o el polo Sur? Explica el motivo de tu elección. ¿A qué parte del mundo te irías para tomar el sol más de 20 horas seguidas?

¿Qué les ocurriría a las estaciones si la inclinación de la Tierra fuera de 0° ? ¿Y si fuera de 90° ?



En este apartado se pretende aprovechar el carácter interdisciplinar de la astronomía para fijar determinados conceptos matemáticos o bien para obtener aplicaciones prácticas de tus conocimientos matemáticos más elementales.

El perímetro terrestre: cálculo de la longitud de la circunferencia dado el radio

Sabiendo que el radio de la Tierra es de 6 378 kilómetros, ¿cuántos kilómetros tienes que recorrer para dar la vuelta al mundo?

Rotación terrestre: velocidad media

Con el resultado del apartado anterior, calcula a qué velocidad se mueve un objeto situado en el ecuador, debido a la rotación de la Tierra. Expresa el resultado en kilómetros/segundo. ¿Y otro situado en cualquiera de los polos?

Ayuda: Recuerda cuál es la duración del día.



Traslación terrestre: longitud de la circunferencia

Sabiendo que el radio de la órbita terrestre es de 150 millones de kilómetros aproximadamente, calcula cuántos kilómetros recorreremos anualmente debido al movimiento de traslación.

Ayuda: Recuerda que la órbita terrestre se puede considerar en la práctica una circunferencia.

Duración del año: velocidad media

Con el resultado del apartado anterior, calcula a qué velocidad se desplaza el Planeta en su órbita alrededor del Sol. Expresa la velocidad en kilómetros/segundo.

Ayuda: Considera la órbita como si fuera una circunferencia y recuerda que la duración del año es de 365,25 días.

Inclinación de los rayos solares: resta de ángulos; ángulos alternos – internos

El 21 de junio a mediodía inciden los rayos solares perpendicularmente al Trópico de Cáncer (90° de inclinación en el trópico), de forma que un gnomon no produce sombra.

¿Con cuántos grados de inclinación incidirán sobre Canarias en ese mismo momento?

Ayuda: Puedes considerar 28 grados la latitud de Canarias y $23,5^\circ$ la del Trópico de Cáncer.



La excelente página interactiva Earthview <http://www.fourmilab.ch/earthview>, de John Walker, permite observar la Tierra desde el espacio y muestra la parte iluminada y la parte oscura en función de la posición respecto del Sol en el momento actual o en otra fecha. Con ella puedes situarte por encima de Canarias y variar la hora para comprobar cómo se des-

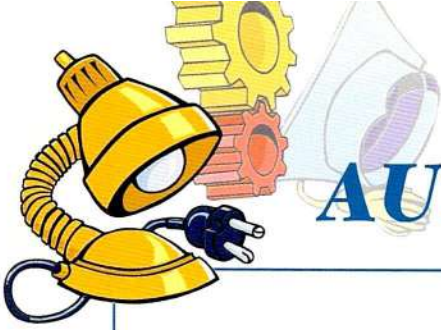
plaza la sombra, o irte hasta otra localización para saber si es de día o de noche en esos momentos. Asimismo, puedes observar la Tierra tal como se ve desde la Luna en ese instante, o desde el Sol. Todo ello puede hacerse también sin conectarse a la red, mediante el programa completamente gratuito Homeplanet que encontrarás en <http://www.fourmilab.ch/homeplanet/>. En <http://www.arval.org.ve/RGOsp.htm>, los miembros del Observatorio Arval están llevando a cabo la tarea de traducir al castellano los *Cuadernos de Astronomía* que publica el Real Observatorio de Greenwich. Allí encontrarás varios dedicados al día y la noche, a las estaciones, a los crepúsculos, etc.

Si quieres saber más sobre la historia de la astronomía, Rafael Francisco Ontivero hace un magnífico recorrido en <http://www.astrored.org/doc/historia/Intro.html> que empieza por la astronomía primitiva. No debes olvidar esta referencia al estudiar las otras unidades.

¿Y qué te parece visitar Noruega para ver el Sol de medianoche? Estas cámaras proporcionan sobre la red imágenes en directo. Desde finales de mayo hasta comienzos de julio es posible ver el Sol de medianoche, ¡a medianoche, claro! Como no vas a estar despierto a esas horas, busca en los archivos de imágenes atrasadas que suelen proporcionar los sitios. Se facilitan las direcciones de cámaras situadas en distintas ciudades porque con lo nublado que suele estar hay que cruzar los dedos para poder ver el Sol.

IMÁGENES SOL DE MEDIANOCH

Hammerfest	$70,5^\circ$ N
http://meridian.gens.no/cam/	
Tromsø	$69,5^\circ$ N
http://www.cs.uit.no/cgi-bin/weather/	
Oslo	60° N
http://www.bebygg.no/beweb/bewebcam/bewebcam.ssi	
Ålesund	$62,5^\circ$ N
http://www.mimer.no/kamera/kamera.htm	



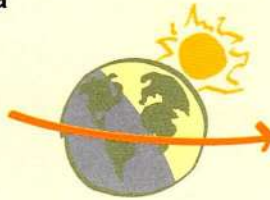
AUTOEVALUACIÓN

Consecuencias sobre la vida



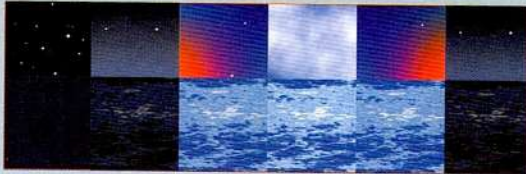
Movimientos de la Tierra







Noche



Día

Órbita

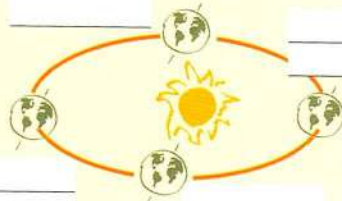
Rellena los huecos con estas palabras:

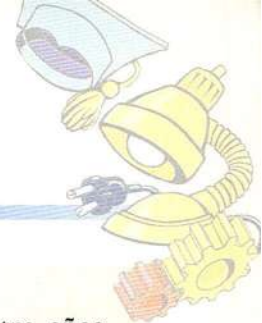
23,5°
 Afelio
 Año
 Crepúsculo matutino
 Crepúsculo vespertino
 Ecosistemas
 Equinoccio de otoño
 Equinoccio de primavera
 Ocaso
 Orto
 Perihelio
 Rotación
 Solsticio de invierno
 Solsticio de verano
 Traslación

Inclinación eje



Estaciones





Razona en qué fechas caen los rayos solares de forma perpendicular al ecuador.

¿Cómo se llaman las líneas que dan la vuelta a la Tierra pasando por los polos?

Escribe cómo calcularías la hora del mediodía ayudántote de una varilla.

Di qué tendrías que hacer a lo largo del curso, usando un gnomon, para saber cuándo empieza el verano.

¿Cuántas vueltas da la Tierra sobre su eje durante el tiempo que tarda en pasar dos veces consecutivas por el mismo punto de su órbita?

¿Cómo se llama el tiempo a que se refiere la cuestión anterior?

Explica a qué se debe que cada cuatro años tengamos que añadir un día extra.

¿Qué crees que ocurriría si el eje de la Tierra fuese perpendicular a la trayectoria?

¿Tiene que estar la Tierra en el punto de su trayectoria más lejano al Sol para que sea invierno?

Comenta qué puede haber de lógico en las palabras del compañero de clase que afirmó en la fiesta de fin de año: "Muy bien, yo celebraré este fin de año a las doce de la noche, pero el próximo me tomaré las uvas a las seis de la mañana del uno de enero, y el que le sigue a las doce del día, y el otro a las seis de la tarde, y el posterior a ése a las doce de la noche del uno de enero". ¿Nuestro amigo estaba alucinando?

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:

Afelio, año, calendario, crepúsculo, cuadrante, día solar, dispersión, ecuador, equinoccio, gnomon, hemisferio, horizonte, latitud, mediodía, meridiano celeste, ocaso, orto, paralelo, perihelio, sol de medianoche, solsticio, terminador, trópico.

BIBLIOGRAFÍA

ASIMOV, I., *El Universo*, Madrid, Alianza, 1973.

MARTÍN, F., *Astronomía para niños*, Móstoles (Madrid), Grefol, 1985.

RONAN, C. A., *Los amantes de la Astronomía*, Madrid, Blume, 1982.



12



ASTRONOMÍA NOCTURNA: LAS CONSTELACIONES

Al desaparecer el Sol tras el horizonte, la ausencia de luz en nuestra atmósfera nos permite divisar el centelleo procedente de las profundidades del cosmos. Comienza el espectáculo...



Los cambios de posición de los astros, que podemos apreciar a lo largo de una noche, así como las diferentes constelaciones que se ven en distintas épocas del año, son en realidad consecuencia de los movimientos de la Tierra ya estudiados. La observación de las constelaciones visibles en el cielo una noche cualquiera va a ser la vía que nos conduzca al conocimiento del Universo.

¿A qué se debe el movimiento circular de las estrellas durante la noche? ¿Son las estrellas las que se mueven o es la Tierra?

¿Dónde están las estrellas durante el día?

¿Se verán las mismas estrellas en una noche de verano que en una de invierno?

¿Se ven las mismas estrellas desde Canarias que desde Australia?

¿Sabes sobre qué constelación estaba situado el Sol el día que naciste?

Si lloras porque has perdido la luz del Sol, las lágrimas no te dejarán ver las estrellas.

Rabindranath Tagore (1861-1941).
Premio Nobel de Literatura

La bóveda celeste: Las constelaciones



Los griegos pensaban que la Tierra estaba rodeada por una esfera transparente y perfecta en la que se apoyaban las estrellas. En realidad, las estrellas se encuentran a diferentes distancias unas de otras, separadas por un enorme vacío.

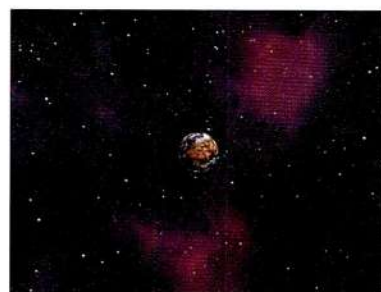
Aunque la distribución de las estrellas en una constelación nos parezca siempre la misma, el hecho es que se mueven unas respecto de otras. Lo que ocurre es que están tan enormemente alejadas de nosotros que ese movimiento nos pasa desapercibido a lo largo del tiempo.



Las estrellas, galaxias y los cuerpos celestes en general están distribuidos a lo largo de la profundidad del Universo, repartidos a diferentes distancias, sin guardar una geometría determinada. Pero desde nuestro punto de vista, el Universo se nos presenta por la noche como si fuera una enorme bóveda negra sobre la que se sitúan los componentes del mismo. Es como si estuviéramos dentro de una esfera de la que en todo momento vemos la mitad; la otra mitad nos la oculta la Tierra. Vamos a hacer uso en muchos momentos de esta esfera imaginaria a la que llamamos *bóveda celeste*.



Modelo de la esfera celeste.



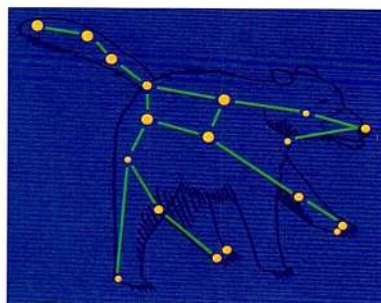
Las constelaciones

Al contemplar el firmamento en una noche despejada verás cómo algunos grupos de estrellas te recuerdan determinadas siluetas: un escorpión, un toro, una uve doble, un león, etc. Todo depende de la imaginación que emplees. A estos grupos de estrellas los llamamos constelaciones. Una constelación es, por tanto, un conjunto de estrellas que, vistas desde la Tierra, nos sugieren una determinada composición o dibujo. La Unión Astronómica Internacional (UAI) amplió este concepto en 1928, asignando a cada constelación una determinada zona del cielo en la cual está inmersa. El número de constelaciones así definidas es 88 (ver el planisferio de la **Guía de las Constelaciones**). Se denomina asterismo a cualquier grupo de estrellas que aparenta formar una determinada distribución o dibujo.

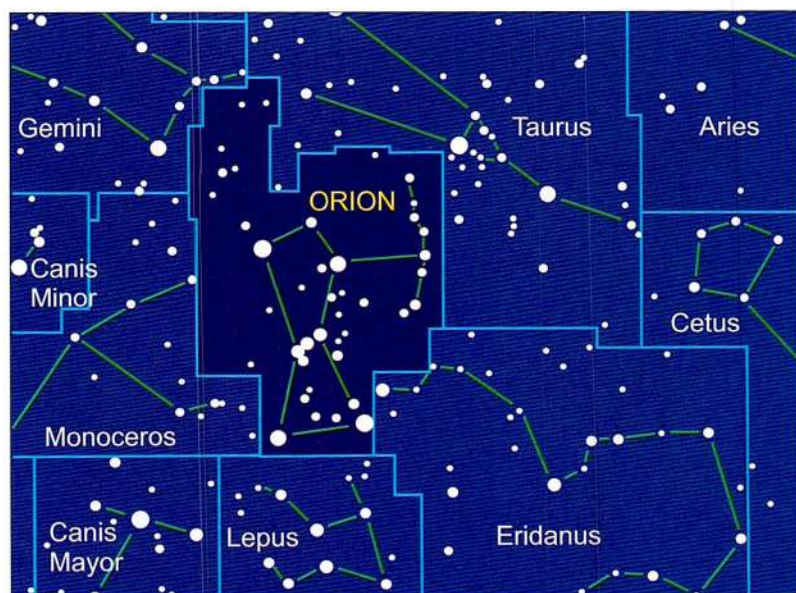


El Carro es uno de los asterismos más conocidos del cielo.

En realidad es parte de la Osa Mayor, una constelación más extensa.



El asterismo del Carro forma parte de la constelación Osa Mayor.



Constelaciones de la zona de Orión con sus límites.

Las líneas imaginarias que forman el dibujo de una constelación te ayudarán a localizarla en el cielo. Sin embargo, las constelaciones definidas por la UAI son regiones del cielo separadas por trazos rectos, como ves en la figura. Cada estrella del cielo pertenece sólo a una de estas zonas así definidas.

A las constelaciones se les designa, de manera oficial, con su nombre en latín, y a sus estrellas más significativas, con letras griegas seguidas del genitivo de la constelación. Por ejemplo, el Cisne es Cygnus y sus estrellas α Cygni, β Cygni, etc. Algunas estrellas tienen nombre propio, la mayoría de origen árabe, como Rigel (β Orionis), Betelgeuse (α Orionis), Aldebarán (α Tauri), etc.

Las constelaciones no tienen existencia real, ya que la distancia entre dos astros aparentemente próximos entre sí puede ser mayor que la que separa a uno de ellos de la Tierra. La *proximidad engañosa* con la que ves dos estrellas puede deberse a que estén situadas en una dirección parecida, vistas desde aquí, aunque a distinta profundidad en el espacio. Si, además, la más lejana posee mayor brillo, verás a ambas con intensidad similar, dando la apariencia de proximidad entre ellas.

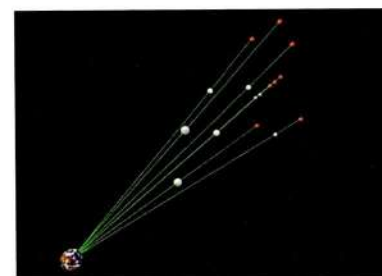
A pesar de lo indicado en el párrafo anterior, las constelaciones nos resultan útiles, ya que nos ayudan a situarnos dentro de la bóveda celeste. Las emplearemos, por ejemplo, para fijar posiciones en el cielo, como podrás comprobar en estos casos: el cometa estará situado unos días en la Osa Mayor; el planeta Urano se verá durante este año en Acuario.

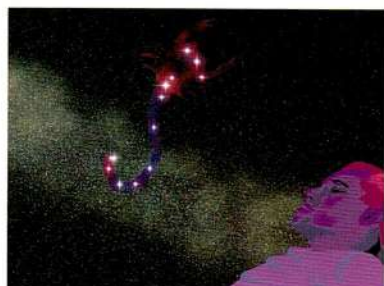
En cierto sentido, las constelaciones son en el cielo como los países en la Tierra: hablamos de India y tenemos una imagen de la zona del Globo que ocupa; al hablar de Orión ocurrirá lo mismo con relación a la bóveda celeste.

¿Puedes reconocer en estas imágenes la figura de alguna constelación conocida?



De las dos imágenes que ilustran la pregunta arriba formulada, la de la izquierda representa las estrellas de Orión vistas en perspectiva. La línea que une las estrellas con la Tierra y el tamaño de las esferas que las representan te ayudarán a distinguir las distancias. La proyección sobre el fondo es la constelación vista desde la perspectiva terrestre.





Los griegos plasmaron en el cielo todos sus mitos y leyendas. ¡Claro, no tenían televisión!



Origen de las constelaciones

Tan pronto como el hombre dirigió su mirada a las estrellas empezó a asociar grupos de ellas con objetos, animales, etc. (unas parecían un arado, aquellas otras un león, etc.); de esta manera nacieron las *constelaciones*. El tipo de formas que los hombres veían dependía de los mitos y leyendas que formaban parte de su folclore y de los animales que conocían. Nuestras constelaciones se idearon en el área mediterránea; así, tenemos un león, un pez, perros de caza, una liebre, etc., pero no hay tigres ni elefantes. Hay también héroes y heroínas de leyenda como Hércules, Perseo o la princesa Andrómeda, etc. En la actualidad, hay catalogadas 88 constelaciones. La mayoría de ellas se definieron hace unos 2 500 años, en la época de la civilización griega (como Orión o Géminis). Algunas, sobre todo las que sólo son visibles desde el hemisferio Sur, son más recientes y tienen nombres más modernos como *Microscopio* o *Sextante*. Esas mismas estrellas que veían los griegos siguen hoy ahí, formando las mismas figuras. Por eso, durante siglos la humanidad pensaba que las estrellas estaban fijas en el cielo y eran eternas. Hoy sabemos que no es así: las estrellas nacen, evolucionan y terminan por morir o apagarse. También se mueven, pero debido a que las distancias que nos separan de ellas son inmensas, esos movimientos sólo serían detectables si pudiéramos comparar sus posiciones relativas a lo largo de los siglos; de ahí que nos parezcan fijas en la inmensidad del Universo.

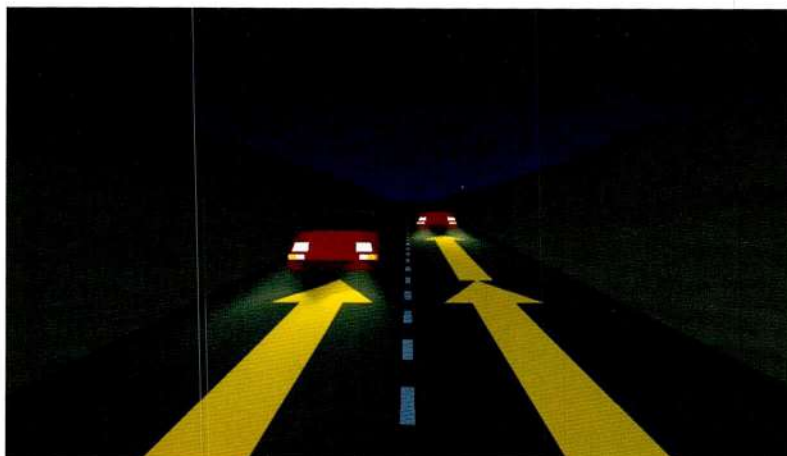
El brillo de las estrellas

Al mirar las estrellas, apreciamos enseguida que unas son más brillantes que otras. Las estrellas también muestran diferentes colores (rojas, amarillas, blancas, azules) aunque para distinguirlos hace falta un ojo más atento. Estas propiedades son debidas a la misma naturaleza de las estrellas, como veremos durante el curso, aunque el brillo varía notablemente con la distancia.

El brillo aparente de un astro (visto desde la Tierra) lo medimos mediante una escala de magnitudes tal que cuanto más brillante sea más pequeña será la cifra que lo represente en la escala. Por ejemplo, una estrella de magnitud 0 es dos veces y media más brillante que otra de magnitud 1, la cual, a su vez, es 2,5 veces más brillante que una de magnitud 2, etc. En la práctica, es difícil observar a simple vista estrellas con magnitud superior a +6. Algunas se ven tan brillantes que tienen magnitud negativa, (un caso extremo es nuestra estrella el Sol, que tiene magnitud -26).



¿Cuántas veces más brillante vemos una estrella de magnitud 2 que otra de magnitud 5?



Variación del brillo con la distancia

El brillo disminuye con el cuadrado de la distancia, por lo que una estrella que arroje la misma cantidad de luz que otra (brillo intrínseco), se verá cuatro veces más débil si está al doble de distancia. Por este motivo no debemos pensar que las estrellas más brillantes son siempre las más cercanas.



La magnitud de las estrellas: una propuesta de Hiparco



El primer catálogo de estrellas que se conoce fue realizado por el astrónomo griego Hiparco alrededor del 150 a.C. Como la diferencia más llamativa al contemplar las estrellas es el brillo, Hiparco las clasificó en función de esta propiedad. Para empezar, buscó todas las estrellas más brillantes y midió su posición. Al ser las que más destacan, les asignó la 1ª magnitud. Después escogió las estrellas que más o menos parecían tener la mitad de brillo que las anteriores y les asignó la 2ª; a las que eran la mitad de brillantes que las anteriores les atribuyó la 3ª, y así hasta llegar a las más débiles que podía detectar; a las que asignó la 6ª magnitud.

El método de Hiparco, aunque bueno, no era del todo exacto, pues a simple vista y sin ningún instrumento de medida no podía determinar el brillo exacto de las estrellas. Pero en 1830, John Herschel inventó un método más preciso para medir los brillos estelares y encontró que la mayoría de las estrellas de 1ª magnitud de la serie de Hiparco eran 100 veces más brillantes que las de 6ª magnitud. Por lo tanto, la diferencia de brillo que en un principio se había considerado como el doble, era en realidad 2,512 veces. Esta es la escala que actualmente utilizan los astrónomos.

Herschel descubrió que algunas estrellas eran más brillantes que las que Hiparco había denominado de 1ª magnitud, por lo que ahora tenemos las de magnitud 0, e incluso de magnitud negativa. Por ejemplo, Sirio, la estrella con el brillo aparente mayor de todo el cielo, tiene una magnitud de -1,4.

$(2,512)^5 = 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512 = 100,0$.
Compruébalo con una calculadora.





Para realizar las actividades prácticas propuestas en este apartado, vamos a utilizar un laboratorio natural, cambiante y gratuito: la bóveda celeste.



Utiliza un programa de los indicados en la sección

Astroinformática y extrae una carta celeste correspondiente a la hora y al día en que vayas a observar.



El tiempo universal (T.U.) es la hora del meridiano de Greenwich.

Su cálculo es muy fácil en Canarias: debes restarle una hora a la local en horario de verano. En el de invierno coinciden ambas.



Cuaderno de campo: Todas las observaciones debes anotarlas en el cuaderno de campo. En ellas deben figurar: lugar, fecha, hora en tiempo universal a la que comienza y finaliza la observación, objetivo de la actividad, instrumentación empleada (simple vista, prismáticos o telescopios), dibujo o esquemas, e incidencias.

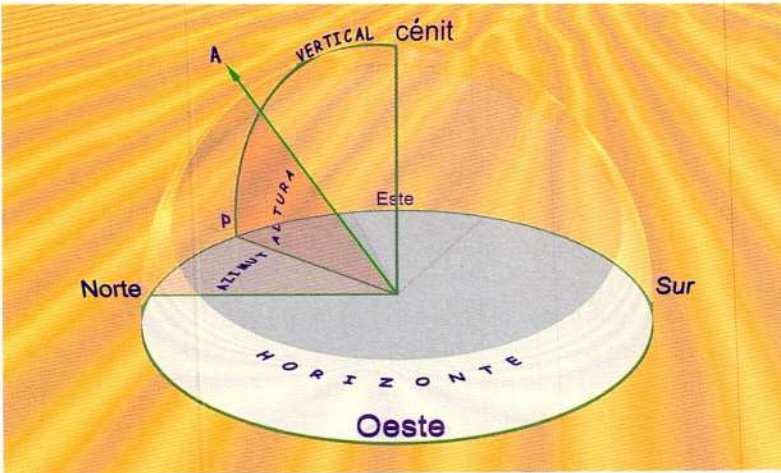


Localiza una agrupación de estrellas

Observa el cielo una noche sin nubes desde la azotea o terraza. Es conveniente que lo contemples en el mismo lugar en que dibujaste el horizonte de la unidad anterior. Elige un grupo de estrellas, próximas entre sí, que te llame la atención. ¡Dibújalo! y ponle el nombre de algo que te recuerde a su forma. Trata de reconocer el grupo de estrellas elegido en el planisferio de la **Guía de las Constelaciones**. Si no es ninguna de las constelaciones definidas en el planisferio, el grupo de estrellas que has elegido es un asterismo creado por tu propia imaginación.

Las cinco primeras de la noche

Observa el cielo durante el comienzo del crepúsculo nocturno y anota en tu cuaderno de campo la posición aproximada (con relación a los puntos cardinales marcados en tu horizonte) de las cinco primeras estrellas que aparezcan al ir oscureciendo. Indica la hora, en T.U. (Tiempo Universal), en la que aparece cada una de ellas. Esos serán los cinco astros más brillantes o de menor magnitud visibles en la semiesfera del cielo que observas. Ten en cuenta que hay otra semiesfera que no ves: *la que oculta la Tierra bajo tus pies*. Consultando la **Guía de las Constelaciones** trata de reconocer a qué constelaciones pertenecen esas estrellas y cuáles son sus magnitudes (aunque ten en cuenta que algunas pueden ser planetas en lugar de estrellas y, por lo tanto, no los encontrarás en las cartas).



Coordenadas horizontales o altazimutales

El sistema de coordenadas más sencillo que podemos utilizar para definir la posición de un astro en el cielo en un momento determinado es el sistema de coordenadas horizontales, el cual está centrado en la Tierra.

Las coordenadas astronómicas, definidas por este sistema de referencia, son la *altura* y el *azimut*. La altura es la distancia angular entre el astro A y el punto P, es decir, la intersección entre la vertical que pasa por el astro y el horizonte (ver figura). Puedes medirla con el cuadrante. El azimut, que se mide sobre el horizonte, es el ángulo comprendido entre el punto cardinal Norte (que se toma como origen) y el punto P siguiendo el sentido de las agujas del reloj. De esta forma un azimut de 90° corresponde al punto cardinal Este. Las coordenadas horizontales están ligadas al lugar de observación, por lo que el azimut y la altura de un astro varían a lo largo de la noche. Sin embargo, esto no ocurre con las coordenadas ecuatoriales, como verás más adelante en esta misma unidad.

En el apartado **Vamos a observar** de la página anterior habrás encontrado dificultad para indicar con precisión la posición de las estrellas. Se debe a que para lograr esa localización no es suficiente con los puntos cardinales. Es necesario definir un sistema de coordenadas.



La altura tiene valores comprendidos entre 0° y 90° . El azimut entre 0° y 360° .



Reconocimiento de constelaciones

Desde tu lugar de observación habitual, trata de reconocer las constelaciones más llamativas, visibles esa noche. Debes contemplar preferentemente aquellas que no estén muy próximas al horizonte.

Con la finalidad de que tus observaciones coincidan con las de tus compañeros, es aconsejable que las hagas a determinadas horas, por ejemplo, en las primeras horas de la noche.

La descripción de las constelaciones más representativas la encontrarás en la **Guía de las Constelaciones**.

¿Entre qué valores, expresados en grados, estaría comprendido el azimut de un astro que estuviera situado en ese momento entre el Oeste y el Norte?



Los movimientos aparentes de los astros



¿Cómo encontrar el polo?

Como puedes ver en la figura, lo más fácil es localizar el asterismo del Carro y utilizar las estrellas β y α (llamadas punteros de la Polar), prolongando la distancia entre ambas unas cinco veces. En el sentido indicado encuentras la Polar, que es la estrella más brillante de esa zona. En caso de no estar visible el Carro (cosa que ocurre a principios de curso) puedes localizar la Polar usando la constelación de Casiopea. Una vez localizada, la polar te indica la dirección del punto cardinal norte.

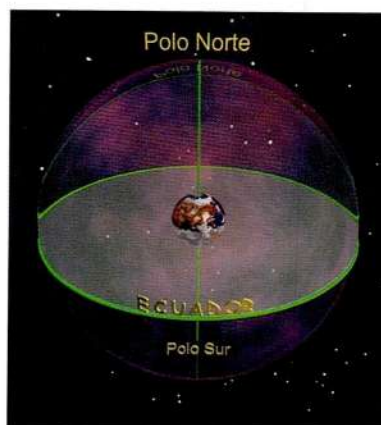


Localización de la Estrella Polar a partir del Carro (Osa Mayor) o de Casiopea

Consecuencias de la rotación de la Tierra

Al observar el cielo en una noche despejada, vemos que las estrellas y la Luna salen siempre por el horizonte Este y se ocultan por el horizonte Oeste, desplazándose una distancia apreciable en el transcurso de una hora, lo mismo que ocurre durante el día con el Sol. Ese no es un movimiento real sino un movimiento aparente como resultado de la rotación de la Tierra.

El eje de rotación de la Tierra corta la bóveda celeste en unos puntos imaginarios que denominamos polos celestes (Norte y Sur). Mirando hacia el polo del hemisferio donde te encuentres, las estrellas parecen moverse en círculos a su alrededor. (Para comprender este movimiento imagínate que pinchas el polo celeste con un paraguas en cuyo interior están dibujadas las estrellas y lo haces girar).



Los polos Norte y Sur y el ecuador celestes son la proyección de los de la Tierra.



Movimiento aparente de las estrellas en torno al polo.

El polo norte celeste coincide en la actualidad, de forma casi exacta, con una estrella relativamente brillante de la Osa Menor, a la que denominamos Estrella Polar. Debido a ello, el movimiento aparente de la esfera celeste no le afecta; siempre permanece en el mismo sitio, apuntando hacia el Norte. Por eso es una referencia importante a la hora de orientarnos.

A medida que nos alejamos de los polos, las estrellas describen arcos cada vez mayores hasta llegar al ecuador. El ecuador celeste es la proyección del ecuador terrestre sobre la bóveda celeste. Los puntos de corte entre el ecuador celeste y el horizonte coinciden con los puntos cardinales Este y Oeste.

Si nos fijamos en el movimiento de las estrellas en torno a la polar, descubrimos que hay un grupo de estrellas que nunca sale



Las estrellas en su movimiento aparente describen una circunferencia completa en 24 horas, consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra. ¿Cuántos grados verías desplazarse las estrellas cada hora?

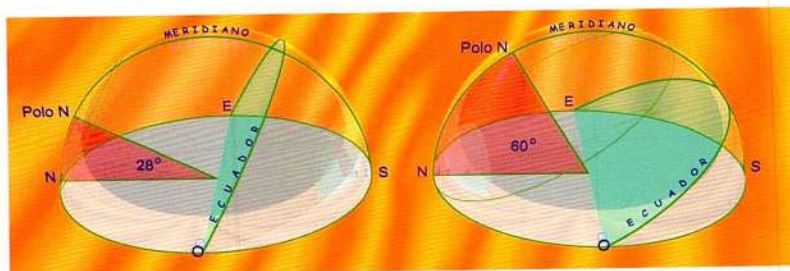
Puedes observar en la foto que en un tiempo determinado todas las estrellas han descrito un mismo ángulo, aunque dejan un trazo más largo cuanto más separadas están de la Polar.

ni se pone por el horizonte. Éstas se llaman estrellas *circumpolares*. Depende de nuestra posición sobre la Tierra que una estrella sea circumpolar o no. Cuanto más cerca estemos de los polos, más estrellas serán circumpolares.

La altura de la Estrella Polar sobre el horizonte coincide con la latitud del lugar de observación. Por ejemplo, en el polo Norte, que tiene una latitud de 90° , la Polar se ve a 90° sobre el horizonte. Si te desplazas allí, la verás sobre tu cabeza. Si caminas hacia el Sur, por ejemplo, a Finlandia, estarás a unos 70° de latitud, por lo que verás la Polar a una altura de 70° y no sobre tu cabeza. En el caso extremo, en el ecuador terrestre (latitud 0°), la Polar está justo sobre el horizonte (altura 0°). Teniendo en cuenta que la latitud de Canarias oscila entre los 29 grados y medio de Alegranza y los 27 grados y medio del sur del Hierro, esas serán las alturas máxima y mínima a las que se ve la Polar desde el Archipiélago.



La trayectoria de las estrellas situadas en el ecuador celeste son rectas, al alejarnos de él la curvatura aumenta y se invierte a ambos lados.



Altura de la Estrella Polar desde latitudes de 28° y 60° , respectivamente.



Desde el centro de Europa se ven más estrellas por debajo de la Polar que desde Canarias. Pero nuestra situación es más ventajosa, ya que esas estrellas del Norte las veremos en otra época del año por encima de la Polar, mientras que desde el centro de Europa no se verán muchas de las estrellas del sur, visibles desde Canarias.



Procura realizar las observaciones desde un lugar fijo en una terraza, balcón o azotea.



Debido al movimiento de traslación, la Tierra da, respecto de las estrellas, 366,25 vueltas a lo largo del año. Esta vuelta extra hace que cada día veamos salir la misma estrella unos cuatro minutos antes.



Vemos diferentes constelaciones en distintas estaciones. Si observamos las estrellas durante mucho tiempo podemos llegar a asociarlas con las estaciones.



Localización del polo norte celeste a través de la Polar

Localiza la Polar siguiendo el método descrito anteriormente. Con ello habrás localizado también el polo norte celeste. Trazando una perpendicular al horizonte tendrás el polo norte terrestre. El Sur está a tu espalda, el Este a tu derecha y el Oeste a tu izquierda. Comprueba que las posiciones de los puntos cardinales coinciden con las que marcaste en tu horizonte en la unidad didáctica anterior.

Determinación de la altura de la Polar sobre el horizonte y de la latitud geográfica del lugar utilizando el cuadrante

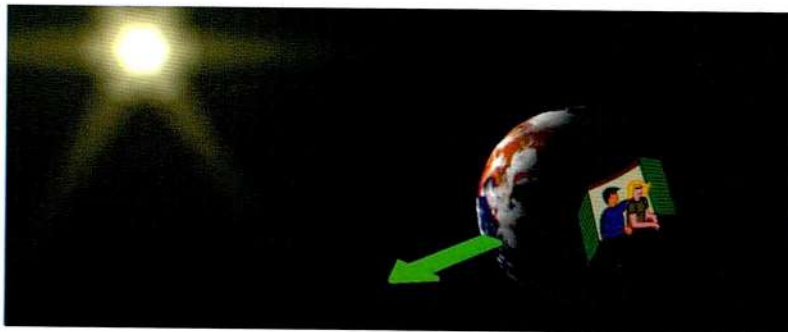
Una vez encontrada la Polar a primera hora de la noche, utiliza el cuadrante fabricado en la unidad anterior y mide su altura sobre el horizonte. Repite la medición poco antes de acostarte y comprueba que la Polar no ha cambiado su altura. ¿Por qué obtuviste la misma altura en las dos medidas? ¿Cuál es la altura de la Polar? ¿Y la latitud del lugar en que te hallas?

Comprobación del movimiento aparente de las estrellas a lo largo de la noche

Observa varias estrellas que estén cerca del horizonte Este y otras en el horizonte Oeste. Vuelve a hacer la observación un par de horas después y describe en tu cuaderno de campo los cambios que hallas observado en la posición de esas estrellas. Interpreta a qué son debidos esos cambios.

Consecuencias de la traslación de la Tierra

Si observamos el cielo a lo largo de unos meses, veremos cómo van apareciendo nuevas constelaciones; mientras tanto, otras que antes se podían ver han ido desapareciendo. Esto es debido al



Durante el viaje anual de la Tierra en torno al Sol dejamos de ver las estrellas que están por detrás de éste, y vemos las que están en la dirección opuesta al Sol.



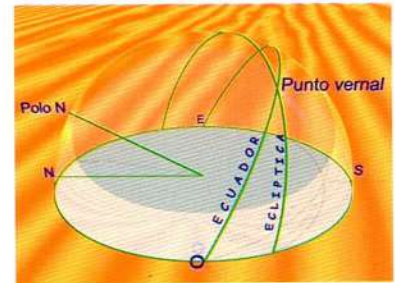
movimiento de traslación de la Tierra que hace que vayamos dando un paseo circular de un año de duración.

El cambio de orientación que vamos experimentando hace que estrellas que antes quedaban diametralmente opuestas al Sol y, por tanto eran visibles de noche, queden detrás del astro rey en otro periodo del año, desapareciendo del cielo nocturno; estarán en nuestro cielo diurno y lógicamente pasan inadvertidas debido al brillo del Sol.

El cambio es poco perceptible de una noche a la siguiente, pero si miras una estrella brillante hoy a una hora determinada, comprobarás que mañana pasará por esa misma posición unos 4 minutos antes. El día, que con respecto al Sol dura 24 horas, en relación con las estrellas dura 23 horas y 56 minutos y es denominado día *sidéreo*.

Visto desde la Tierra, el Sol cambia su posición respecto del fondo de las estrellas a lo largo del año debido al movimiento de traslación terrestre. Si dibujamos la posición del Sol en el cielo cada día del año, obtenemos una línea que llamamos *ecliptica*, línea que también puede definirse como la intersección del plano de la órbita terrestre con la bóveda celeste. Los puntos por donde, un día dado, la eclíptica corta el horizonte son aquellos por donde sale y se pone el Sol ese día.

También la Luna y los planetas se mueven muy cerca de la eclíptica. Esto ocurre porque los planetas del sistema solar, incluida la Tierra, están prácticamente contenidos en un plano. Visto desde la Tierra, todos los planetas parecen moverse en una estrecha franja del cielo en torno a la eclíptica, a la que llamamos *banda zodiacal*. Las constelaciones por las que pasa la eclíptica, y por tanto el Sol, se llaman *zodiacales*.



La eclíptica forma un ángulo de $23,3^\circ$ con el ecuador.



Las constelaciones por donde pasa la eclíptica, que serán también aquellas por las que se desplazan el Sol y los planetas, son denominadas *constelaciones zodiacales*.

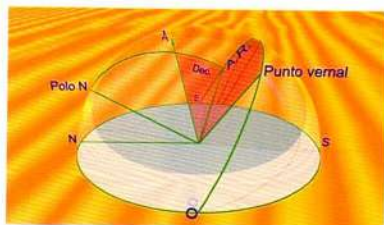
Cuando se sacó esta fotografía, los planetas Mercurio (1), Júpiter (2), Marte (3) y Venus (4), y la estrella Régulo (5), se veían próximos entre sí, indicando la línea de la eclíptica.





Durante el curso tendrás ocasión de realizar alguna observación nocturna desde un lugar apropiado, donde no molesten las luces de la ciudad. Procura disfrutar del espectáculo del cielo desde las cumbres de Canarias aprovechando una excursión escolar o familiar.

En la **Guía de las Constelaciones** encontrarás la descripción de un grupo representativo de constelaciones visibles desde la latitud de Canarias a lo largo del año.



El ecuador y la eclíptica se cortan en dos puntos. En uno de ellos, el denominado *punto Vernal* (que actualmente se localiza en la constelación de Piscis), es donde se sitúa el Sol el 21 de marzo, equinoccio de primavera. El otro punto de corte es denominado *punto Libra*, que es diametralmente opuesto al anterior (se halla en la constelación de Virgo).

Reconocimiento de constelaciones a lo largo del año



Las constelaciones visibles a una hora determinada van cambiando a lo largo del año como consecuencia del movimiento de la Tierra, de forma que, en el transcurso de varios meses, notarás cómo a una misma hora se ven constelaciones diferentes.

Las constelaciones que debes empezar a reconocer y a localizar son las que se indican a continuación con letra negrita, al ser más brillantes y fáciles de encontrar. Una vez las hayas localizado puedes intentar buscar el resto:

Primer trimestre del curso: **Pegaso, Andrómeda, Casiopea, Perseo, Aries, Auriga (Cochero), Tauro, Cefeo, Piscis.**

Segundo trimestre: **Orión, Géminis, Can Mayor, Osa Mayor, Leo, Cáncer, Liebre.**

Tercer trimestre: **Boyero, Virgo, Libra, Corona Boreal, Hércules, Cabellera de Berenice, Cuervo, Osa Menor, Centauro, Cruz del Sur.**

Cuarto trimestre: **Cisne, Lira, Águila, Escorpión, Sagitario, Capricornio, la Flecha, el Delfín, Escudo, Acuario, Piscis Austrinus (Pez austral), La Grulla.**

Coordenadas ecuatoriales

Los astrónomos han establecido un sistema de coordenadas celestes, semejante a las utilizadas en la Tierra, para especificar la posición de cualquier objeto en el firmamento. Estas coordenadas son *declinación* (Dec.) y *ascensión recta* (A.R.).

La declinación de un punto del cielo nos mide la distancia angular que lo separa del ecuador celeste. Se mide en grados ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos de arco ($''$). Es similar a la latitud en el sistema de coordenadas terrestres. Por ejemplo, cualquier punto situado 30° por encima del ecuador celeste, decimos que tiene una declinación de $+30^{\circ}$. El polo Sur celeste tendrá una declinación de -90° y cualquier objeto situado en el ecuador celeste tiene una declinación de 0° . La coordenada que utilizan los astrónomos, similar a la longitud geográfica, se denomina *ascensión recta*. Ésta se mide a lo largo del ecuador celeste en horas, minutos y segundos.



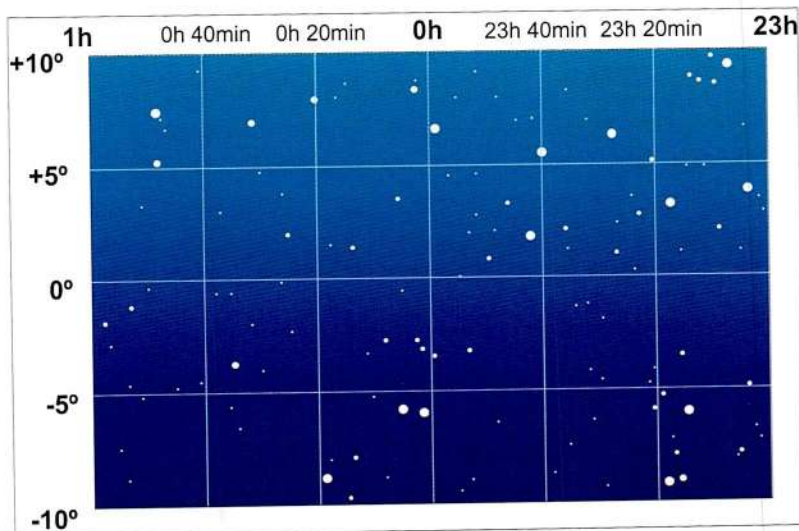
En las coordenadas terrestres, el punto de origen de longitudes es el de intersección entre el meridiano que pasa por el Observatorio de Greenwich y el ecuador. De forma similar, al objeto de fijar el origen de ascensión recta, se eligió un punto del ecuador celeste al que se asignó el valor *cero horas*. Para los astrónomos, el punto *cero horas* de ascensión recta es el equinoccio vernal, punto de corte entre la eclíptica y el ecuador celeste en que está situado el Sol en el comienzo de la primavera. El punto Vernal también es llamado punto Aries, y está situado en la actualidad en la constelación de Piscis. El otro punto de corte entre la eclíptica y el ecuador es el punto Libra. Tiene una ascensión recta de 12 horas y se encuentra en la constelación de Virgo. La ascensión recta de un punto se mide a partir del origen hacia el Este.



El ecuador celeste está dividido en 24 horas de ascensión recta.

Dado que el firmamento gira un círculo entero de 360° cada 24 horas, cada hora de ascensión recta equivale a 15° ; cada minuto de ascensión recta equivale a $15'$ (minutos de arco), etc.

1 h	15°
1 min	$15'$
1 s	$15''$



Coordenadas ecuatoriales.



Elige dos estrellas de la figura y calcula de forma aproximada la ascensión recta y la declinación.

Comprobación del movimiento de traslación de la Tierra



Sintoniza tu reloj con las señales horarias de una emisora de radio. Coloca una cañita de refresco o un bolígrafo sin mina en una posición fija, mira a través del orificio y trata de localizar una estrella brillante. Anota la hora exacta a la que desaparece la estrella del campo de visión de la cañita. Repite la operación mañana, o al cabo de unos días, procurando que la cañita no haya sufrido cambio de posición y anota la hora a la que deja de verse la misma estrella a través de la cañita. ¿Ha cambiado la hora?



Los movimientos de la Tierra y las constelaciones zodiacales



Zodiaco es el nombre dado a la franja de constelaciones que circunda la esfera celeste y en la cual se mueven aparentemente el Sol, la Luna y los planetas. Estamos familiarizados con los nombres de estas constelaciones zodiacales porque algunas personas, de forma equivocada, todavía creen que influyen en sus vidas.

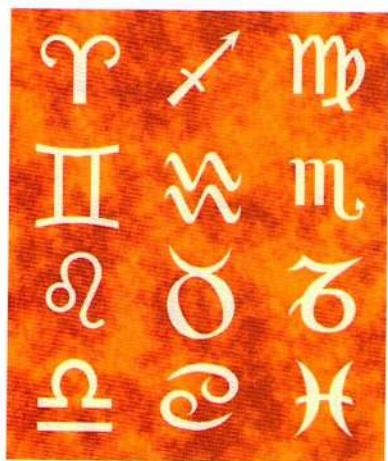
Para los habitantes del antiguo mundo, los cuerpos celestes gobernaban su destino. Con la creencia de que la Tierra y la humanidad eran el centro del Universo parecía lógico suponer que los cuerpos celestes y los dioses que los regían tenían influencia sobre el futuro del hombre.

El efecto que se creía que tenía un cuerpo celeste dependía de los caracteres que se le atribuían y de las constelaciones a través de las cuales parecía moverse. Así, el rojizo Marte algunas veces auguraba enfermedades (la peste o la guerra), aunque en Babilonia era Venus el planeta que anunciaba el advenimiento de destrucciones. La influencia de una constelación dependía de su apariencia: las constelaciones Leo (el León) y Sagitario (el centauro arquero) tenían influencia masculina; Virgo (la virgen), influencia femenina, y así todas.

Hoy sabemos que el Sol, en efecto, nos afecta realmente. Sin la luz y el calor que de él nos llega, la vida en la Tierra sería imposible. Tanto el Sol como la Luna ejercen poderosas fuerzas que provocan la elevación de las mareas. Sin embargo, conocemos la verdadera naturaleza de los planetas y sabemos que la Tierra no es el centro del Universo. También sabemos que las constelaciones no son realmente las agrupaciones que aparentan ser, ya que las estrellas que las componen no están en el mismo plano: unas están más cerca de nosotros y otras se sitúan en las profundidades del espacio, de modo que resulta claro que no están fijadas sobre una esfera como antes se creía.

Hay trece constelaciones del zodiaco que, siguiendo el cielo de Oeste a Este desde el punto Vernal, son: Aries, el carnero; Tauro, el toro; Géminis, los gemelos; Cáncer, el cangrejo; Leo, el león; Virgo, la virgen; Libra, la balanza; Escorpio, el escorpión; Ofiuco, el serpentario; Sagitario, el centauro; Capricornio, la cabra; Acuario, el aguador; y Piscis, los peces.

Los nombres indican claramente que las constelaciones en conjunto están formadas por animales o personas. Sólo la balanza no entra en esta categoría.



Históricamente se han asociado estos símbolos a los signos del zodiaco.



No es nada fácil darse cuenta del fenómeno de la precesión de los equinoccios. El primero en tratar de describirlo fue Hiparco, en el siglo II a.C.



Los signos astrológicos tradicionales son doce. Sin embargo las constelaciones zodiacales son trece. El Sol, en su movimiento por la eclíptica, pasa más tiempo dentro de la constelación de Ofiuco que en su vecina Escorpio.



La Tierra, en su movimiento de rotación, se comporta de forma análoga a como lo hace un trompo.

La precesión de la Tierra y sus consecuencias

La Tierra, en su movimiento de rotación, se comporta de forma análoga a como lo hace un trompo: el movimiento de giro va acompañado de un cabeceo que describe el eje del trompo, lo que se traduce en un movimiento circular como el de la figura. Este movimiento se denomina *precesión* y es debido al efecto conjunto de la fuerza de gravedad del Sol y de la Luna sobre la Tierra, ya que esta última no tiene su masa homogéneamente repartida. El eje de la Tierra tarda 26 000 años en completar un ciclo de precesión. Este movimiento hace que el punto Vernal, (que habíamos definido como uno de los puntos en que se cortan la eclíptica y el ecuador celeste) se desplace progresivamente sobre la eclíptica, completando un giro en 26 000 años. Hace unos 2 500 años, los griegos llamaron punto de Aries al punto Vernal, ya que se situaba en esta constelación. Actualmente se ha desplazado hasta Piscis, y está a punto de entrar en Acuario.

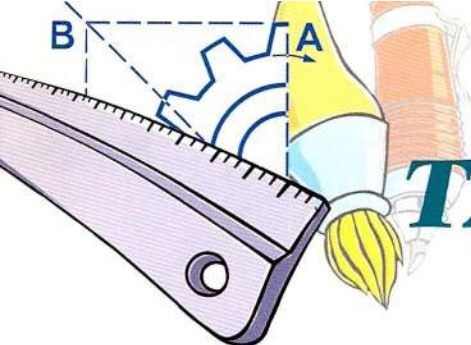
Otro efecto es que también hay un desplazamiento de los polos celestes. Hace algunos miles de años, la actual estrella Polar se encontraba bastante alejada del polo. Así, por ejemplo, 5 000 años atrás este papel era desempeñado por la estrella Thuban (alfa del Dragón); Kochab (beta de la Osa Menor) marcaba el polo en la época del nacimiento de Cristo y, dentro de unos 13 000 años, la Estrella Polar será Vega, una de las estrellas más brillantes del firmamento. Para entonces, la actual Polar, se encontrará muy lejos, a unos 45° de distancia angular.



Como consecuencia de la precesión de la Tierra, los signos zodiacales usados en la astrología no coinciden con la posición actual del Sol. En casi todos los casos el Sol está en una constelación anterior a la correspondiente al signo astrológico.



Usando un programa informático, comprueba en qué constelación estaba el Sol el día en que naciste. Compara los resultados con los de otros amigos y amigas.



TALLER

El nocturlabio

Una manera de calcular la hora, aprovechando la rotación de las estrellas en torno al polo celeste, es utilizar los punteros de la Osa Mayor (α y β) como si fueran la aguja de un enorme reloj celeste.

Material:

Recortable número tres y bolígrafo.

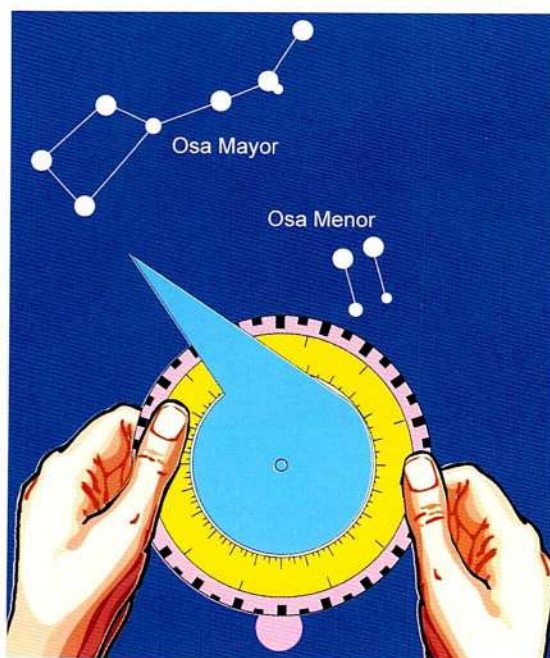
Construcción:

El nocturlabio consta de dos discos y un marcador, todos con un agujerito central, por donde lo haremos girar. Para unirlos puedes utilizar un trozo de tubo que hará de eje y buscador de la Polar. El disco mayor tiene un pequeño lóbulus con la letra N, que debe estar paralelo al horizonte y orientado al Norte. A su alrededor podrás encontrar una escala de 0 a 24 horas que es el tiempo sidéreo. El disco mediano tiene dos escalas, la de las fechas y la de las horas; es en esta última donde se leen las horas que nos indica el marcador. Por último, el marcador lleva dibujada las estrellas de la Osa Mayor. Debemos girar el mismo hasta alinear con él las dos estrellas del puntero.

Manejo:

- Haz coincidir la fecha de observación con la flecha negra del disco grande.
- Orienta el nocturlabio hacia el Norte, colocando la línea del horizonte paralela a éste y haz pasar a la estrella polar por el eje del instrumento.
- Gira el marcador hasta que se alinee con las estrellas β y α de la Osa Mayor.
- La hora local será la que nos indica la flecha magenta del marcador.
- La hora sidérea será la que muestra la flecha azul del marcador.

Este reloj da la hora en Tiempo Universal. Recuerda que en Canarias la hora del reloj coinci-



de con ésta en invierno; en verano tendrás que sumarle una hora para obtener la local.

Contador de estrellas

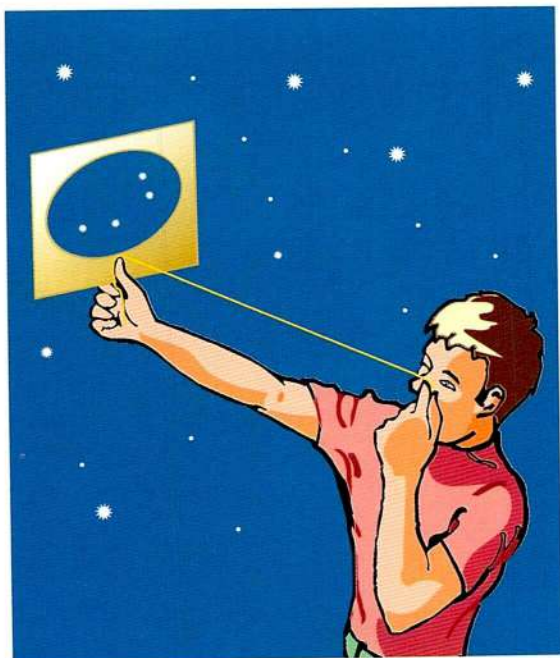
Si quieres hacerte una idea del número de estrellas visibles en una noche desde un lugar determinado, puedes hacer uso de un instrumento muy fácil de construir, al cual llamaremos contador de estrellas. Si sitúas el círculo resultante del recortable número 3 a 30 centímetros del ojo (con la ayuda de una cuerda de esa longitud), tendrás un dispositivo que cubre un ángulo sólido que abarca la centésima parte de la superficie de la bóveda celeste que se alza sobre ti.

Material:

Recortable número 3 y cuerda de algo más de 30 centímetros.

Construcción:

Fotocopia el recortable número tres sobre una cartulina (para conservar el original) y corta por las líneas de puntos. Haz un ajuste-



rito en la cartulina, junto al agujero circular, para que pase la cuerda y le haces un nudo. A continuación corta la cuerda de forma que ésta mida 30 centímetros.

Manejo:

Debes mirar a través del círculo, manteniéndolo situado a 30 centímetros del ojo con ayuda de la cuerda. Cuenta el número de estrellas que ves a través del mismo y multiplícalo por cien. Ese número nos da un valor estimativo del número de estrellas que pueden verse desde ese lugar.

El resultado es más preciso si en lugar de una medida realizas varias, o si observan diversas personas, repartiéndose diferentes zonas del cielo. En este caso, los participantes deben hallar el valor medio y multiplicarlo por cien para obtener un valor estimativo.

La Ballestilla

Las distancias relativas entre los astros, tal y como se ven desde la Tierra, se miden en grados

($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$) de arco. Una forma rudimentaria, pero práctica, de determinar esta separación aparente es construir una ballestilla. Hay referencias de este instrumento desde aproximadamente el siglo V antes de Cristo, siendo usado por astrónomos y navegantes.

Material:

Regla de madera flexible de 60 centímetros de longitud.

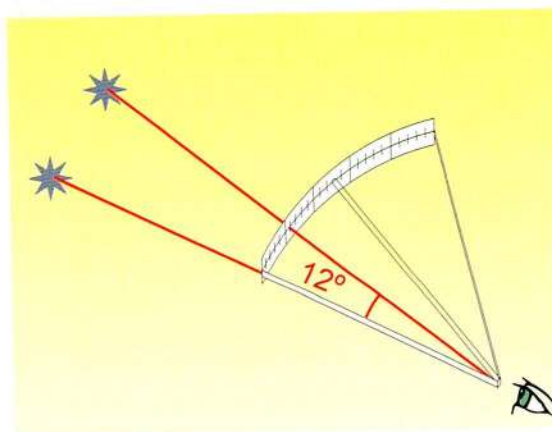
Cuerda de unos 125 centímetros.

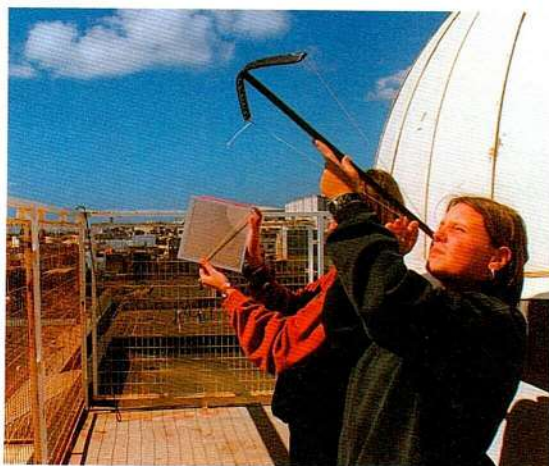
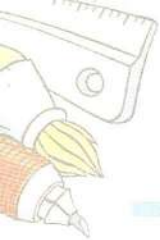
Palo no flexible de 57,3 centímetros.

Pintura negra y blanca.

Construcción:

Consigue una reglita de madera o material flexible de cuatro o cinco milímetros de grosor y unos tres centímetros de anchura. Córtala de forma que tenga sesenta centímetros de longitud. En los extremos de la regla tienes que hacer dos agujeritos por los que harás pasar una cuerda que, una vez anudada, debe medir 114,6 centímetros. Corta la cuerda sobrante. En el centro de la regla, haciendo una pequeña muesca, debes apoyar un palo de 57,3 centímetros de longitud. En el otro extremo del palo practica una hendidura de un milímetro por la que pasarás la cuerda. El palo quedará apoyado entre la regla y la cuerda, que se curvará y quedará tensa, respectivamente. El resultado es un montaje similar a una ballesta,





de ahí su nombre. Ahora deberás pintar la regla de negro y marcar las divisiones en blanco para que destaquen en la oscuridad de la noche. Marca una de cada cinco divisiones con un trazo más largo.

Para marcar los grados de arco en la regla, lo más cómodo es dividirla en centímetros, de tal manera que cada centímetro represente un grado.

Una circunferencia medirá 360 centímetros de longitud, si su radio es de 57,3 centímetros: $360 \text{ cm} = 2\pi R$; de donde $R = 360 \text{ cm} / 2\pi = 57,3 \text{ cm}$. En esa circunferencia, cada centímetro se corresponde con un grado.

Tal y como has construido tu ballestilla, el resultado ha sido un arco de circunferencia (regla) de 60 cm y un radio de 57,3 cm (que es la medida que le diste al palo central y a cada uno de los trozos de hilo que, pasando por el extremo del palo, anudaste en los extremos de la regla). Ahora puedes dividir la regla en sesenta centímetros, con la seguridad de que cada centímetro representa un grado. Utiliza pintura blanca para hacer las marcas.

Manejo: Para medir la distancia angular entre dos astros, eleva la ballestilla sobre tu cabeza, coloca el palo junto a la nariz y sitúa el origen de la regla sobre uno de los astros; cuenta el número de divisiones que hay hasta llegar al otro astro.



Este número te indica los grados de separación entre ambos.

Retratando las constelaciones

Las fotografías que se proponen en este taller reúnen varias cualidades: son de fácil obtención, de notable belleza plástica y de gran utilidad. Estas dos fotografías te permitirán familiarizarte con el cielo y contrastar el contenido de las fotos o diapositivas con la información de un planisferio o carta celeste.

Si dispones de una cámara *reflex* y te gusta la fotografía te será muy fácil retratar cuantas constelaciones estén a tu alcance.

Si haces la fotografía con más de 20 segundos de exposición, las estrellas dejarán de verse



como puntos y comenzarán a verse como trazos debido al movimiento de rotación de la Tierra.

Material: Para comenzar usa un montaje como el de la fotografía. Instala en la cámara una película de 100 ASA si estás en una zona iluminada, o de 400 ASA si estás en el campo. Coloca en la cámara un objetivo de 50 milímetros, que es el que suele traer de fábrica. Enróscale en el botón disparador un cable de retención (disparador) y móntala sobre un trípode.

Las cámaras reflex traen fotómetro incorporado, que para este tipo de fotografías no es necesario. Como suelen tener una luz roja de testigo, ésta puede interferir en nuestra fotografía, por lo que es conveniente quitar la pila del fotómetro para hacer fotografías de estrellas.

Obtención de fotografías de constelaciones: Sitúa la escala de tiempos de exposición en posición B, con lo que el objetivo estará abierto durante el tiempo que lo desees. Coloca el anillo



de enfoque en ∞ . Abre el diafragma al máximo (el menor número en el anillo de diafragmas) para permitir el mayor paso de luz posible. Elige la constelación que desees y procura que no entre por el objetivo otra luz que la procedente de las estrellas. Es mejor que no esté presente la Luna. Dispara con el cable de retención y aprieta el tornillo del cable para que se aguante disparado, manteniéndose de esta forma abierto el objetivo. Déjalo así entre 15 y 18 segundos. ¡Suerte! Los resultados que obtengas deberán ser similares a los de estas fotografías.



PARA SABER MÁS

Determina la altura y el azimut de un astro brillante



Desde tu lugar de observación, elige un astro brillante. Mide su altura sobre el horizonte con un cuadrante.

Para medir el azimut debes trazar una perpendicular desde la estrella al horizonte, cortándolo en el punto P. Mide con una ballestilla el ángulo que forma P con el Norte (proyección de la Polar sobre el horizonte). Si es muy grande, mide el ángulo de P al punto cardinal más próximo y completa luego hasta el Norte. Como referencia, recuerda que el azimut del Este será 90 grados; el del Sur, 180, y el del Oeste, 270 grados.

Mide la separación angular entre dos estrellas

a) Usando la ballestilla:

Elige dos estrellas brillantes y mide con la ballestilla su separación angular, como se indica en el apartado correspondiente a **Taller**.

b) Usando la mano:

Estira el brazo lo más posible y trata de determinar de forma aproximada, usando la ballestilla, cuántos grados tiene un palmo, tu puño,



tu pulgar estirado, etc. Será práctico conocer estas equivalencias para cuando no dispongas de instrumentos de medida.

Cuenta el número de estrellas que se puede ver en el cielo mediante el contador de estrellas

Se trata de saber el número aproximado de estrellas que puede verse una noche en el cielo desde un lugar determinado.

Debes realizar esta observación con un grupo de amigas y de amigos. Cada uno se asigna una parte del cielo y asimismo cuenta las estrellas visibles a través del contador. Finalmente, todos suman los resultados, dividen por el número de participantes y multiplican por cien.

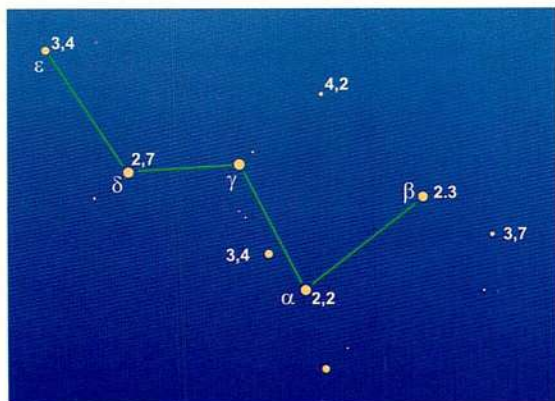
Si repiten la actividad en otro lugar más oscuro y con menor contaminación lumínica verán cómo aumenta el número de estrellas visibles.

Determinación de magnitudes estelares

Sabiendo que entre las estrellas beta (β) y épsilon (ϵ) de la constelación Casiopea (observa la ilustración de la página siguiente) hay una diferencia de casi exactamente una magnitud (2,3 y 3,4) ¿te atreves a averiguar de forma aproximada la magnitud de alfa (α), delta (δ) y kappa (κ)? Desde un sitio bien oscuro debes comparar la diferencia de brillo entre alfa y delta con la diferencia de brillo entre alfa y la estrella que se vaya a observar. Por tanto podrás determinar su magnitud de forma aproximada. Para contrastar tus resultados con los reales consulta la **Guía de las Constelaciones**.

Comprueba sobre qué constelación está el Sol el día de tu cumpleaños

Observa la puesta de Sol ese día y trata de ver, en el crepúsculo, cuál es la constelación zodiacal que le sigue. Haz un pequeño esfuerzo y



levántate temprano para observar cuál es la última constelación zodiacal visible que sale antes del alba. ¿Sobre qué constelación está el Sol? ¿Es la misma que la que indica el horóscopo de esa fecha?

Realiza fotografías de largo tiempo de exposición, dirigidas a diferentes zonas de la bóveda

Siguiendo las indicaciones dadas en **Taller Retratando las constelaciones**, haz dos fotos con largo tiempo de exposición.

a) Dirige tu cámara hacia la Polar y deja el objetivo abierto al menos una hora. El resultado será el movimiento aparente de las estrellas durante ese tiempo. Las estrellas que ves entre la Polar y el horizonte son las circumpolares.

Observa la fotografía y responde: ¿Todas las estrellas han dejado trazos?

¿Qué significa que los trazos que dejan las estrellas tengan diferente longitud?

b) Dirige tu cámara hacia la zona del ecuador celeste y deja el objetivo abierto al menos una hora.

Observa la fotografía. Comprueba que hay trazos cuya curvatura es opuesta. ¿A qué crees que es debido?

¿A qué crees que se debe que haya estrellas cuyo trazo sea una recta?

Fotografía circumpolar: el sistema sexagesimal



Mide con un semicírculo graduado el ángulo que forman las estrellas de la fotografía circumpolar de la primera página de esta unidad y calcula el tiempo aproximado que estuvo expuesta.

Ayuda: Debes tener en cuenta que la Tierra describe en su rotación 360° en 24 horas.

El contador de estrellas: media aritmética

Un grupo de seis amigos quiere saber cuántas estrellas se pueden ver aproximadamente desde el lugar en el que están acampados. Fabrican un contador (ver **Taller**) y se asignan diferentes zonas del cielo. El número de estrellas que cuenta cada uno es 27, 41, 17, 24, 11, 24. Calcula cuál será el número aproximado de estrellas visibles desde el campamento.

Ayuda: Ten en cuenta que el contador cubre aproximadamente una centésima parte de la bóveda celeste.

Magnitudes estelares: cálculos de potencias de exponente entero o decimal

Con ayuda de tu calculadora, averigua cuántas veces más brillante es un astro de magnitud $-1,5$ que otro de magnitud $3,2$.

Ayuda: Cada unidad que avances en la escala de magnitudes representa un brillo 2,5 veces menor.

La declinación más meridional visible desde Canarias: suma de ángulos

La declinación de α Centauri, estrella del hemisferio sur celeste, es $-60^\circ 50'$. ¿Sabrías averiguar si desde un lugar de Canarias, de



latitud $28^{\circ} 30' N$, se puede ver en algún momento del año dicha estrella?

¿Se podrá ver desde un punto de Andalucía de latitud $37^{\circ} N$?

Ayuda: Debes calcular la declinación más baja visible desde las latitudes que se mencionan. Ten en cuenta: 1º) La Polar está a una altura equivalente a la latitud del lugar. 2º) Desde un punto del horizonte hasta otro diametralmente opuesto, pasando por el cenit (punto más alto de la bóveda), se cubre un ángulo de 180° .

Coordenadas astronómicas: sistemas de coordenadas

Representa las siguientes estrellas en la carta:

A.R.	Dec.	Magnitud	A.R.	Dec.	Magnitud
h min	° '		h min	° '	
5 08	-5 05	2,8	5 35	+9 56	3,4
5 15	-8 12	0,1	5 35	-5 55	2,8
5 18	-6 51	3,6	5 36	-1 12	1,7
5 24	-2 24	3,4	5 41	-1 57	1,8
5 25	+6 21	1,6	5 48	-9 40	2,1
5 32	-0 18	2,2	5 55	+7 24	0,9

Programas para obtener cartas celestes

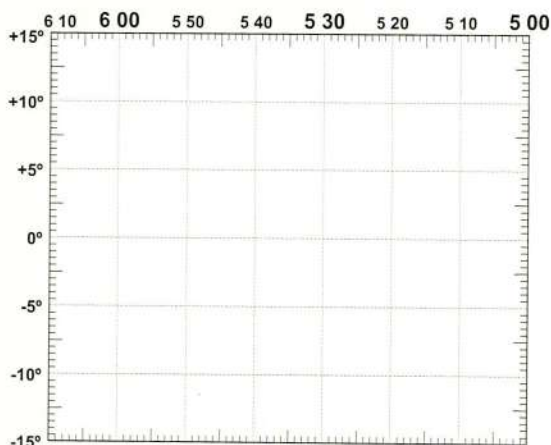


Para que conozcas el cielo, necesitas una buena carta celeste y una guía que te informe sobre cada constelación e incluya los diferentes objetos que contiene. Dispones de ambas cosas en el apartado **Guía de las constelaciones** de este libro, pero en Internet podrás encontrar aun más información.

Las páginas *GalacticSky Charts* y *¿Qué hay este mes?* te ofrecen la posibilidad de obtener e imprimir una carta del cielo que puedes ver el mes actual. Para ello sólo debes seleccionar la carta correspondiente a la latitud más próxima

a Canarias (30°). También podrás consultar diferentes guías en español dedicadas a las constelaciones, como la de la Agrupación Astronómica de Gran Canaria o la de F. Martín Asín.

Pero la manera de sacarle más partido al ordenador es mediante el uso de planisferios informáticos, programas capaces de generar una carta celeste para cualquier fecha y posición. Los programas más avanzados son capaces de mostrar millones de estrellas y pequeñas zonas del cielo. Pero incluso con el más sencillo podrás realizar muchas actividades interesantes. En tu



aula de informática debe haber cualquiera de estos programas, pero si quieres instalar alguno en tu casa puedes "bajarlo" desde Internet. Quizá el más conocido sea el *SkyMap*, un programa de distribución *shareware*. Es decir, podrás probarlo durante treinta días. Pasado ese periodo, se desactivan algunas funciones, como la posibilidad de impresión, por lo que tendrás que registrarte para seguir utilizándolo. Otro programa más sencillo, el *Starcalc*, tiene la ventaja de ser completamente gratuito.

Todos estos programas necesitan conocer las coordenadas geográficas para mostrar el cielo que se ve desde tu localidad. En el apartado **Tablas y efemérides**, que encontrarás al final de este libro, existe una lista con las coordena-



das de varias localidades del Archipiélago y otros lugares del mundo. Introduce la más cercana a tu sitio de observación y ya sólo te faltaría indicar para qué fecha y hora quieres obtener la carta celeste. Generalmente el programa presenta sobre el horizonte la porción del cielo que aproximadamente veríamos a simple vista mirando en la dirección de uno de los puntos cardinales; otros presentan la esfera celeste completa. El programa te servirá para identificar con facilidad la eclíptica, el ecuador, los polos, las coordenadas, las líneas de las constelaciones, sus nombres, etc.

Actividades de astroinformática

Usa uno de los programas anteriores.

- Prueba a reconocer constelaciones sin la ayuda de las líneas y de los nombres.
- ¿Sabrías decir por dónde pasa aproximadamente la eclíptica sin verla?

Aumenta la hora de observación de media en media hora. ¿Se mueve el cielo?

- ¿Por dónde salen las estrellas? ¿Por dónde se ponen?
- Comprueba cómo las estrellas cercanas a la Polar no se ponen por debajo del horizonte (son circumpolares).

Dale otros valores a la latitud:

- ¿Cómo cambia la altura de la polar?
- ¿Y el número de estrellas circumpolares?
- ¿Cómo se mueven las estrellas en el polo Norte? ¿Y en el ecuador?

Si el programa es capaz de mostrar las posiciones del Sol, la Luna y los planetas:

- Comprueba la fecha de los equinoccios y los solsticios.
- Halla el azimut del Sol durante su salida y la altura máxima alcanzada al mediodía.
- Compara la hora del mediodía con la obtenida por observación directa.

Otra característica interesante de estos programas es que sean capaces de darte las coor-

denadas y efemérides de una estrella si la seleccionas con el ratón:

- Comprueba la hora en que sale una estrella determinada dos días seguidos.
- ¿Cómo afecta la diferencia encontrada al movimiento de las estrellas a lo largo del año?

Razona un poco más:

¿Qué declinación ha de tener una estrella en Canarias para que pase justo por el cenit durante su culminación? Pista: comprueba que β Tauri puede pasar por el cenit de Canarias.

Finalmente, algunos programas pueden ofrecer la distancia angular entre dos puntos de la esfera celeste:

- Comprueba la distancia angular entre dos estrellas, obtenida con la ballestilla, con la distancia angular entre esas dos estrellas que te da facilita el programa.

Cartas celestes

GalacticSky Charts

<http://www.calweb.com/~mcharvey/>

¿Qué hay este mes?

<http://www1.tmisnet.com/~abdale/Astronomy/Astronomy.html>

Constelaciones

Guía de las Constelaciones. AAGC

<http://ccdis.dis.ulpgc.es:8086/AAGC/constelaciones/homepage.html>

Fernando Martín Asín

<http://www.alucine.com/astro/ASTRO.HTM>

Estrellas y constelaciones, Toni Bennasar

<http://www.espanet.com/tonib/constell/constel.html>

Programas

SkyMap

<http://www.skymap.com/>

StarCalc

<http://www.bankvoronezh.ru/HomePages/Zavalishin/main.html>



AUTOEVALUACIÓN

Constelaciones



Nunca se ponen bajo el horizonte.

Nombra algunas de cada tipo

Movimientos aparentes de las estrellas

Produce el movimiento de las estrellas por la noche.



Se nota en:



Produce el movimiento de un mes a otro.



Se nota en:



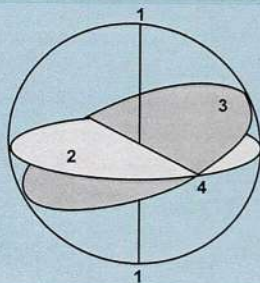
Desplaza los polos y el ecuador celestes.

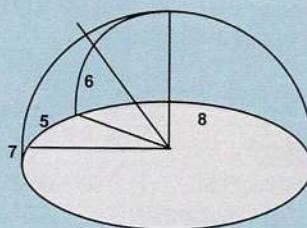


Se nota en:

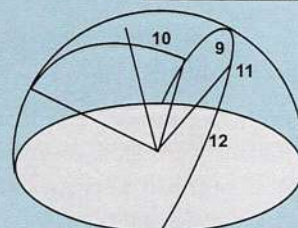


La esfera celeste, coordenadas





Origen en:



Origen en:

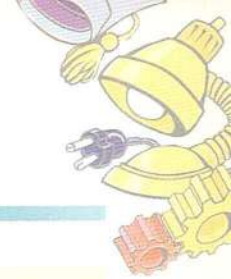
Rellena los huecos con estas palabras

Altura
Ascensión recta
Azimut
Circumpolares
Declinación

Eclíptica
Ecuador celeste
Ecuatoriales
Horas
Altazimutales

Horizonte
Meses
No zodiacales
Norte
Polos celestes

Precesión
Punto Vernal
Rotación
Siglos
Traslación
Zodiacales



Imagínate que diriges tu mirada dispuesto a escrutar el cielo. Estás sentado o, mejor, tumbado boca arriba en el campo, al aire libre y limpio de una noche despejada, sin frío y sin luna, lejos de cualquier foco de contaminación luminosa... ¿Comenzamos?

Cita el nombre de algunas estrellas.

¿Sabes localizarlas en el cielo?

¿A qué hora sale hoy la estrella que hace un mes salió a las 11 de la noche?

¿Se ven los mismos astros en una noche despejada de abril que en una de septiembre?

Si al observar una estrella adviertes que ésta asciende cada vez más, ¿a qué punto cardinal estás mirando?

¿Las agrupaciones de estrellas se ven siempre de la misma forma o vemos cambiar su distribución con el tiempo?

¿Cuál es el azimut correspondiente al punto cardinal Oeste?

¿Cómo localizarías por la noche el punto cardinal Norte?

Canarias está centrada en el paralelo 28 Norte. ¿A qué altura (aproximada) sobre el horizonte podríamos ver la estrella Polar?

Coge varios periódicos del mismo día y compara lo que publican en la sección de astrología para ver si coinciden.

Imagínate que estás en el polo Norte. ¿Qué trayectorias crees que describirían las estrellas a lo largo de la noche?

¿En qué punto del cielo la declinación es igual a -90° ?

El azimut de un astro en el momento de una observación es de 180° y su altura, de 0° . ¿En qué parte del cielo se debe buscar este astro? ¿Sabes si permanecerá mucho tiempo visible?

Leemos en la prensa que hay un cometa visible esta noche en el punto de coordenadas celestes AR: $16^h 30'$; Dec: $+35^\circ 30'$. Localiza ese punto con ayuda de las cartas del planisferio de la **Guía de las Constelaciones**. ¿En qué constelación se encuentra?

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:

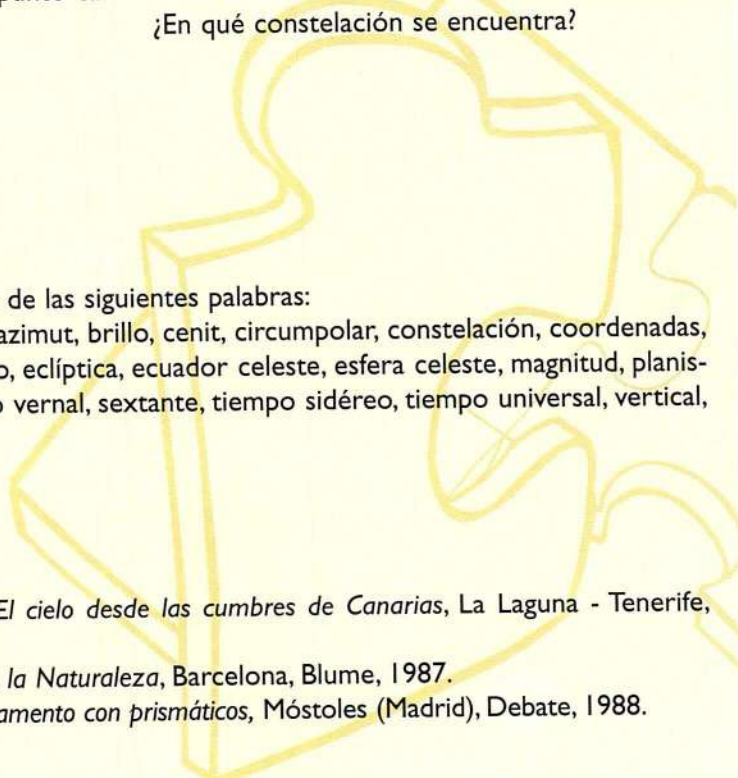
Altura, ascensión recta, astrología, azimut, brillo, cenit, circumpolar, constelación, coordenadas, culminación, declinación, día sidéreo, eclíptica, ecuador celeste, esfera celeste, magnitud, planisferio, polo celeste, precesión, punto vernal, sextante, tiempo sidéreo, tiempo universal, vertical, zodiaco.

BIBLIOGRAFÍA

FERNÁNDEZ PORREDÓN, F., *El cielo desde las cumbres de Canarias*, La Laguna - Tenerife, Autoedición, 1996.

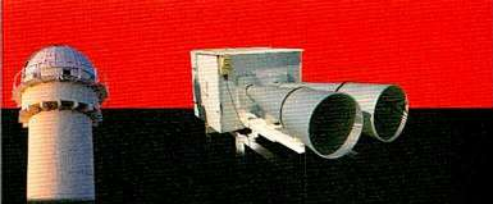
HERRMANN, J., *Estrellas. Guía de la Naturaleza*, Barcelona, Blume, 1987.

MOORE, P., *Cómo descubrir el firmamento con prismáticos*, Móstoles (Madrid), Debate, 1988.





ESCALA Y COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO



Las estrellas son soles, como el nuestro o mayores, situados a inmensas distancias; su luz salió hacia nosotros antes de que tú nacieras.

Vas a iniciar un viaje que te conducirá, en una doble dirección, a conocer los cuerpos celestes que pueblan el universo y las partículas elementales que los constituyen, tanto a ellos, como a nosotros. Abrochate el cinturón...



Los objetos celestes que forman el universo observable están situados a muy diversas distancias de la Tierra y presentan distintos niveles de organización, pero están contruidos con los mismos materiales elementales que nuestros objetos terrestres.

¿Crees que la Tierra es un cuerpo celeste que forma parte del Universo?

¿Sabes a qué distancia se encuentra el astro más cercano a la Tierra? ¿Y el más lejano?

¿Qué tipo de cuerpo crees que es el más lejano que puede verse a simple vista?

¿Cuántos kilómetros piensas que puede abarcar nuestra vista?

¿Sabes qué tamaño tiene el objeto más pequeño que puedes distinguir a simple vista?

¿Por qué suele decirse que un telescopio es una máquina del tiempo?

¿Sabes si los átomos que hay en una galaxia se pueden encontrar también en la Tierra?

La humanidad está hecha de materia estelar.

Harlow Shapley (1885-1972).
Astrónomo.

Preparando el viaje: del macrocosmos al microcosmos



La estrella brillante que aparece junto a las Hyades en la fotografía de la derecha es en realidad el planeta Marte. Lo que en principio te parecía una estrella más, resulta que es un cuerpo sin luz propia, mucho más similar a la Tierra donde vives que a una estrella.

Cuerpos celestes

Al mirar al cielo nocturno y contemplar con cierta atención el centelleo de los astros, podrás comprobar que no todos tienen la misma apariencia; la mayor parte de ellos son estrellas con diferentes brillo y coloración. Pero...

Si la noche está despejada y oscura, verás que algunas supuestas estrellas presentan rasgos ajenos a los de éstas. Pueden ser planetas: su luz es fija, menos oscilante que la de las estrellas y su movimiento se puede apreciar en semanas sucesivas.

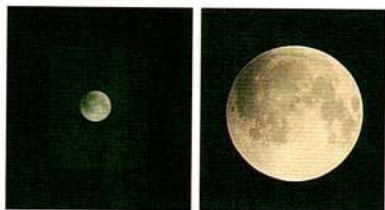


¿Qué diferencia encuentras entre ambas fotografías de la constelación de Tauro?

También se pueden distinguir pequeños tachones más o menos extensos, zonas de débil y difusa luminosidad que, al observarlas con prismáticos (ver **Taller**), presentan cierta estructura en la que podrás distinguir si se trata de cometas, cúmulos, nebulosas, galaxias, etc. A este conjunto se le denomina con el nombre genérico de cuerpos celestes.



En la fotografía de la izquierda tienes la constelación de Escorpión tal y como la verías a simple vista. Las fotografías del centro y de la derecha son zonas de Escorpión vistas con prismáticos. Localiza esas zonas en la primera y reflexiona sobre sus contenidos.



En la observación de la Luna podrás valorar la utilidad de los instrumentos ópticos, en este caso, prismáticos y telescopio.

De igual forma, si te aproximas con unos prismáticos a la Luna, comprobarás la existencia de accidentes geográficos, montañas, cráteres de impacto, mares de lava, etc. Y al hacerlo con un telescopio, apreciarás un mayor grado de complejidad en los sistemas materiales que constituyen los cuerpos celestes.

El uso de instrumentos ópticos como prismáticos y telescopios te aproximan a las estructuras del cosmos de forma similar a como el microscopio te conduce a otras estructuras que, por sus peque-



ñas dimensiones, son inaccesibles al ojo desnudo. En tu viaje a través de lo grande y lo pequeño, comprobarás que tanto los objetos celestes como los más familiares objetos terrestres están formados por la repetición de determinadas estructuras simples que constituyen la materia.



Observación de diferentes cuerpos celestes

Trata de realizar esta observación desde un lugar oscuro en una noche despejada y sin luna. A simple vista y a través de los prismáticos intenta encontrar cuerpos o grupos de cuerpos celestes que no sean estrellas individuales. Describe sus características en tu cuaderno de campo e indica en qué constelaciones crees que se encuentran. Anota sus posiciones aproximadas midiendo con la ballestilla la distancia angular con respecto a alguna estrella brillante. Contrasta la información obtenida con una carta celeste de la fecha y hora de la observación o con un planisferio.



El telescopio y la estructura de los astros

Galileo Galilei fue el primer hombre en dirigir hacia los astros un telescopio de forma sistemática. Descubrió que éstos presentan detalles en su interior, como si de objetos terrenales se tratara, en contra de la creencia generalizada de que los astros eran perfectos e inmaculados. En 1610, Galileo descubrió los accidentes de la Luna, sus cráteres y mares, el amanecer en las montañas lunares durante la fase creciente. Observó por primera vez que Venus presenta fases similares a las de nuestra Luna. Comprobó cómo día tras día giraban cuatro pequeños cuerpos alrededor del planeta Júpiter, desplazándose con él a lo largo de su trayectoria, lo que ponía de manifiesto que la Tierra no era el centro absoluto del Universo. También descubrió las manchas solares y los anillos de Saturno, aunque nunca supo de lo que se trataba. Asimismo pudo constatar que la Vía Láctea estaba formada por una cantidad ingente de estrellas.

Los ladrillos del universo: los átomos

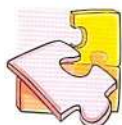
Tanto los objetos que están próximos a ti, formando parte de tu experiencia diaria, como aquellos otros que pueblan la inmensidad



Dos telescopios construidos por Galileo en 1609. El diámetro de las lentes de estos ejemplares no superan los tres centímetros. Posteriormente fabricó decenas de ellos mucho más perfeccionados.



Algunos de los detalles observados en los astros con la ayuda del telescopio. Los descubrimientos de Galileo corroboraron que la Tierra no era el centro del Universo.



El protón es la menor cantidad de carga eléctrica positiva que existe; el electrón posee la misma carga pero negativa. El neutrón carece de carga.



		Carga rel.	Masa rel.
Núcleo {	Protones	+1	1
	Neutrones	0	1
Corteza {	Electrones	-1	0 aprox.

58



El planeta Tierra, por su masa, su composición y la situación que ocupa respecto del Sol, es un cuerpo celeste que resulta óptimo para que se produzcan múltiples combinaciones entre los átomos. Estas combinaciones conducen a la formación de las estructuras materiales más complejas que conocemos.



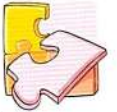
Los átomos en la Grecia clásica

La palabra átomo significa “indivisible” en griego y su existencia fue postulada por filósofos como Anaxágoras y, sobre todo, Demócrito.

Anaxágoras (500-428 a. de C.) puede considerarse precursor de la teoría atomística e influyó poderosamente sobre el pensamiento de Demócrito. Según él, la Naturaleza estaba formada por piezas diminutas, invisibles para el ojo humano. Todo podía dividirse en algo más pequeño, pero incluso las partes más reducidas conservaban algo del todo. A esas piezas mínimas Anaxágoras las denominó *gérmenes* o *semillas*. En realidad, hay algo de verdad en esta teoría, ya que si observamos una célula cualquiera de nuestro cuerpo, veríamos cómo en ella se encuentra toda la información que ha hecho posible que seamos de una determinada forma y no de otra. Además, Anaxágoras fue un gran astrónomo. Tras estudiar un meteorito llegó a la conclusión de que todos los astros estaban constituido por los mismos materiales que la Tierra. Advirtió que la Luna no brillaba por sí misma sino que se limitaba a reflejar la luz del Sol. Explicó los eclipses e incluso llegó a aventurar que quizá podría haber vida en otros planetas. Fue acusado de ateo y condenado a muerte, aunque logró huir.

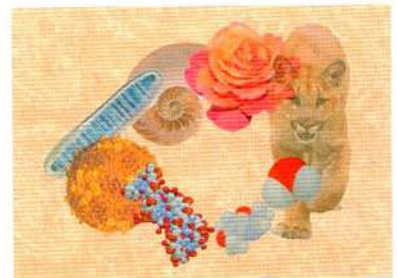
Demócrito (aprox. 460-370 a. de C.) creía que los cambios en la Naturaleza se debían a que todo estaba constituido por unas pequeñas partículas invisibles, eternas e inalterables. A estas unidades Demócrito les dio el nombre de “átomos” que significa, como ya dijimos, indivisible. Según su teoría, los átomos no podían dividirse en partes más pequeñas. Además, eran eternos, fijos y macizos pero no podían ser idénticos entre sí. Para Demócrito, los átomos se caracterizaban por su forma: los había redondos, lisos, irregulares, etc., y al tener aspectos diferentes podían componer distintos cuerpos.

Para Demócrito sólo existían los átomos y el espacio vacío. Fue él quien modificó la filosofía griega de la Naturaleza, según la cual las formas van y vienen (todo fluye, como sostenía Heráclito). Para Demócrito existen cosas inalterables que no fluyen, son los átomos.



El número de protones del núcleo, llamado también número atómico, nos indica el elemento de que se trata. Si el átomo tiene un protón será un átomo de hidrógeno, si tiene 2, de helio... y así hasta el uranio, que con 92 protones es el elemento estable más pesado que existe.

Con la ayuda de la tabla periódica de los elementos averigua cuántos protones y electrones tienen el cobre, la plata y el oro.



No se ha encontrado aún, en las zonas del Universo exploradas por el ser humano, un grado de evolución de la materia tan complejo como en la Tierra.



Las potencias de diez

Para que te habitúes a usar una notación muy frecuente en el mundo de las ciencias, vamos a expresar las distancias en potencias enteras de diez.

- Como actividad, intenta poner, tras los puntos suspensivos, ejemplos de cosas cuyo tamaño expresado en metros sea similar al indicado en la potencia.

$10^0 \text{ m} = 1 \text{ m. Uno.}$

El metro es la unidad de longitud en el Sistema Internacional (S.I.). Se eligió de forma que fuera útil para medir distancias próximas al ser humano. De este orden de magnitud puede ser una mesa de trabajo...

$10^1 \text{ m} = 10 \text{ m.}$

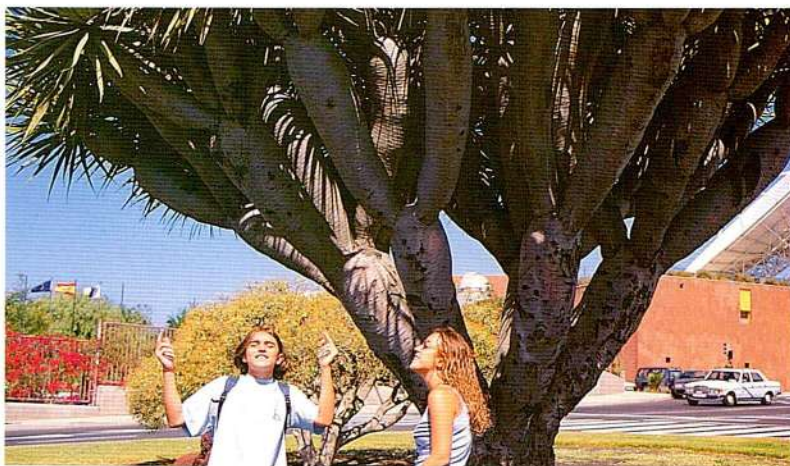
Diez metros viene a ser la altura de un edificio de 3 plantas...

$10^2 \text{ m} = 100 \text{ m.}$

Cien metros es la longitud aproximada de un estadio...

$10^3 \text{ m} = 1\,000 \text{ m.}$

Mil metros, un kilómetro, es un múltiplo muy usado, por ejemplo, para medir distancias entre ciudades...



A 1 m. —Quisiera ir a los lugares vistos en el Museo. —Sí, usaremos el poder de la imaginación.

Las Islas Canarias en el contexto de la Tierra

Esta pareja de soñadores va a iniciar la travesía que les conducirá a los confines del universo conocido. El punto de partida del viaje es un drago, árbol emblemático de Canarias, ejemplar éste próximo a la sede del no menos emblemático Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Quizá influidos por su proximidad, o tal vez por los descubrimientos vividos en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, los protagonistas de la aventura echan a volar su imaginación, dispuestos a visitar esos lugares alucinantes.

Nuestros protagonistas notan cómo sus campos de visión aumentan conforme se elevan. A un kilómetro entran en la zona donde se manifiestan los fenómenos atmosféricos. Han dejado de percibir detalles de los pequeños objetos terrestres pero, en cambio, su campo de visión se ha hecho más extenso.



A 1 Km. —¡Nos elevamos! —Sí. Esto funciona.



A 50 Km. —Parece un mapa. —¡Tremendo cráter!

A 10 km ven casi toda la Isla, que culmina en el impresionante circo de Las Cañadas.

Poco después, a 100 kilómetros, el cielo es completamente negro y contemplan en el curvilíneo horizonte la delgada y tenue franja azul de la atmósfera, pero también algunos desastres ecológicos como mareas negras e incendios forestales. Nuestros amigos toman conciencia de que el delicado equilibrio que mantiene la vida en nuestro planeta está sustentado por aquella franja azul.



A 100 Km. —Miras la atmósfera. ¿No te recuerda la piel de una cebolla?

$10^4 \text{ m} = 10\,000 \text{ m}$.

...metros (diez kilómetros)

Puede ser la distancia entre los extremos de un término municipal...

$10^5 \text{ m} = 100\,000 \text{ m}$.

... metros, cien kilómetros.

De este orden de magnitud es la distancia entre Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria.

$10^6 \text{ m} = 1\,000\,000 \text{ m}$.

... de metros, mil kilómetros, de extremo a extremo de la España peninsular, distancia entre las provincias de Cádiz y Girona...

$10^7 \text{ m} = 10\,000\,000 \text{ m}$.

... de metros. Diez mil kilómetros es la distancia del polo al ecuador siguiendo un meridiano...



$10^8 \text{ m} = 100\,000\,000 \text{ m}$

... de metros. Cien mil kilómetros es la cuarta parte de la distancia media entre la Tierra y la Luna...



A 10 000 km. —¿Te das cuenta de que todos estamos ahí? —Parece mentira que compartiendo un espacio tan limitado y entrañable pasemos el día en disputas. —Si todos pudiéramos tener esta visión seríamos más solidarios en nuestra singular esfera.

$10^9 \text{ m} = 1\,000\,000\,000 \text{ m}$

... de metros. Un millón de kilómetros es la distancia que recorrería un vehículo que viajase a 115 kilómetros por hora ininterrumpidamente durante un año...

$10^{10} \text{ m} = 10\,000\,000\,000 \text{ m}$

... de metros. 10 millones de kilómetros es la distancia recorrida por la Tierra en cuatro días de traslación.



La UA es la distancia media entre la Tierra y el Sol; 149 597 870 Km (redondeando, 150 millones de kilómetros). Se usa para expresar las distancias en el sistema solar.

A unos 1000 km. encuentran gran cantidad de satélites artificiales y, allá abajo, Canarias y el continente.



A 1 000 km. —¡Qué cerca está África y nosotros sin enterarnos!

La Tierra en el contexto del sistema solar

A 10 000 km de distancia nuestros amigos aprecian todos los continentes de la cara visible de nuestro planeta y la esfericidad de la Tierra en todo su esplendor.

Viajando por el plano de la eclíptica, a un millón de kilómetros contemplan la Tierra y la Luna sobre un fondo estrellado. La Tierra se les presenta como un disco de 45' de arco (poco mayor que el tamaño con el que nosotros vemos a la Luna o al Sol). A esa distancia observan ambos astros con una separación máxima de unos 20 grados. A su alrededor, grandes espacios vacíos lo dominan todo.

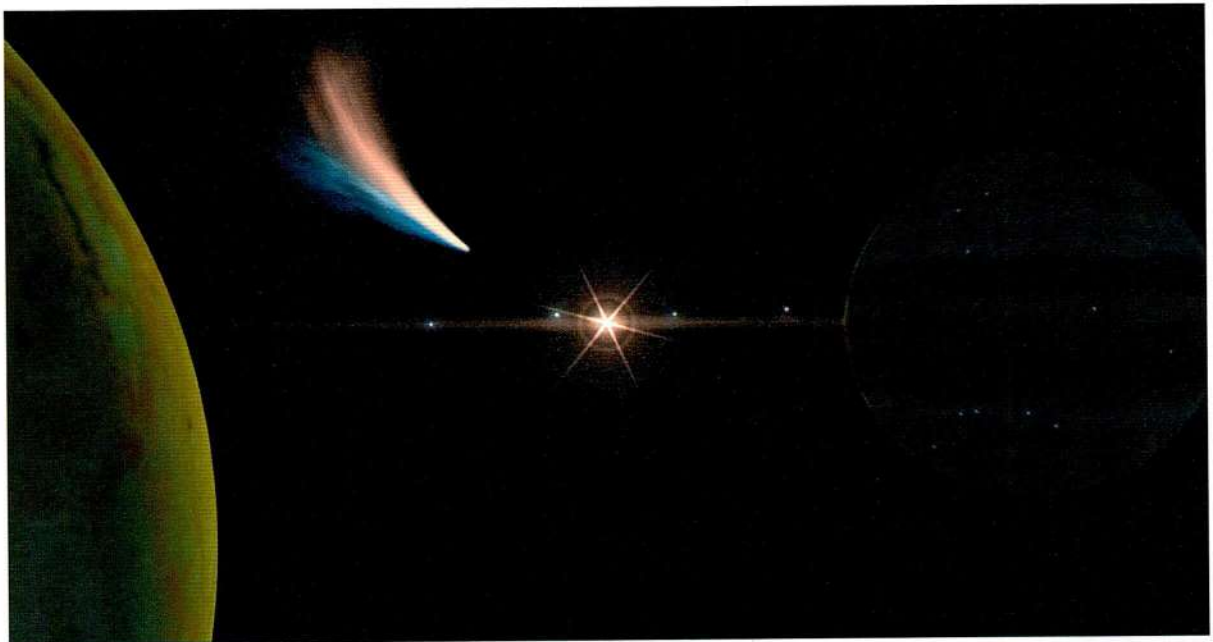


A 1 000 000 km. —¡La Tierra y la Luna! Mira cómo la luz del Sol ilumina de igual forma a ambos cuerpos celestes.



Desde las inmediaciones del planeta Júpiter, situado a 780 millones de kilómetros (5,2 Unidades Astronómicas), nuestros viajeros centran su mirada en el Sol. Éste es un pequeño disco muy luminoso de seis minutos de arco (aproximadamente del tamaño de una moneda de 100 pts, vista desde una distancia de 14 metros). Tienen en su campo de visión los cuatro planetas interiores. Mercurio casi no se aprecia, por lo pequeño y próximo al Sol que se encuentra. Venus y la Tierra, vistos desde aquí, son dos discos similares muy pequeños. La Tierra se ve como *una débil estrella más*, con una separación máxima del Sol de 11 grados. Marte parece muy débil y rojizo. En Júpiter observan relámpagos en su cara nocturna; acaban de pasar cerca de su satélite Io, en donde existe una gran actividad volcánica.

A 5,2 UA. —¡Voy a comprobar la distancia angular entre la Tierra y el Sol con la balles-tilla! ¡Mira un cometa! ¿Será el Halley? —No, ese no toca hasta el año 61, por lo menos. Dicen que hacen fiestas en las playas duran-te toda la noche para celebrarlo. —Pues yo no pienso perdermelo.



El sistema solar en el contexto de las estrellas

A diez mil millones de kilómetros, los viajeros abarcan con la vista todos los planetas del sistema solar pero no pueden distinguirlos del fondo de estrellas. El Sol, sin embargo, se sigue viendo mucho más brillante que ellas.

Están ahora a 4,3 años luz de la Tierra (1,32 parsec o unos cuarenta billones de kilómetros) y se encuentran cerca de un sistema estelar triple. Lo constituyen α Centauri, que es una estrella doble (α^1 y α^2), y Próxima Centauri, que está a un billón de kilómetros de ellas en dirección al Sol, siendo la estrella más cercana a nuestro astro,

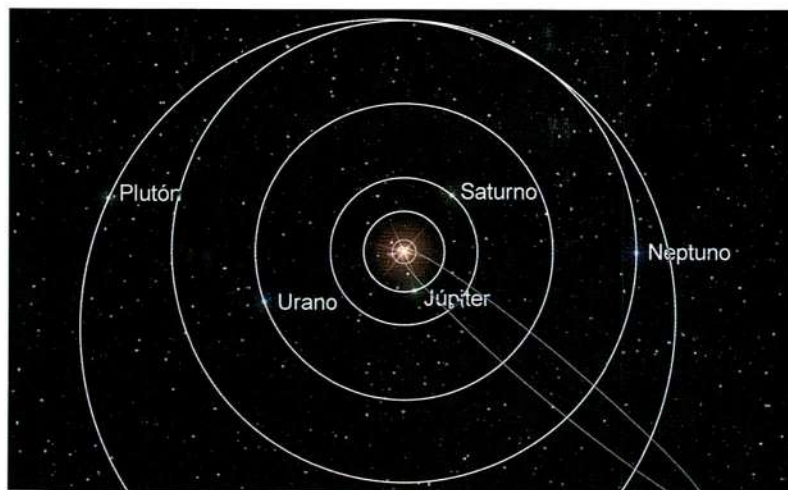


Posiciones de los planetas en sus órbitas en la imagen de arriba.



$10^{11} \text{ m} = 100\,000\,000\,000 \text{ m}$.

... de metros. 100 millones de kilómetros. Puede considerarse ya una distancia interplanetaria. En su traslación alrededor del Sol, Marte y la Tierra llegan a situarse en ocasiones a una distancia del orden de 100 millones de kilómetros.

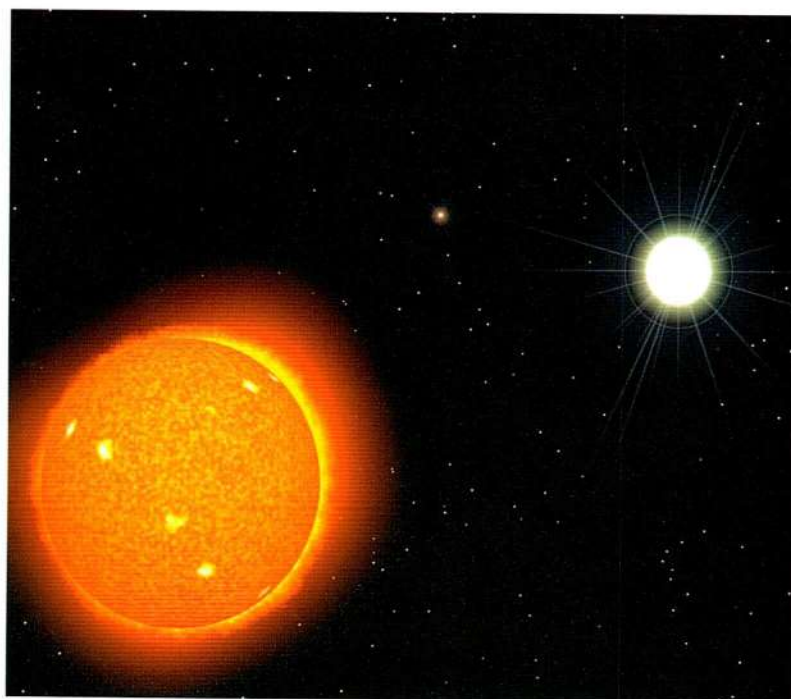


A 10 000 millones de km (67 UA). —¡El sistema solar! ¿Te das cuenta de que aquí estamos lejos de todo? —Si, el espacio tan vacío da escalofríos; trataremos de acercarnos a la estrella más próxima a la Tierra, es una débil que está muy próxima a aquella brillante y anaranjada, en la constelación de Centauro.



Las grandes distancias suelen medirse por el espacio que recorre la luz en un determinado tiempo. Como ésta se propaga a trescientos mil kilómetros por segundo, recorrerá en un minuto dieciocho millones de kilómetros ($300\,000 \text{ Km/seg} \times 60 \text{ seg} = 18 \text{ millones de kilómetros}$). A esta distancia le llamamos minuto luz.

del que dista 4,2 años luz. Su tamaño es la tercera parte del de Júpiter, pero su masa es muy superior y no se ve desde la Tierra ni con telescopios medianos. Es una estrella enana roja.



$10^{12} \text{ m} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ m}$.

... de millones (un billón) de metros. Mil millones de kilómetros. Es aproximadamente la distancia que recorre la Tierra en un año.

A 4,2 años luz. —¡ α Centauri! A la izquierda, en primer plano, y a la derecha tenemos los dos componentes principales del sistema. —¿Será Próxima Centauri la estrella rojita que vemos por debajo del Sol?



Observación del sistema doble Mizar – Alcor



Una prueba de agudeza visual, utilizada desde los tiempos más remotos, consiste en tratar de diferenciar a simple vista este par de estrellas. Para ello debes localizar el Carro en la constelación de la Osa Mayor, fijar tu mirada en la segunda estrella del rabo de la osa y podrás comprobar que junto a ella hay otra más débil. Es Alcor. Nuestros campesinos, que disfrutaban de unos cielos libres de contaminación, conocen a la pareja como los ojos de Santa Lucía (patrona de la vista).

Localización de la estrella más próxima a la Tierra

Suele decirse en Europa que la estrella más próxima a la Tierra, visible desde el hemisferio Norte, es Sirio, en la constelación de Can Mayor, que está a 8,7 años luz. Eso no es del todo cierto ya que desde la latitud de Canarias se muestra visible la estrella α Centauri que está a 4,3 años luz. Para localizarla hay que subir a alguna zona alta de tu isla en la que haya una buena visión del horizonte Sur, y con ayuda de una carta celeste buscarla muy cerca del horizonte, en la constelación de Centauro. Si haces esta observación en enero la encontrarás poco antes de que amanezca. Si la haces en abril será localizable sobre las 4 de la madrugada y si es en julio la tendrás a tu alcance visual inmediatamente después de que anochezca.

Las estrellas en el contexto de nuestra galaxia

Más allá, de nuevo la inmensidad del espacio, sin apenas materia. Decenas de años luz de camino serán necesarias para pasar por la proximidad de alguna estrella, y eso que hay más de doscientos mil millones en este sistema estelar con forma de disco y brazos espirales que es nuestra galaxia. La Vía Láctea, esa franja blanquecina que percibimos cruzando el cielo en las noches oscuras, es nuestra propia galaxia vista desde dentro y está constituida por materia interestelar y por gran cantidad de estrellas.

En su recorrido por el interior de la galaxia, nuestros viajeros conocen de cerca los distintos cuerpos celestes que la componen. La distancia máxima entre dos objetos de la galaxia, equivalente al diámetro de ésta, es de cien mil años luz. Cualquier cuerpo que esté a una distancia superior no pertenecerá a nuestra galaxia.

Éstas son las distribuciones de materia que más impacto causaron a nuestros intrépidos exploradores de la galaxia:

Materia interestelar: grandes extensiones gaseosas, principalmente de hidrógeno o polvo interestelar. Destacan las **Nebulosas**

$$10^{13} \text{ m} = 10\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$$

... billones de metros. Diez mil millones de kilómetros es el diámetro de la órbita de Neptuno. La luz tarda en recorrer esa distancia más de nueve horas.

$$10^{14} \text{ m} = 100\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$$

... billones de metros. Cien mil millones de kilómetros. Esta distancia es mucho mayor que la existente entre planetas del sistema solar y muy inferior a la distancia a alguna estrella. La luz tarda cuatro días en recorrer esta distancia.

$$10^{15} \text{ m} = 1\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$$

... billones de metros. Un billón de kilómetros. Algo más de un mes tarda la luz en recorrer esta distancia.

Acabas de ver la distancia que recorre la luz en cuatro días. Fíjate que otra de las potencias anteriores era la distancia recorrida por la Tierra en ese mismo tiempo. Compara ambas distancias. ¿Cuántas veces es más veloz la luz que la Tierra?



Un año luz es la distancia recorrida por la luz en un año y se corresponde con 9,47 billones de kilómetros (redondeando, unos diez billones de kilómetros). Es muy usada en astronomía para indicar la distancia a las estrellas. Recuerda: a pesar de su nombre, año luz no es unidad de tiempo sino de longitud.





$10^{16} \text{ m} = 10\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$

... billones de metros. 10 billones de kilómetros. La luz recorre esa distancia en poco más de un año. Si quisiéramos llegar a la estrella más próxima sería necesario recorrerla unas cuatro veces.

$10^{17} \text{ m} = 100\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$

... billones de metros. 10,5 años luz. Entramos en el dominio de las distancias interestelares.



—¡La Vía Láctea! Y pensábamos que en el cielo no había más que estrellas.



Un parsec es la distancia a la que tendríamos que situarnos para apreciar la separación entre la Tierra y el Sol (150 millones de Km) con un ángulo de un segundo de arco. Equivale a 3,26 años luz.



—En esta nebulosa nacen estrellas; es como si fuera una sala de maternidad estelar.



Para ver una moneda de 100 pesetas ocupando un segundo de arco de tu campo visual tendrías que ponerla a algo más de 5 kilómetros de ti.

- ¿Crees que necesitarías algún instrumento óptico para verla?

de emisión, zonas ricas en hidrógeno de varios años luz de extensión y que propician en determinadas circunstancias la formación de estrellas en su interior.

Cúmulos abiertos: grupos de estrellas jóvenes que se han emancipado de su nebulosa madre y permanecerán próximas entre sí durante un tiempo. Posteriormente se irán separando para dar lugar a estrellas individuales, sistemas dobles o múltiples.



—¡Un cúmulo abierto! —¡Ahí va; tremenda formación estelar! —Cosas de la juventud, sólo tienen unas decenas de millones de años.



Un cúmulo abierto: las Pléyades

Trata de reconocer este cúmulo abierto. Para ello basta que dirijas tu mirada a la constelación de Tauro y encontrarás un asterismo en forma de P; la distancia angular entre sus extremos no llega a dos grados. A simple vista podrás contar seis o siete estrellas y con prismáticos varias decenas. Puedes localizar las Pléyades en noviembre a cualquier hora de la noche. En febrero es visible hasta la una de la madrugada y en verano sólo se ve unas horas antes de amanecer.

El centro de nuestra galaxia: la Vía Láctea

Al contemplar esta zona del cielo no podrás evitar que un escalofrío se apodere de ti. En Canarias se observa en condiciones óptimas, pues llega a situarse en una posición suficientemente alta sobre el horizonte. La franja más espectacular de la Vía Láctea la encontrarás sin ninguna dificultad si estás en un lugar sin contaminación luminosa, mirando hacia la constelación de Sagitario. En octubre se ve al anochecer; en abril, poco antes de amanecer, y en verano, antes de las doce de la noche. Es una auténtica aventura recorrer esta zona del cielo con prismáticos, deteniéndote en los objetos que te llamen la atención y contrastando tus descubrimientos con una carta celeste.

$10^{18} \text{ m} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$

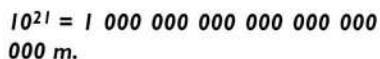
...de billones (trillón) de metros. Se corresponde con unos cien años luz.

$10^{19} = 10\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$

... trillones de metros, poco más de mil años luz. La mayor parte de las estrellas brillantes que vemos están a una distancia comprendida entre 10 y 1000 años luz de la Tierra.

$10^{20} = 100\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m.}$

... trillones de metros, unos diez mil años luz. La Tierra dista del centro de la galaxia unas tres veces esa distancia.



... trillones de metros. Cien mil años luz.
Es la distancia que hay de un extremo
al otro de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

Nuestra galaxia en el contexto del universo conocido

Como el ser humano no ha salido nunca de nuestra galaxia no hay fotografías que nos la muestren desde fuera. Por eso, la viajera imaginación de nuestros protagonistas nos ofrece como primicia una imagen de lo que verían, mirando hacia casa, a una distancia de ciento cincuenta mil años luz de nuestro planeta. Orbitando alrededor del *núcleo galáctico* están los antiquísimos y enigmáticos *cúmulos globulares*, distribuciones esféricas formadas por cientos de miles de estrellas.



—¡Nuestra galaxia rodeada de cúmulos globulares! No nos quedó mal la foto ¿verdad? El sistema solar está a 30 000 años luz del centro.

$$10^{22} = 10\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\text{ m.}$$

... trillones de metros. Algo más de un millón de años luz. El objeto más lejano que podemos ver a simple vista, la galaxia de Andrómeda, está a dos veces esa distancia.

A una distancia entre 165 000 y 205 000 años luz, se hallan las dos galaxias satélites de la Vía Láctea: la Pequeña y la Gran Nube de Magallanes.

A 2,2 millones de años luz, nuestros amigos se encuentran de frente con la colosal galaxia de Andrómeda, M31, que, al igual que la nuestra, tiene dos galaxias satélites: M 32 y NGC 205. Estas, junto con la nuestra, las nubes de Magallanes y dos decenas más, forman el Grupo Local de galaxias.

Y entre galaxia y galaxia, colosales cantidades de espacio desocupado. A su vez, nuestro Grupo Local pertenece a un supergrupo llamado Cúmulo de Virgo. Las galaxias miembros, incluida la nuestra, mantienen una separación media de unos 60 millones de años luz. Han visto también otros cúmulos: el denominado Cúmulo de Coma, que está a 300 millones de años luz, y el de Hércules, a 500. Los cúmulos están vinculados unos a otros y dan lugar a supercúmulos. Entre ellos se abren inmensos espacios vacíos.

Acercándonos a lo más pequeño



Para expresar la medida de lo pequeño se emplean las potencias negativas de diez, de forma que $1/10^n$ se expresa como 10^{-n} .

$$10^0 \text{ m} = 1 \text{ m.}$$

De nuevo, en el punto de partida, nuestro entorno más inmediato pertenece a la escala del metro.

$$10^{-1} \text{ m} = 0,1 \text{ m.}$$

La décima parte del metro o decímetro. De ese orden son muchos de los útiles de trabajo y objetos de uso común: un lápiz, una cuchara de café, una pieza de fruta.

$$10^{-2} \text{ m} = 0,01 \text{ m.}$$

... ésima parte del metro o centímetro. El tamaño de muchas semillas e insectos es de este orden.

$$10^{-3} \text{ m} = 0,001 \text{ m.}$$

Un milímetro, el grosor de la piel de una manzana.

$$10^{-4} \text{ m} = 0,0001 \text{ m.}$$

La diezmilésima parte del metro, o décima de milímetro. El límite de resolución de la vista.

Visión macroscópica hasta 100 micras, 10^{-4} m

Entusiasmados por los lugares que han conocido, nuestros protagonistas deciden iniciar una nueva exploración. Ahora quieren saber cómo está hecho el fino entramado del interior de la materia.



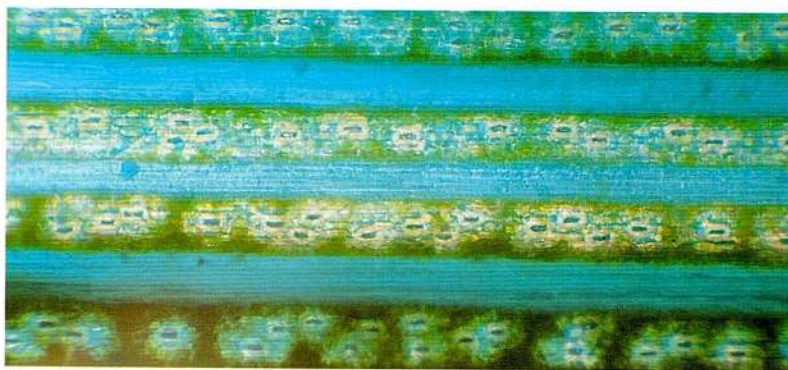
A 1 m. —¿Vamos a ver cómo es el drago por dentro? —¡Vale!



A 0,1 m. —¿Qué tal si entramos por esta hoja?

El árbol está constituido por diferentes partes: tronco, hojas, raíces. Las hojas tienen una singular disposición y son de unos 10 centímetros de anchura. Al ir aproximándose, se les va reduciendo a nuestra pareja el campo visual, pero a cambio van distinguiendo estructuras que antes no veían, como es la disposición paralela de los nervios de la hoja.

Se detienen en la piel de la hoja, donde descubren que las estructuras paralelas responden a un doble bandeo. Uno es homogéneo, constituido solamente por células epidérmicas poliédricas. En el otro se observan además los estomas, de formas redondeadas. El ancho del bandeo es de unas 100 micras (10^{-4} m o una décima de milímetro).



A 10^{-3} m . —¡Vaya! Nunca pensamos que la hoja del drago estuviera formada por montones de celdillas iguales.



Células o celdillas

El científico inglés Robert Hooke (1635 – 1703) fue el primero en formular el concepto de célula. Examinando el tejido del corcho pudo comprobar que estaba formado por múltiples celdillas. Celda es *cella* en latín y celdilla, *cellula*. Hay que tener en cuenta que en ese tiempo el latín era la lengua en que se expresaba y difundía la cultura y la ciencia en particular.

$10^{-5} \text{ m} = 0,000 \text{ 01 m.}$

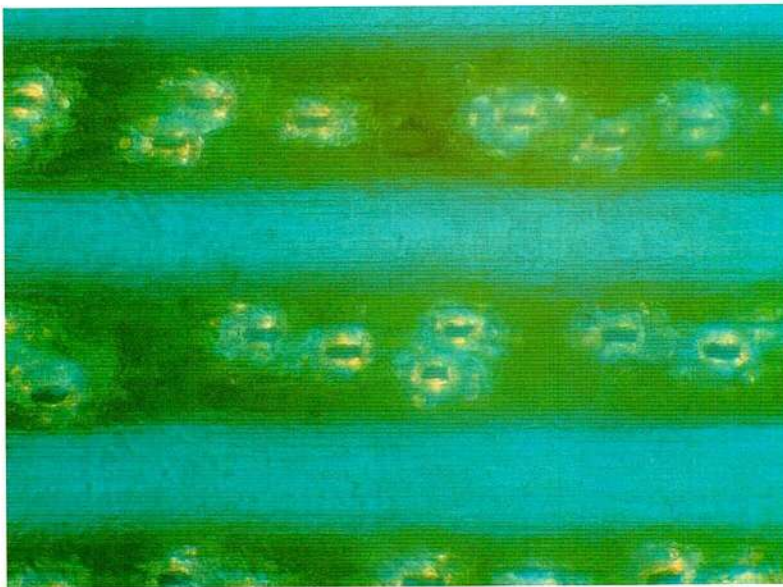
Cienmilésima parte del metro. Comienzo de la visión microscópica. Entramos en el dominio de las distancias intracelulares.

$10^{-6} \text{ m} = 0,000 \text{ 001 m.}$

... ésima parte del metro, milésima de milímetro o micra.

Visión microscópica de 10^{-4} a 10^{-7} m

Observando la epidermis más de cerca, descubren que los estomas de esta hoja tienen aproximadamente 30 micras de diámetro y están constituidos por dos células arriñonadas que dejan en la parte central un orificio por donde la planta transpira.



$10^{-7} \text{ m} = 0,000 \text{ 000 1 m.}$

... de metro o décima de micra.

Comienza la visión ultramicroscópica.

$10^{-8} \text{ m} = 0,000 \text{ 000 01 m.}$

... de metro o centésima de micra.

Dimensión de algunas estructuras componentes de las células.

$10^{-9} \text{ m} = 0,000 \text{ 000 001 m.}$

... de metro, milimicra o nanómetro.

Entramos en el dominio de las distancias interatómicas.

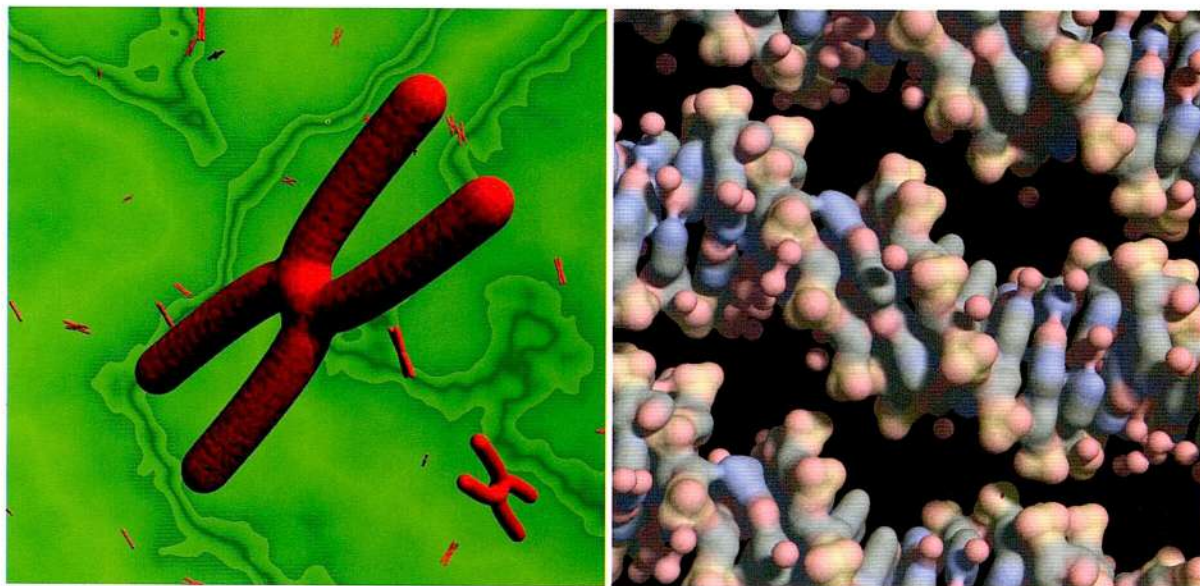
A 10^{-4} m . -Esas deben ser células de la hoja del drago. -Pongamos nuestra imaginación rumbo a lo más pequeño.

Por fin llegan a observar en detalle las unidades de que está constituida esta epidermis, que son células que tienen una anchura de 10 micras. En su interior destaca un cuerpo esférico: es el núcleo de la célula; los más pequeños que ven tienen una micra (10^{-6} m) de radio.

Pero esto no acaba aquí. En el interior del núcleo celular descubren nuevas estructuras con formas regulares, presentes en todas las células, que son los cromosomas.



A 10^{-5} m . -Las células de la hoja del drago. ¡Parece que hemos llegado al final!



10^{-7} m. —¿Y de qué estarán constituidos los dichosos cromosomas? 10^{-9} m. —¡Fijte es el ADN! —¡Estamos ante la molécula de la vida!



El ADN está formado por multitud de pequeñas unidades a las que llamamos genes. Estos genes son los responsables de proporcionar las características a la especie: ser humano, perro, gato...; a la familia: parecido entre padres e hijos; al individuo: cada ser es único e irrepetible.

10^{-10} m = 0,000 000 000 1 m.

... de metro, angström (Å).

Esta unidad se usa para expresar los radios atómicos.

10^{-11} m = 0,000 000 000 01 m.

...de metro, décima de angström.

Comienzan las distancias propias del interior del átomo.

Visión ultramicroscópica de 10^{-7} a 10^{-9} m

Al profundizar en el interior del cromosoma, aprecian que está constituido por una estructura en forma de doble cadena helicoidal. Es la macromolécula de ADN, de 25 angströms de anchura y una longitud prácticamente ilimitada, que se mantiene plegada gracias a su estructura, teniendo además la capacidad de reproducirse a sí misma. Un ejemplo es el ácido nucleico que porta un virus.



Niescher descubrió en 1869 una sustancia en los núcleos celulares a la que llamó nucleína y que tiene carácter ácido, pudiéndose comprobar después que realmente eran dos ácidos diferentes. Se llegó a creer que uno era propio del reino animal y el otro del vegetal hasta que en 1924 se comprobó que los dos ácidos nucleicos formaban parte tanto de las células animales como de las vegetales. En 1929 Levene y Nori los identificaron como ácido desoxirribonucleico o ADN, propio del núcleo celular, y ácido ribonucleico o ARN, que además se encuentra en otras zonas de la célula como el citoplasma. En 1944, Avery y sus colaboradores demostraron que el ADN es el vector de la herencia. La estructura de doble hélice del ADN fue dada a conocer por James Watson y Francis Crick en un artículo titulado *Una estructura para el ácido desoxirribonucleico*, que se publicó el 25 de abril de 1953 en la revista *Nature*.



Visión atómico-molecular de 10^{-9} a 10^{-10} m

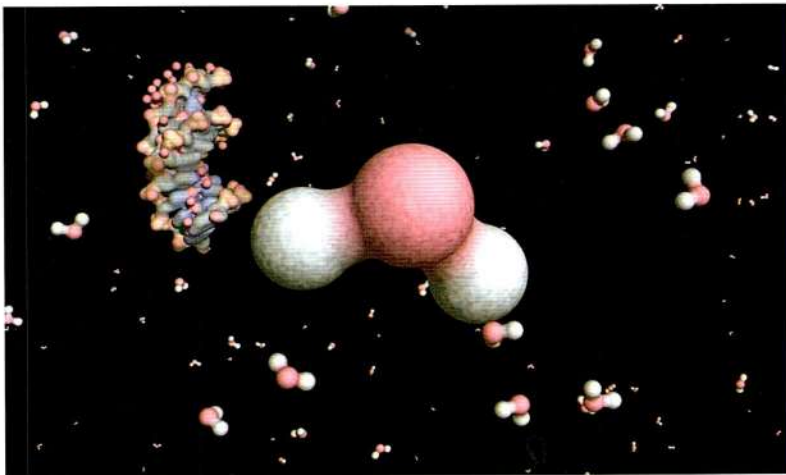
Al contemplar el interior celular, nuestros amigos ven el ADN como una especie de grumo inmerso en un líquido rico en diferentes sustancias; el medio de dispersión es el agua.

El agua es un *compuesto químico* de vital importancia que está presente en grandes proporciones en los seres vivos, llegando a suponer un 75% de su peso medio; es de mucha utilidad como disolvente de sales y nutrientes. En la Tierra la encontramos, de forma habitual, como líquido, sobre todo en los océanos; como gas en la atmósfera, estableciéndose un equilibrio líquido - vapor determinante para la vida en el Planeta, cuya manifestación más conocida es la lluvia. También se le encuentra en estado sólido, sobre todo en las zonas próximas a los polos.

La molécula de agua, ya esté formando parte del océano, de la nube o de la célula, está siempre constituida por dos átomos de hidrógeno unidos a uno de oxígeno. La distancia entre ellos es de un angström, 10^{-10} m.

Hemos llegado al átomo. Toda la materia orgánica e inorgánica está formada por átomos. Los del ADN son de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y fósforo, debidamente unidos entre sí. Los del agua,

El agua es responsable de un 60% del peso del cuerpo humano.



A 10^{-10} m. —Te das cuenta? Es una especie de caldo. Estamos en el interior de una célula de la epidermis de la hoja de un drago. Su componente principal es el agua.

• ¿Sabías que cuando tomas un vaso de agua estás tragando del orden de 10^{25} moléculas de este líquido esencial?

• Trata de imaginarte una de ellas ¿Puede haber estado alguna vez en una nube? ¿En una galería? ¿En el mar? ¿Formando parte de algún organismo vivo?

Si pudiéramos dilatar un átomo de hidrógeno hasta que su núcleo tuviese un radio de un metro, el resto del átomo se extendería en un radio de 100 kilómetros y existiría en ese espacio un solo electrón cuya masa, para colmo, es despreciable.



hidrógeno y oxígeno. En cada uno de los noventa y dos elementos estables, los átomos son de un solo tipo. El tamaño de los átomos oscila, según el elemento de que se trate, entre un angström y cinco angströms, 10^{-10} m y 5×10^{-10} m.

Así podríamos enumerar miríadas de sustancias compuestas por diferentes combinaciones atómicas en las que participan los átomos estables, desde el hidrógeno al uranio.



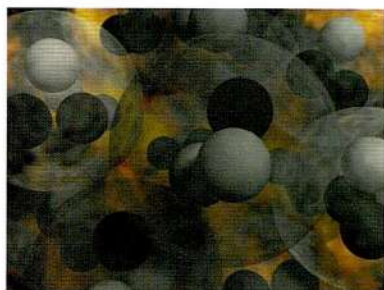
La unión de los protones en el núcleo se debe a que en ese orden de distancias predominan otras fuerzas atractivas que sólo se manifiestan en el núcleo: las fuerzas nucleares.

$10^{-12} \text{ m} = 0,000\ 000\ 000\ 001 \text{ m.}$

Billonésima parte del metro.

$10^{-13} \text{ m} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 1 \text{ m.}$

Diezbillonésima parte del metro o milésima de angström.



—¡Los quarks! Fin de trayecto...por ahora.
—No te olvides de pasar por casa para hacer el cuestionario, la evaluación de la visita al museo y el resumen de la experiencia. —¡Vale! Paso esta tarde. Añadiremos también un dossier con las fotos. Se van a llevar una sorpresa.

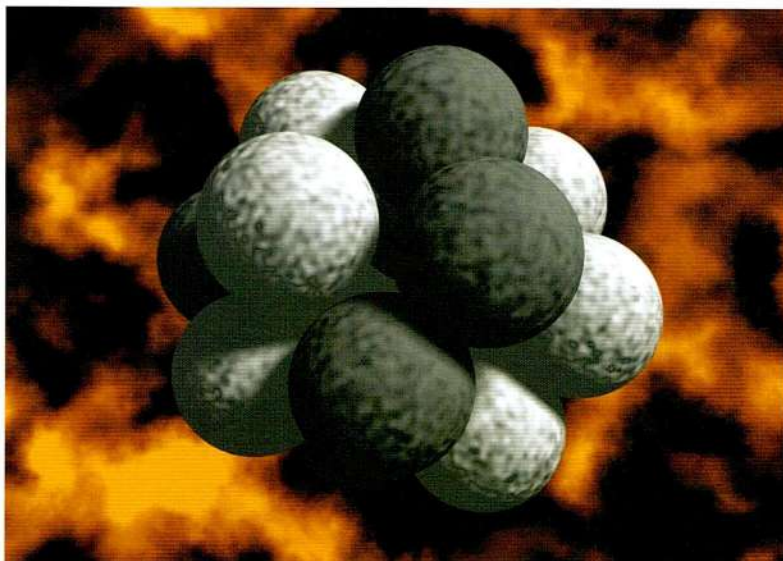
$10^{-14} \text{ m} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 01 \text{ m.}$

Cienbillonésima parte del metro.
Comienza el dominio de las distancias intranucleares.

Visión subatómica hasta 10^{-15} m

Una vez en el átomo no les resulta nada familiar lo que ven. El movimiento, la posición y el comportamiento general de sus partículas presentan notables diferencias con relación a lo observado fuera del dominio atómico. El radio del núcleo es entre diez mil y cien mil veces menor que el del átomo. Además, en un recinto tan pequeño como el núcleo, 10^{-14} metros, parece a primera vista sorprendente que se mantengan unidas partículas como los protones, que eléctricamente se repelen.

Las partículas elementales a su vez están formadas por *quarks*. Hasta ahí ha podido la física escudriñar la materia. Pero, ¿y los quarks?, ¿cómo estarán constituidos?



A 10^{-15} m . —En el átomo hay mucho espacio vacío. Esto me recuerda al viaje por el Universo. Pero encuentro un comportamiento raro en las partículas elementales; los electrones no son bolitas que giran alrededor del núcleo como creía. Me marea verlos. —No seas impaciente; ya lo entenderás dentro de un par de cursos.

Resumen de la experiencia

A lo largo de este viaje, hemos visto que, a pesar de que hay notables diferencias entre el comportamiento de las partículas atómicas y el de los objetos cotidianos (incluyendo los cuerpos celestes), existen determinadas analogías en la descripción del átomo y del Universo o, dicho de otra forma, entre el *microcosmos* y el *macrocosmos*.

Tanto a escala cosmológica como a escala atómica hemos encontrado que hay una ínfima parte de espacio ocupado por materia, frente a una cantidad inmensa de espacios vacíos.



También existe analogía en la forma en que se unen las partículas. La unión entre átomos, que da lugar a los elementos y los compuestos, se asemeja a la unión entre algunos cuerpos celestes, por ejemplo entre la Tierra y la Luna. Ambas son uniones en las que no se establece contacto físico.

A escala macroscópica predominan las fuerzas gravitatorias a escala atómico-molecular, las fuerzas de origen eléctrico y las nucleares, fuerte y débil, se imponen entre las partículas subatómicas del núcleo.

En nuestro doble viaje hemos llegado a los extremos de la cadena de las estructuras conocidas y nos quedamos con la sensación de que el uno y el otro guardan una estrecha relación. En este sentido puede decirse que estamos en un universo repetitivo, construido con múltiples copias de estructuras básicas debidamente combinadas.

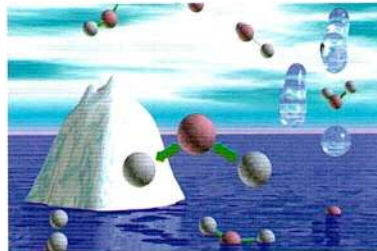
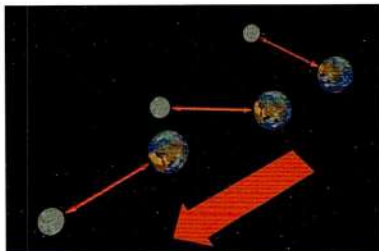
$10^{-15} \text{ m} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 \text{ m.}$

Milbillonésima parte del metro.

Es la medida aproximada del núcleo atómico más pequeño, el del hidrógeno.



¿Cómo es posible que el átomo, siendo tan pequeño, tenga una proporción de espacios vacíos comparable con las del Universo?



• Compara estos dos números, 10^{15} y 10^9 . ¿Cuál es mayor y cuántas veces lo es?

• Haz lo mismo con estos dos, 10^{-14} y 10^{-8} .



La relación de espacios ocupados por el núcleo atómico y el resto del átomo es como el de una hormiga a un estadio. En el ámbito del Universo y en el atómico predominan los espacios vacíos. Entre los átomos, la unión es de naturaleza electrostática; entre los astros, es de naturaleza gravitatoria. Los dos sistemas de la figura se caracterizan porque la distancia media entre sus componentes permanece prácticamente constante.



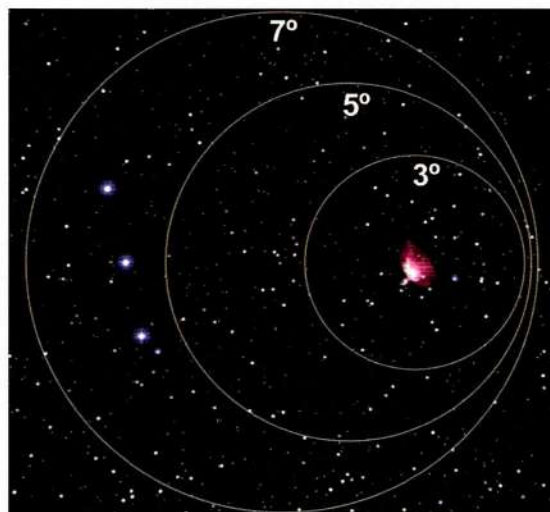
Los prismáticos

Los prismáticos son los instrumentos ópticos más utilizados en la observación astronómica no profesional. Son dos pequeños anteojos, unidos entre sí, que recogen la luz y la reflejan en un par de prismas que se encuentran en el interior de cada tubo. Esto permite que la distancia necesaria para enfocar el objeto se contenga en un espacio más pequeño, lo que los hace muy manejables.

Las lentes situadas en la parte frontal de los prismáticos se denominan objetivos. Cuanto mayor sea su diámetro, más luz recogerán y podrán distinguirse objetos de menor brillo. En unos prismáticos tiene mayor importancia el diámetro del objetivo que el número de aumentos que nos pueda proporcionar.

En el otro extremo de los prismáticos tenemos dos lentes, bastantes más pequeñas que las anteriores. Se llaman oculares y se pueden desplazar para enfocar los objetos.

Los prismáticos tienen dos números que los



identifican, por ejemplo 7x35, 7x50, 11x80. El primero de ellos hace referencia al número de aumentos que proporciona y el segundo al diámetro del objetivo en milímetros.

Otro dato importante que debe tenerse en cuenta es el campo angular que nos proporciona. Esto va a depender del aumento y del tipo de oculares. Lo ideal es tener el mayor campo posible.

Los prismáticos más adecuados para comenzar a observar son unos de 7x50.

Existen adaptadores que permiten unirlos a un trípode haciendo más fácil su uso. Esto es especialmente importante en prismáticos con más de 10 aumentos, debido a la vibración que se produce al mantenerlos con la mano.

¿Qué puedes observar con ellos?

La mayoría de los objetos celestes existentes: estrellas, planetas, asteroides, cometas, cúmulos abiertos, cúmulos globulares, nebulosas y algunas galaxias.

Podemos distinguir los cráteres y montañas de la Luna, los satélites de algunos planetas como Júpiter o Saturno e incluso observar satélites artificiales.



La popularidad y el bajo coste hacen de los prismáticos una herramienta muy común para aprender astronomía, siendo un paso obligado antes de adquirir un telescopio.

El telescopio

Una vez te hayas familiarizado con el cielo, reconociéndolo a simple vista y con prismáticos, el siguiente paso será el uso de un telescopio, pues habrá objetos que no has podido ver debido a que son muy pequeños o poco brillantes.

Un telescopio es un instrumento óptico que nos permite captar mucha más luz al ser el diámetro del objetivo mayor que el de unos prismáticos. Además, cuanto mayor sea el objetivo tanto más pequeños serán los detalles que podremos captar. Es más importante el diámetro del objetivo que el número de aumentos que proporcione el telescopio. Asimismo, el número de aumentos reales estará condicionado por el diámetro de aquél.

Clases de telescopios

Existen dos clases fundamentales de telescopios según el tipo de objetivo que posean: refractores y reflectores.

Un *telescopio refractor* es aquel que tiene por objetivo una lente que concentra la luz en un punto denominado foco. La distancia que existe entre el objetivo y el foco es lo que se llama distancia focal, que suele ser unas 10 o 15 veces mayor que el tamaño del objetivo. Cuanto mayor sea el diámetro del objetivo, mayor será la luz que acumule en el foco, que es donde colocaremos el ocular. El aumento que nos proporciona el telescopio es el cociente entre la distancia focal del objetivo y la del ocular. Cuanto mayor sea la primera y menor la segunda, mayor será el poder multiplicativo del telescopio. El número de aumentos no es indefinido, en la práctica es aconsejable usar un número de aumentos inferior a 20 veces el diámetro del objetivo, en centímetros. Por ejemplo, un telescopio de 6 centímetros de diámetro, no puede llegar a dar 120 aumentos sin que la imagen pierda bastante resolución.





La capacidad que tiene un telescopio para separar dos puntos que están muy cercanos es lo que se denomina poder de separación o poder de resolución. Se expresa en segundos de arco y depende del diámetro del objetivo, viniendo determinado por la ecuación $r = 120/D$, donde r es el poder de separación en segundos de arco (") y D , el diámetro del objetivo del telescopio en mm. Un telescopio de unos 12 centímetros de diámetro presenta una resolución de un segundo de arco.

Un *telescopio reflector* es aquel que tiene por objetivo un espejo de forma parabólica, que concentra los rayos paralelos que le llegan en un punto al que también denominamos foco. El más popular de los reflectores es el newtoniano, fabricado por Isaac Newton. El foco en este instrumento se desplaza fuera del eje del telescopio, mediante un espejo plano que forma un ángulo de 45° con la trayectoria de la luz, por lo que el ocular se sitúa en un lateral



del tubo óptico. Este tipo de óptica permite fabricar telescopios de objetivos relativamente grandes con el menor costo posible.

Con un telescopio podemos observar objetos que con prismáticos apenas podíamos separar, como son las montañas y cráteres de la Luna, detalles de las nebulosas, la estructura de las galaxias, los anillos de Saturno e incluso el más lejano de todos nuestros planetas, Plutón.

Monturas: El tubo del telescopio va instalado en la montura, un sólido armazón que permite apuntarlo a cualquier lugar de la bóveda celeste. Básicamente existen dos tipos, la montura *altazimutal* y la ecuatorial.

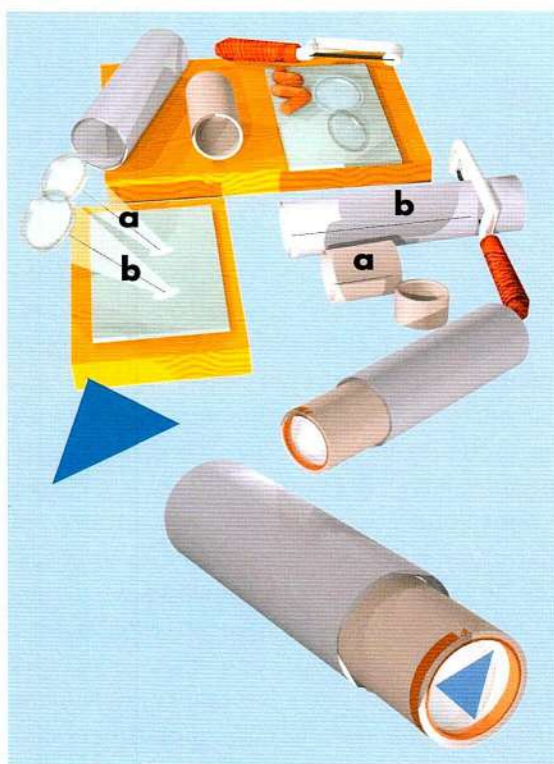
La primera es más barata y permite dos tipos de desplazamientos: vertical y horizontal, con lo que para seguir el movimiento nocturno de un astro es necesario mover los mandos de ambos ejes.

En la montura ecuatorial, el eje principal o de ascensión recta se orienta al polo celeste, con lo que el plano principal de giro queda paralelo al ecuador, de ahí su nombre. El eje de declinación es perpendicular al anterior. Una vez seleccionado un astro podremos seguirlo sin más que mover el mando correspondiente a la ascensión recta.

El conjunto óptico y mecánico deberá descansar sobre un trípode robusto.

Trata a continuación de dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- Calcula los aumentos que puede proporcionar un telescopio cuya distancia focal es de 900 mm al utilizar tres oculares de 40, 18 y 8 mm., respectivamente.
- Si un telescopio tiene 800 mm de distancia focal y un objetivo de 60 mm de diámetro, ¿cuál de los siguientes oculares crees que debemos utilizar para una perfecta observación, uno de 4 mm. o uno de 40 mm.?



- Calcula el poder de separación de: a) un telescopio de 60 mm; b) otro de 200 mm; y c) el Grantecan, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, con sus 10 m de diámetro.

Construcción de un catalejo

Material: Dos lentes divergentes. Dos tubos de diámetro casi similares.

Construcción: Para poder construirte un catalejo, primero debes calcular cuál es la distancia focal de cada lente. Para ello simplemente coge cada una de ellas y dirígela hacia el Sol, proyectando la imagen sobre el suelo (¡nunca sobre el ojo!) hasta que sea lo más puntual posible. Mide con una regla la distancia entre la lente y la imagen y repite la operación con la otra lente.

Ahora corta los tubos de tal manera que supere en unos centímetros la medida que obtuviste para la distancia focal de cada lente. Debes acoplar cada una de las lentes a los extremos de los tubos; puedes pegarlos con plastilina. Es aconsejable que el diámetro de los tubos sea ligeramente superior al de las lentes. Introduce el tubo de menor diámetro dentro del otro, con las lentes hacia afuera. Mira a través de una de las lentes, y dirigiéndolo a un objeto alejado, intenta enfocar la imagen de dicho objeto, moviendo hacia adelante y hacia atrás un tubo dentro de otro. Al ser las dos lentes divergentes, obtendrás una imagen invertida, que en astronomía no importa. El único objeto que no debes observar a través de cualquier instrumento óptico es el Sol, pues la cantidad de luz que llegaría a tu retina es tan enorme que la quemaría en décimas de segundos.



PARA SABER MÁS

El telescopio



El anteojo “holandés”, también llamado de Galileo, fue construido por primera vez por H. Lippershey en 1608. Fue Galileo el primero en usarlo en 1609, para la observación de los cuerpos celestes, publicando luego los descubrimientos astronómicos realizados con dicho instrumento. El primer telescopio fabricado por Galileo tenía aproximadamente unos 6 aumentos, es decir, casi igual que los de unos prismáticos, aunque de peor calidad que éstos. Luego, construyó varios telescopios, todos refractores, el mayor de los cuales tenía unos 30 aumentos, lo que le permitió divisar dos pequeños puntos a ambos lados de Saturno. Esto le hizo pensar que eran dos pequeñas lunas que giraban alrededor del planeta; si no hubiera sido por la escasa potencia y por la baja calidad del instrumento empleado, se habría dado cuenta, que lo que observaba no eran satélites sino los anillos de Saturno. No fue hasta 1670 cuando en Cambridge, Inglaterra, Isaac Newton construyó un telescopio reflector (aunque no fue él quien lo inventó), utilizando un pequeño espejo cóncavo en lugar de una lente como objetivo. A diferencia del refractor, el observador mira por el lateral del tubo y no detrás de él, pero la sencillez del sistema permite que el diámetro del espejo sea bastante grande, lo cual hace que entre más luz y, por lo tanto, el telescopio tenga mayor poder de resolución. Después de estos dos tipos de telescopios aparecieron otros que son una mezcla de los anteriores, como son los “catadióptricos”, que tienen una lente objetivo delgada en la entrada del tubo y un espejo cóncavo al final del mismo. Este sistema permitió que la longitud del tubo se redujera considerablemente.

Determinación de la distancia a un astro sabiendo la distancia angular con que lo vemos: concepto de radián



Dada una circunferencia, se llama radián al ángulo que, formado por dos radios de ésta, abarca un arco de circunferencia de longitud igual al radio. Si llamamos S a la longitud del arco, R a la del radio y φ al ángulo expresado en radianes tendremos que si φ vale un radián $S=R$; si vale 2 radianes $S=2R$. En general: $S=\varphi$ (en radianes) $\times R$.

En la práctica, para ángulos no muy grandes se puede aplicar la anterior expresión, aunque R no sea un arco sino un trazo recto.

Equivalencia: Un ángulo de π radianes es igual a 180 grados.

- Calcula la distancia a la que estará Marte de la Tierra un día que lo ves con un ángulo de 13 segundos de arco.

Ayuda: Marte tiene un diámetro de 6 796 km.

- ¿Con qué ángulo verán nuestros amigos el sistema Tierra-Luna desde una distancia de 10 millones de kilómetros?

Ayuda: La distancia media Tierra-Luna es de 384 000 km.

- El Sol y la Luna presentan diámetros muy parecidos vistos desde la Tierra. Calcula la amplitud, en minutos de arco, con la que verás cada astro en un momento en que el Sol está a 151 000 000 de kilómetros y la Luna a 380 000.

Ayuda: Diámetro del Sol: 1 390 000 km. Diámetro de la Luna: 3 476 km.



Más sobre el átomo



Las partículas constituyentes del átomo son: el protón, que tiene carga eléctrica positiva; el electrón, con idéntica carga que el protón pero negativa, con lo que ambos se neutralizan; el neutrón, que carece de carga. Dos átomos del mismo elemento tienen igual número de protones. Por ejemplo, los átomos con un solo protón serán átomos de hidrógeno, los que tienen dos protones serán de helio, si tienen 26 protones serán de hierro, si tienen 79 serán de oro, etc. A este número que caracteriza cada elemento se le denomina número atómico. Los protones y los neutrones son los responsables de la masa de los átomos y por tanto, de la masa de cualquier cuerpo; se encuentran en un lugar muy pequeño del interior del átomo, llamado núcleo atómico. Los electrones de la corteza están distribuidos de forma difusa por el resto del átomo. Su masa se puede considerar despreciable y en un átomo su número es igual al de protones, con lo que resultan átomos neutros o sin carga aparente.

¿Cómo se mantienen unidos los protones, que tienen carga positiva, en el núcleo atómico?

La fuerza de origen eléctrico haría imposible la convivencia de los protones en el núcleo, ya que al tener cargas positivas se repelen. Pero en el dominio del núcleo atómico, 10^{-15}m , existen otras dos fuerzas: las nucleares fuerte y débil. Hay, por lo tanto, cuatro tipos de fuerzas en la Naturaleza: gravitatorias, electromagnéticas y nucleares fuerte y débil. Estas dos empiezan a manifestarse a distancias intranucleares, nunca a más de 10^{-15}metros . Cuando lo hacen predominan sobre las de origen eléctrico, manteniendo a los protones

y neutrones próximos en el interior del núcleo, siendo así las responsables de la estabilidad del átomo.



Ahora toca cine. Analiza los contenidos astronómicos o aeronáuticos que encuentres en alguna de las películas que se relacionan. En algún caso notarás fallos como, por ejemplo, que se escuchen explosiones en el espacio, algo que no puede ocurrir al no existir un medio que transporte el sonido, como es el aire. Enuncia alguna propuesta para mejorar la credibilidad de la película.

- La Guerra de las Galaxias.
- Star Trek.
- 2001: una odisea en el espacio.
- 2010: Odisea 2.
- Elegidos para la gloria (la carrera espacial).
- Apolo 13.
- Contact.
- Deep Impact.
- Armagedon.



Para tomar conciencia de las diferentes escalas en el Universo nada mejor que darse un paseo virtual por él mediante alguna de las muchas enciclopedias digitales que existen en formato CD-Rom. En internet es posible encontrar información similar de forma gratuita. Éstas son algunas direcciones de interés.

DIRECCIONES DE INTERÉS

Windows to the Universe.

<http://windows.ivv.nasa.gov>

Hands-on Universe.

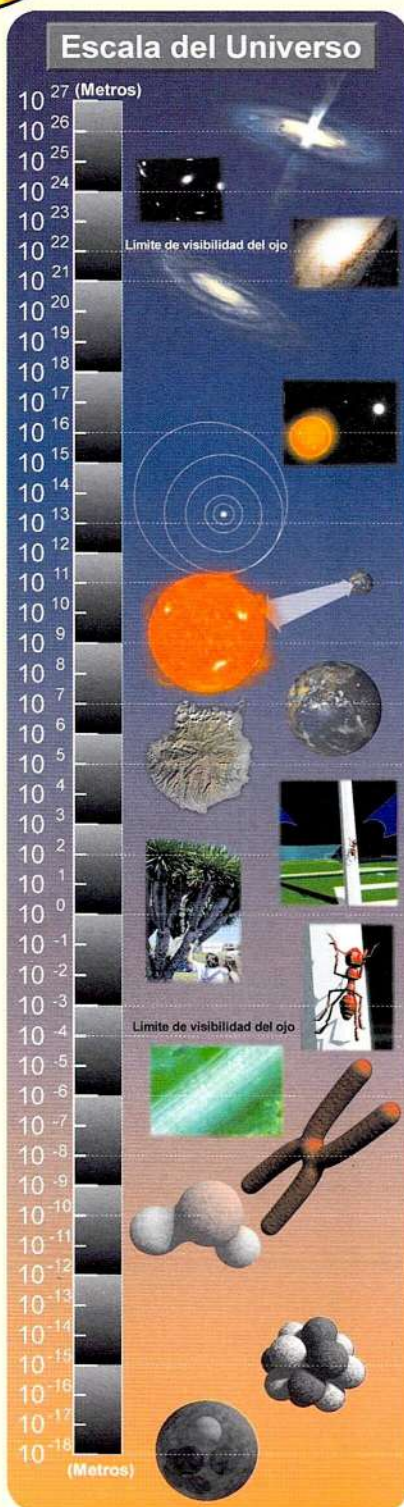
<http://hou.lbl.gov/>

La aventura de las partículas.

http://durpdg.dur.ac.uk/lbl/cpep/spanish/adventure_homes.html



AUTOEVALUACIÓN



Busca las palabras que correspondan a las figuras del esquema

E C E L U S O G R A N C A N A R I A P
L I O E V I C T L U C W J O N F O L E
W S Q E S S O U S Y B I A R G D U P N
E F M I G T C E A C E U A R S U N C U
S C E Z R E A L N T E S N Ñ T K I L C
G B R P L M J D E G A L A I R A D P L
T E A O B A O R I U F M U Z O S A D E
E Z M M S L U Q O S E R L M I D N O
C U M U L O D E G A L A X I A S A Ñ A
X V P I A L S O H T G L A J Z G S E T
B I R Y C A X O J I D R U E O F T F O
L A M A S R E S M E U N E N D C R H M
E C N P E U A R M A N Z A D A F O K I
V A J D I S O N A B E M T L Q L N F C
L Ñ L E R H G U R E U N A M A T O M O
P O R J R O Y C O H T I E R R A M E R
F L E Q K N M E R E V E N C Q T I T E
N U C L E O C E L U L A R P E A C O K
E Z A U P T S N D Z O R Y E B P A R O
S A L F A C E N T A U R I R S U N E S

Usando el esquema responde a estas preguntas

¿Cuántas veces es más grande Gran Canaria respecto a una manzana?

- a) 1000 b) 100 000 c) 1 000 000 d) 10 000 000

¿Y Gran Canaria respecto a la distancia al Sol?

- a) 1000 b) 10 000 c) 100 000 d) 1 000 000

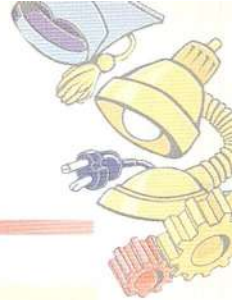
¿Y una hormiga respecto a un átomo?

- a) 10 b) 100 c) 1000 d) 10 000

Soluciones

La solución es un millón en todos los casos (resta los exponentes de las potencias).

E C E L U S O G R A N C A N A R I A P
L I O E V I C T L U C W J O N F O L E
W S Q E S S O U S Y B I A R G D U P N
E F M I G T C E A C E U A R S U N C U
S C E Z R E A L N T E S N Ñ T K I L C
G B R P L M J D E G A L A I R A D P L
T E A O B A O R I U F M U Z O S A D E
E Z M M S L U Q O S E R L M I D N O
C U M U L O D E G A L A X I A S A Ñ A
X V P I A L S O H T G L A J Z G S E T
B I R Y C A X O J I D R U E O F T F O
L A M A S R E S M E U N E N D C R H M
E C N P E U A R M A N Z A D A F O K I
V A J D I S O N A B E M T L Q L N F C
L Ñ L E R H G U R E U N A M A T O M O
P O R J R O Y C O H T I E R R A M E R
F L E Q K N M E R E V E N C Q T I T E
N U C L E O C E L U L A R P E A C O K
E Z A U P T S N D Z O R Y E B P A R O
S A L F A C E N T A U R I R S U N E S



- ¿Cuál es la diferencia esencial entre una estrella y un planeta?
- ¿Cómo distingues ambos al mirar el cielo?
- ¿Cuántos tipos de cuerpos celestes crees que se pueden ver? Nómbralos.
- ¿A qué cúmulo pertenece nuestra galaxia?
- ¿Qué es la materia interestelar?
- ¿Cuántos minutos luz se corresponden con 300 millones de kilómetros?
- ¿Cuántas Unidades Astronómicas (U.A.) son 0,5 años luz?
- Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año (aproximadamente 10 billones de kilómetros). La distancia de la Tierra a la Luna es:
 - a) 1500 Km.
 - b) 380.000 Km.
 - c) Un millón de kilómetros.
 - d) 1,2 años luz.
- La distancia Tierra - Sol es:
 - a) 200.000 Km.
 - b) Ciento cincuenta millones de kilómetros.
 - c) Medio año luz.
 - d) Veinte años luz.
- La estrella más próxima, sin contar el Sol, se halla a una distancia de:
 - a) Un millón de kilómetros.
 - b) 80.000 Km.
 - c) Cuatro años luz.
 - d) Diez mil años luz.
- El objeto más lejano que podemos apreciar a simple vista es la Galaxia de Andrómeda. Está a:
 - a) Diez millones de kilómetros.
 - b) 2,2 millones de años luz.
 - c) 5 años luz
 - d) 2.000 años luz
- El diámetro de nuestra galaxia es de:
 - a) Cien mil kilómetros.
 - b) Diez millones de kilómetros.
 - c) Cien años luz.
 - d) Cien mil años luz.

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:

Angström, átomo, cúmulo, electrón, elemento químico, galaxia, molécula, nebulosa, neutrón, plasma, protón, quark, quásar.

BIBLIOGRAFÍA

- ASIMOV, I., *El electrón es zurdo*, Madrid, Alianza, 1986.
MORRISON, P. y MORRISON, P., *Potencias del diez*, Barcelona, Labor, 1984.
DARWIN, Ch., *El Origen de las Especies*, Madrid, EDAF, 1980.
SAGAN, C., *Cosmos*, Barcelona, Planeta, 1983.



4



EL SISTEMA SOLAR I: EL SOL



Nacido, al igual que los planetas, en el torbellino originado a partir de una nube de gas y polvo, y dotado de una potente maquinaria termonuclear, el Sol nos proporciona la energía indispensable para que exista cualquier tipo de actividad. Bajo su tutela hemos evolucionado como planeta e infinidad de especies han desarrollado el mecanismo de la vida. Disfrútala...



La naturaleza del Sol permite que se produzcan determinados fenómenos en su interior que son posibles sólo en él y en sus homólogas, las estrellas. El Sol es, por lo tanto, una estrella más: la nuestra. En él se generan los rayos que calientan el Planeta, los que producen la fotosíntesis, los que dan color a las cosas y también los que te pueden dañar si abusas de ellos en la playa.

Como si estuviera sentado en un trono real, el Sol gobierna la familia de los planetas que giran alrededor de él.

*De revolutionibus orbium coelestium.
Nicolás Copérnico (1473 - 1533)*

¿Qué precauciones debes tomar para la observación del Sol?

¿A qué se deben las manchas solares? ¿Las has observado en alguna ocasión?

¿De qué materiales está hecho el Sol?

¿Cómo crees que se origina el fuego solar?

¿Sabes cómo se forma el color de las cosas?

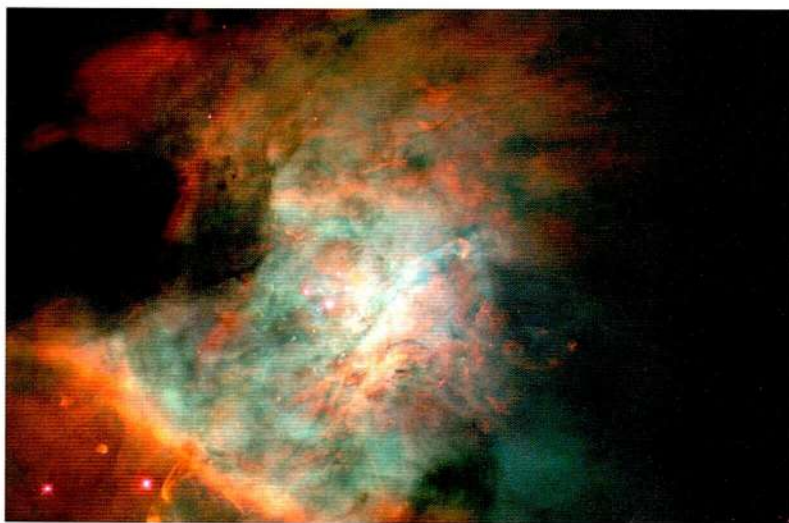
¿Por qué debes tomar precauciones al exponer tu cuerpo al Sol?

Origen del sistema solar

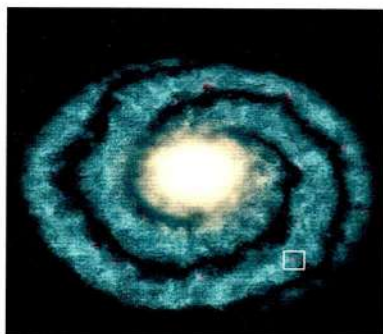


Nebulosa de la Laguna vista con un telescopio no profesional.

El sistema solar se originó hace algo menos de 5 000 millones de años en una nebulosa de este tipo.



En esta nebulosa se ha podido detectar el nacimiento de estrellas.



Nuestra galaxia y la posición relativa de la nebulosa primigenia.

La formación del Sol

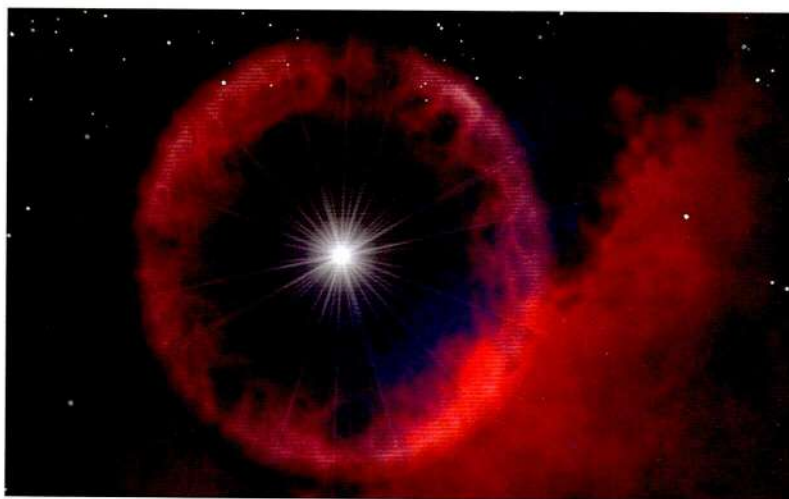
Hace unos 5 000 millones de años, la materia que ahora constituye el sistema solar se encontraba formando parte de una nebulosa de hidrógeno y polvo interestelar, que contenía también en menor proporción el resto de los elementos.

La nebulosa estaba situada en el brazo de una galaxia de doscientos mil millones de estrellas, que hoy denominamos Vía Láctea. Ésta es una de los cien mil millones de galaxias existentes en el Universo.

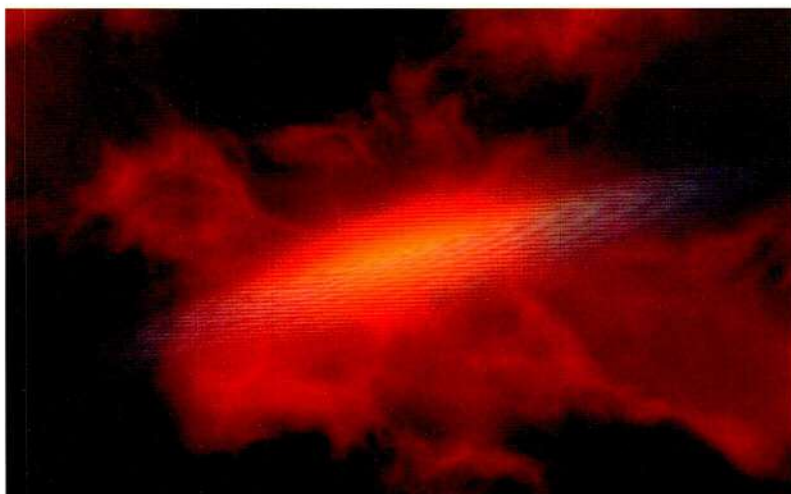
Esta nube de gas y polvo comenzó a condensarse por la acción de una fuerza externa que pudo ser causada por la onda de choque



La explosión que da lugar a una supernova produce un colosal desprendimiento de energía capaz de generar elementos químicos, incluidos los más pesados. Los restos de la explosión quedan distribuidos caóticamente por el espacio sirviendo de semilla para la posterior formación de nuevas generaciones estelares. Nuestro sistema solar se formó precisamente a partir de materiales así originados.



Onda de choque procedente de una supernova afectando a la nebulosa.



Una fase determinante en el proceso que originó el sistema solar, fue aquella en que la materia se distribuyó en forma de disco giratorio; un gigantesco torbellino a partir del cual se formaron los planetas, todos aproximadamente en el mismo plano y girando en el mismo sentido alrededor del Sol.

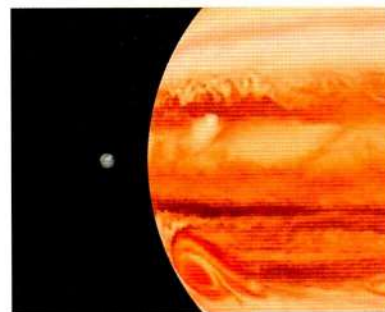
originada en la explosión de una supernova lejana. Ésta es al menos una hipótesis que se baraja en la actualidad. Muchos miles de años después, en la nebulosa se había formado un disco plano y giratorio que fue acumulando materia en su entorno por atracción gravitatoria y que a medida que se contraía aumentaba su velocidad de giro. La fuerza de atracción gravitatoria hizo que en su parte central aumentase mucho la cantidad de materia y se multiplicasen los choques entre las partículas. Con ello la presión y la temperatura llegaron a ser lo suficientemente elevadas como para que los núcleos del principal componente, el hidrógeno, comenzaran a unirse produciendo enormes cantidades de energía. Este proceso encendió un colosal horno termonuclear que, con el tiempo, originó una estrella a la que llamamos Sol.

La formación de los planetas

Los diferentes materiales que iban a dar origen a los planetas rocosos —Mercurio, Venus, la Tierra y Marte— y a los gigantes gaseosos —Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno— estaban situados aproximadamente en el plano del disco, siendo seleccionados de forma natural a determinadas distancias del Sol por la acción del calor, el viento solar, la gravedad, etc. En las proximidades del Sol se volatilizaron los materiales más ligeros, con lo que la naturaleza rocosa es dominante en los cuatro primeros planetas. Los planetas más alejados de la influencia del Sol adquirieron mayor tamaño y, con ello, mayor gravedad, por lo que retuvieron mejor los gases como el metano, el amoníaco, el nitrógeno y el agua.



El horno termonuclear que se formó hace más de 4 500 millones de años aún sigue encendido.



Mercurio es uno de los planetas rocosos; éstos son pequeños y densos. El viento solar barrió los gases de la superficie de estos planetas. Júpiter es uno de los planetas gaseosos; éstos son grandes y poseen una enorme envoltura gaseosa. La distancia con respecto al Sol impidió que el viento solar barrierá los gases de estos planetas y la gravedad facilitó su retención.



El hidrógeno, seguido a gran distancia por el helio, son los dos elementos más abundantes en el Sol. En la Tierra, sin embargo, estos elementos, en estado libre, son muy escasos. ¿A qué crees que se debe esta diferencia?



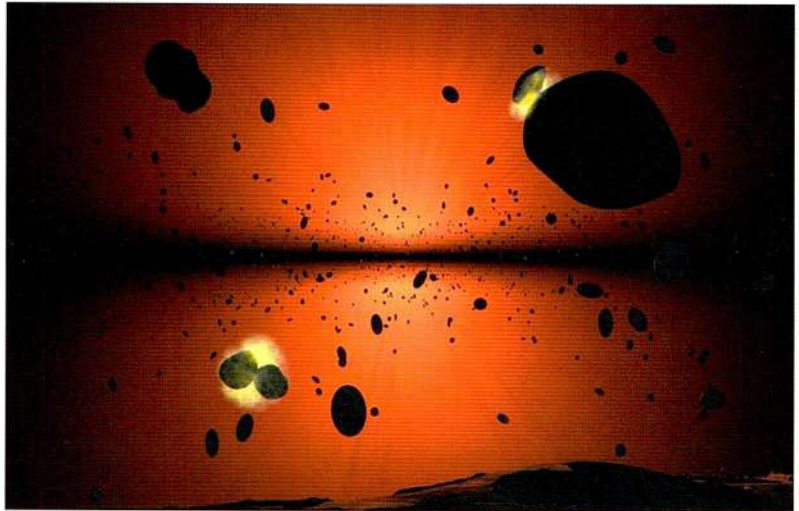
El viento solar está formado por partículas altamente energéticas, en su mayoría protones, que salen del Sol a gran velocidad.

Las sustancias sólidas mantienen unidas sus partículas (átomos o moléculas) por atracción entre cargas eléctricas de distinto signo. Al formar fragmentos con suficiente masa no son separados fácilmente del planeta al que pertenecen. Los gases, sin embargo, son sustancias que apenas presentan atracción eléctrica entre sus partículas; no se forman trozos de gas. La materia en estado gaseoso está constituida por átomos o moléculas individuales, manteniéndose unidos solamente a planetas que tengan suficiente gravedad.



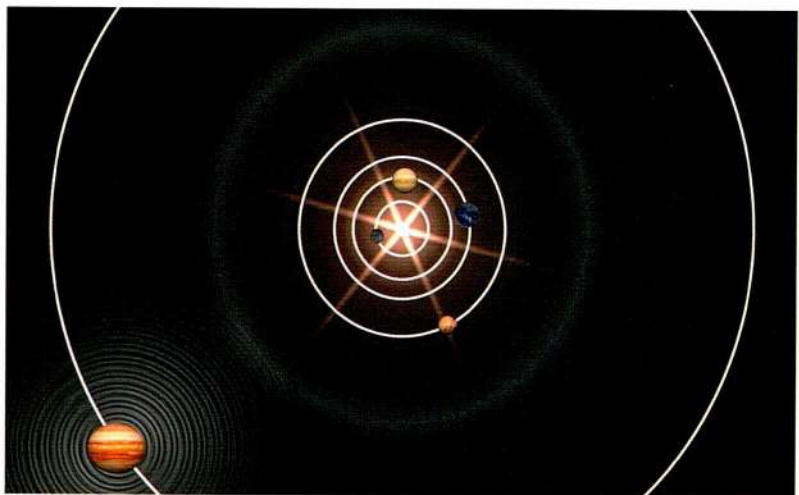
La masa de la Luna es 81 veces menor que la de la Tierra.
La Luna no tiene atmósfera y la Tierra sí.
• Intenta relacionar un hecho con el otro.

Durante un largo periodo, la historia del sistema solar estuvo marcada por catastróficas colisiones que fueron acrecentando el tamaño de los planetas y por la influencia del viento solar, que lo barrió de partículas interplanetarias.



Algunos fenómenos, aparentemente pavorosos, contribuyeron a generar las condiciones que han permitido el desarrollo de nuestro planeta.

En un cinturón comprendido entre las órbitas de Marte y Júpiter ocurrió un acontecimiento distinto. Probablemente el inmenso tirón gravitatorio de este gigante gaseoso impidió que las colisiones entre las partículas situadas en aquella zona originaran un planeta; el resultado fue una gran cantidad de fragmentos de diferentes tamaños que conocemos como cinturón de asteroides. Un planeta en proyecto quedó fragmentado.



La gravedad de Júpiter impidió la formación de un planeta.



En zonas muy alejadas del centro de la estrella en formación se supone que se acumuló materia helada en la que predomina el agua: es la denominada nube de Oort. De ella se cree que se separan fragmentos que son atraídos por el Sol y entran en órbita originando los populares cometas.

Situación del Sol en nuestra galaxia Desplazamiento solar



William Herschel (1738-1822), prusiano refugiado en Inglaterra, construyó un telescopio newtoniano de 15,75 centímetros de diámetro con el que, además de descubrir el planeta Urano en 1781, anunció, con bastante aproximación, la forma de la galaxia. Para ello eligió 683 pequeñas zonas del cielo y contó con su telescopio el número de estrellas de cada zona, encontrando que aumentaba su proporción a medida que la zona estaba más cerca del plano de la Vía Láctea. El número de estrellas por unidad de superficie se hacía mínimo en zonas perpendiculares a dicho plano. Con ello comprobó que la distribución estelar no tenía simetría esférica sino que era mucho más densa en el disco central. De ahí dedujo la forma de lenteja de la galaxia, dentro de la cual Herschel suponía que estaban todos los cuerpos celestes. Él estimó que la Vía Láctea contenía al menos 300 millones de estrellas y supuso que el Sol estaba situado en posición próxima a su centro.

La concepción que de sí mismo y de su posición había tenido el hombre en la Antigüedad fue siendo inexorable y progresivamente desplazada por la ciencia. El hombre se había considerado siempre eje de un Universo geocéntrico y antropocéntrico en el que se definía como la medida de todas las cosas.

Pero como ya sabes, Copérnico propuso un nuevo sistema no centrado en la Tierra sino en el Sol. Con él parecía tambalearse la verdadera importancia del hombre en el contexto del Cosmos. La Tierra era un planeta más; ni tan siquiera el mayor ni el más cercano al Sol. Para los astrónomos de los siglos XVII y XVIII, el Sol era el centro del Universo. Pero bueno, al fin y al cabo, el Sol es el que nos calienta y ese sí que es el centro de todo. Ésta parecía ser la conclusión de los que no se resignaban a perder la hegemonía universal. Pero tras la descripción de la galaxia hecha por Herschel en 1784, era evidente que no les quedaba ni ese consuelo. El Sol parecía no tener privilegio alguno en relación con los otros cientos de millones de estrellas de la Vía Láctea. Herschel comprobó además que el Sol no se encuentra en un punto fijo sino que se desplaza hacia la zona de Hércules, llevando con él a los planetas.

El viento solar es ahora menos relevante que durante la época de formación del sistema solar. Pero existe; prueba de ello son las auroras boreales y las tormentas magnéticas. Éstas interfieren las comunicaciones radioeléctricas.



Los descubrimientos de William Herschel constituyeron un gran avance en la concepción del Universo. No obstante, en la actualidad se estima que el número de estrellas de nuestra galaxia es próximo a doscientos mil millones y la distancia del Sol al centro galáctico es algo inferior a 30 000 años luz.



El centro galáctico no lo puedes ver; está detrás de una nube oscura, rodeada de una zona muy luminosa de la Vía Láctea que se aprecia muy bien durante las noches de verano en la región de Sagitario. Cuando veas la Vía Láctea o Camino de Santiago, apreciarás cómo parece rodearnos.



El Sol se desplaza a una velocidad de 19 kilómetros por segundo hacia un punto que denominamos ápex, situado en la constelación de Lira, próxima a la de Hércules.



Datos físicos solares de interés:

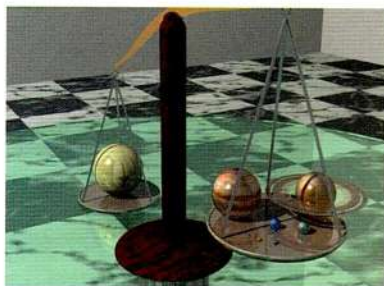
- Diámetro: 1 390 000 km.
- Masa: 2×10^{30} kg.
- Edad: Cuatro mil quinientos millones de años.
- Aceleración de la gravedad en la superficie: 276 m/s^2 .
- Temperatura en la superficie: $5\,800^\circ\text{K}$.
- Distancia al centro galáctico: 30 000 años luz, unos 3×10^{17} km.
- Periodo de traslación: 230 millones de años.
- Periodo de rotación: 27 días en el ecuador y 32 en los polos.



El Sol, una estrella madura y equilibrada. (Puesta de sol desde la Isla de Lobos).



Si representamos al Sol mediante un balón de basket, ¿qué objeto utilizarías para representar a la Tierra?



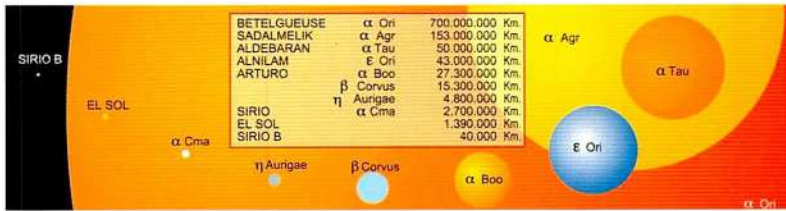
El Sol es el objeto que gobierna el conjunto denominado sistema solar, conteniendo aproximadamente el 98% de su masa total.

Situación y características generales

El Sol es una estrella como cualquiera de las que observas de noche pero, debido a su proximidad, la vemos millones de veces más brillante que ellas. Es la única estrella de nuestro sistema solar y la que nos proporciona la luz y el calor imprescindibles para la vida en la Tierra.

Está situado en uno de los brazos espirales de la Vía Láctea, a casi 30 000 años luz del centro de la Galaxia, alrededor del cual da una vuelta cada 230 millones de años en compañía del resto del sistema solar. Dista de nosotros unos 150 millones de km, lo que significa que su luz tarda en llegarnos algo más de 8 minutos. Tiene un diámetro de 1 390 000 km, 109 veces el diámetro de la Tierra. Dentro del Sol cabrían más de un millón de planetas como el nuestro y si pudieras colocarte en su superficie pesarías casi 2 000 kg, pues su gravedad es 28 veces superior a la existente en la Tierra. En comparación con otras estrellas, no es grande ni destaca por su brillo. Se encuentra, además, en la mitad de su vida.

Nuestra estrella, al igual que muchos cuerpos del sistema solar, gira sobre sí misma pero debido a que tiene naturaleza fluida la rotación no se efectúa de manera uniforme. Cualquier punto de la superficie próximo al ecuador solar tarda 27 días en dar una vuelta y más de 30 en las proximidades de los polos.

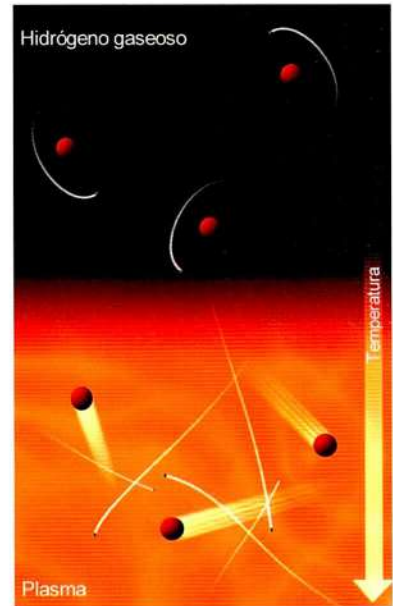


Tamaños relativos del Sol y las estrellas que se indican.

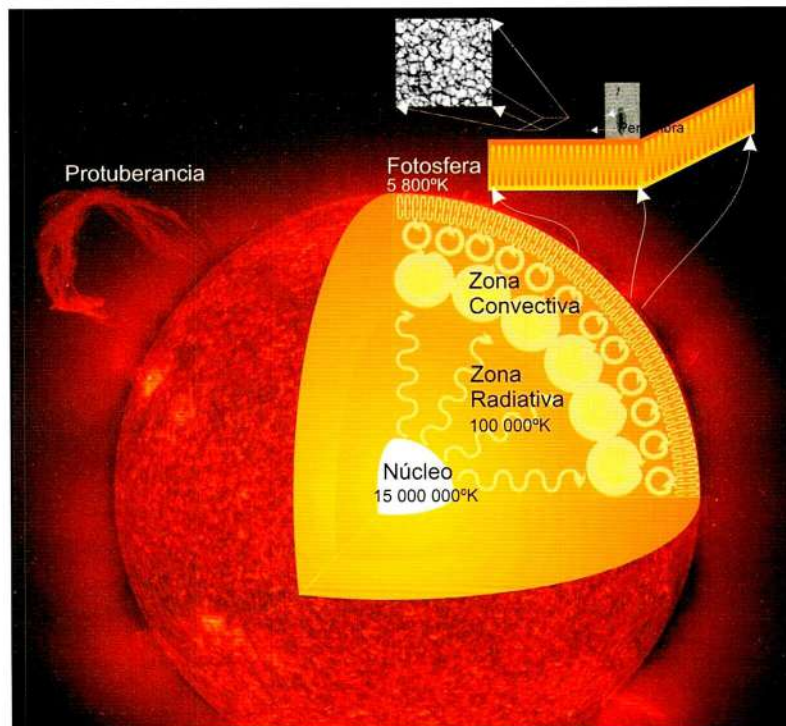
La materia se encuentra en el Sol en forma de plasma, que es considerado un cuarto estado de agregación. Es el estado en que se presenta la materia a temperaturas muy elevadas. En el plasma, los electrones están separados de los átomos, formando una especie de sopa en la que coexisten iones positivos y electrones con átomos y algunas moléculas neutras. En la Tierra no se encuentra este estado de plasma por carecer de temperatura suficiente, pero es muy abundante en el Universo.

El hidrógeno es el elemento más abundante en el Sol. El 92,1% de los átomos que lo constituyen son de hidrógeno. El 7,8% son átomos de helio y el 0,1% de los átomos del Sol corresponden al resto de los elementos.

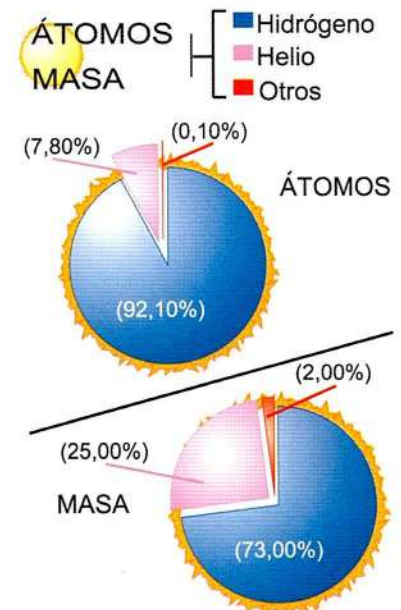
El porcentaje en masa es: hidrógeno, 73%; helio, 25%; otros elementos, 2%.



El plasma es denominado cuarto estado, siendo muy abundante en el Universo pues en ese estado se encuentra la materia estelar.



Las diferentes capas del Sol.



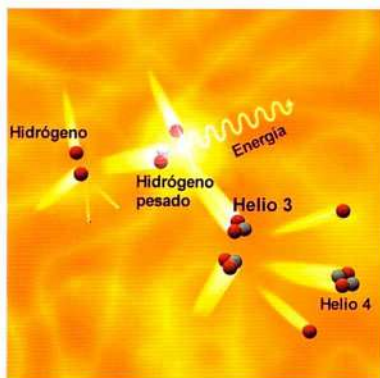
En el Sol se encuentra la mayoría de los elementos químicos. El porcentaje en masa de los diferentes elementos no es el mismo que el porcentaje numérico de sus átomos, ya que la masa del átomo de hidrógeno es 4 veces menor que la del helio y muy inferior a la del resto de los elementos.



Para que se produzca la fusión nuclear son necesarias altísimas temperaturas y presiones que obliguen a unirse a los núcleos de hidrógeno.

- ¿En qué lugares del Universo estimas que se reúnen las condiciones para que se produzcan?

- ¿Se origina de forma espontánea el proceso de fusión en alguna zona de la Tierra?



En el Sol el hidrógeno se transforma en helio en tres etapas. La energía se produce en la segunda.



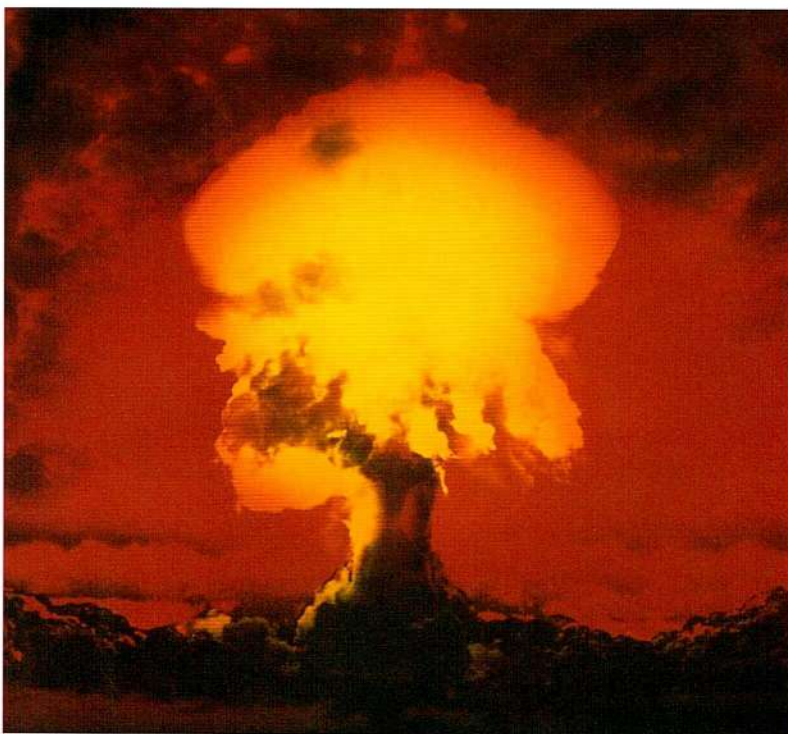
En la actualidad, la Física trabaja para obtener la fusión fría, proceso controlado y no contaminante que podría resolver el problema energético en la Tierra. Todo apunta a que estará disponible en unas décadas. ¿Lo lograremos?



En la combustión de 160 000 bombonas de gas butano de uso doméstico se produce una pérdida de masa equivalente a un gramo.

El Sol como fuente de energía: el interior del Sol

El mecanismo de producción de energía en el Sol se debe a una serie de reacciones que se producen en su interior. En su zona central la temperatura llega hasta los 15 millones de grados y la presión es más de cien mil millones de veces mayor que la de nuestra atmósfera. Esta zona es llamada *núcleo solar*; su radio es igual a la cuarta parte del radio del Sol. En el plasma que forma el núcleo solar no hay átomos neutros sino núcleos atómicos, mayoritariamente de hidrógeno. En él se dan las condiciones de presión y temperatura necesarias para que se produzca la fusión nuclear, proceso cuyo resultado final es la formación de un núcleo de helio por cada cuatro de hidrógeno.



El hombre ha reproducido el esquema del mecanismo de fusión solar construyendo la destructiva bomba de hidrógeno.

La síntesis de helio va acompañada de una pérdida de masa que se transforma en energía, según la ecuación de Einstein $E=mc^2$.

Actualmente el Sol convierte unos 630 millones de toneladas de hidrógeno en helio en cada segundo, de las que 4,5 millones de toneladas se transforman en energía.

Los fotones o paquetes de energía que se generan en la reacción de fusión nuclear se propagan a la velocidad de 300 000 km por segundo. Estas partículas sufren continuos cambios de dirección al



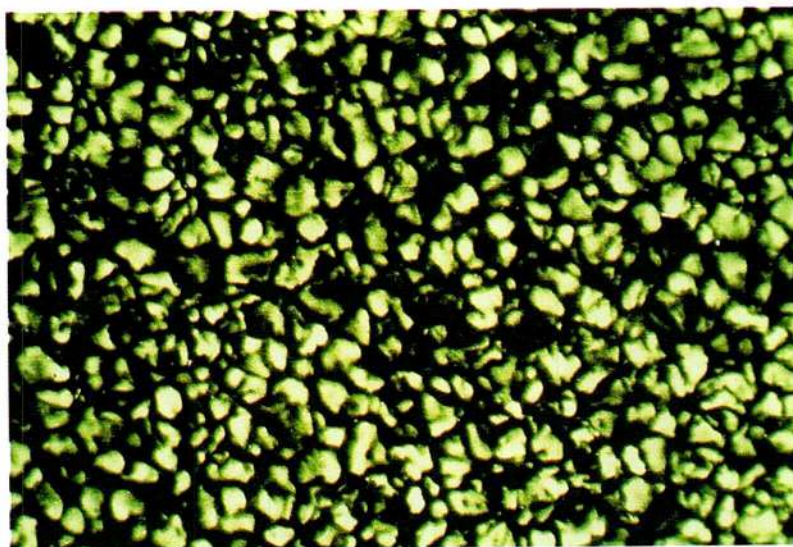
interactuar con la densa materia del interior solar en procesos de absorción y reemisión de energía. Un fotón, a pesar de su altísima velocidad de propagación, tarda varios millones de años en recorrer el radio del Sol hasta salir del mismo. Esta forma de difusión se denomina transporte de energía por radiación, y la región del Sol donde se produce se llama **zona radiativa**. Otro medio de transporte de energía que tiene lugar en el Sol es el de convección, el cual se produce en la parte más externa del mismo, hasta unos 130 000 kilómetros de la superficie, en la denominada **zona convectiva**.

El Sol, al igual que las demás estrellas, tiene un volumen que viene determinado por el equilibrio entre dos fuerzas: una es de origen gravitatorio, dirigida hacia el interior, que lo hace contraerse; la otra es expansiva, originada por la enorme presión gaseosa y por la presión de la radiación nuclear. Como consecuencia, adquiere el volumen apropiado para que ambas sean iguales.

La atmósfera solar: fotosfera, cromosfera y corona.

Podemos dividir en tres partes la atmósfera del Sol: la fotosfera, la cromosfera y la corona solar.

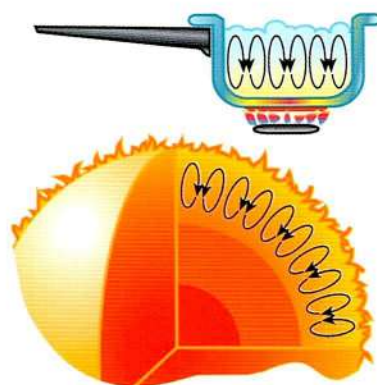
La fotosfera o esfera de luz tiene un espesor de unos 100 km. Posee una temperatura de unos $5\,800^{\circ}\text{K}$ y se presenta cubierta de pequeños gránulos o células convectivas. Éstas son burbujas calientes que ascienden y tienen un tamaño cercano a los 1 500 km (más grandes que la Península) y una vida de unos 8 minutos.



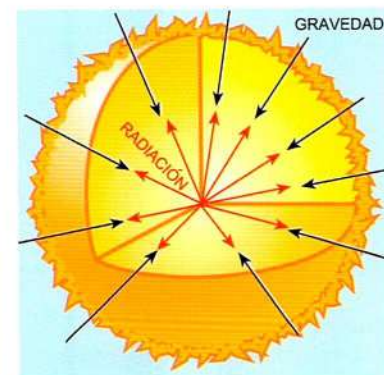
La granulación solar consiste en burbujas de material caliente que asciende por la zona central, se enfría irradiando su calor y se extiende horizontalmente. El material más frío desciende de nuevo por los espacios intergranulares oscuros, completando los movimientos cíclicos característicos de la convección.



Los fotones generados en el interior del Sol tardan más de un millón de años en salir a la superficie.



En la zona de convección el transporte de energía se produce de forma similar a como ocurre cuando calentamos un caldero de agua; las burbujas, más calientes, ascienden hasta la superficie y se enfrían desplazando a las más frías, las cuales bajan y se calientan, volviéndose a repetir el proceso.



El volumen del Sol viene determinado como consecuencia del equilibrio entre la fuerza expansiva de la reacción nuclear y la atractiva de la gravedad.



La fotosfera es la parte del Sol visible para el ojo humano. Desde la Antigüedad se creía que el Sol era una esfera perfecta, pura e inmaculada, pero sólo tienes que dar un vistazo a su superficie, con las debidas precauciones para la vista, y comprobarás que presenta determinados rasgos. Los detalles más fáciles de observar en la fotosfera son las manchas solares.



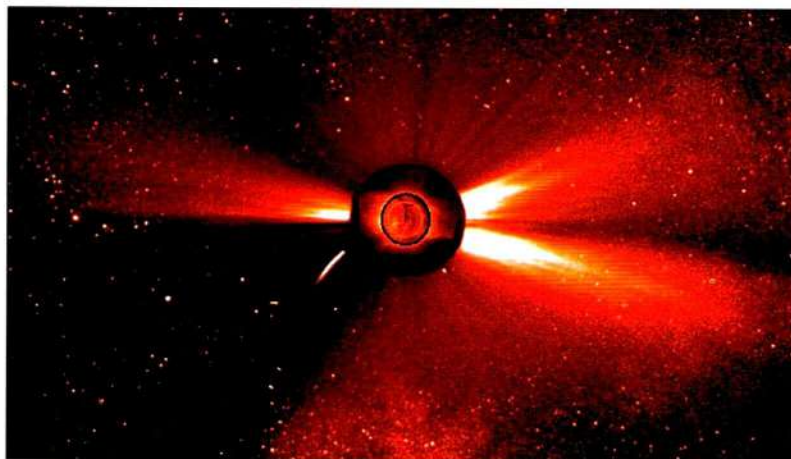
¿Qué tiempo tardarían en llegar a la superficie solar las radiaciones que se producen en el núcleo si no hubiera choques?



Las erupciones solares son las causantes de que se produzcan las auroras boreales y australes, dan lugar a interferencias en las telecomunicaciones al ionizar excesivamente la atmósfera y originan en parte el viento solar.



Nunca debes observar directamente el Sol, y mucho menos con prismáticos o telescopio. La observación del Sol entraña graves riesgos para la visión si no se toman precauciones. La forma más simple de hacerlo es proyectar la imagen que da el telescopio o los prismáticos sobre un folio.



La atmósfera solar consta de fotosfera, cromosfera y corona.

La cromosfera o esfera de color está por encima de la fotosfera; debe su nombre al tono rojizo que presenta cuando la podemos ver poco antes o después de un eclipse total de Sol. Es una capa muy transparente y poco densa, con una anchura de sólo 8 000 km, en donde la temperatura aumenta hacia el exterior hasta llegar a los 10 000° K. En la cromosfera se producen llamaradas que se curvan y vuelven a caer a la superficie del Sol: son las protuberancias solares, enormes nubes incandescentes de hidrógeno.

La **corona** es la envoltura más externa del Sol. Tiene muy poca luminosidad, equivalente a la mitad del brillo de la Luna llena; resulta inobservable en el cielo diurno. Sólo en el caso de un eclipse total de Sol se hace visible la corona, extendiéndose hasta 17

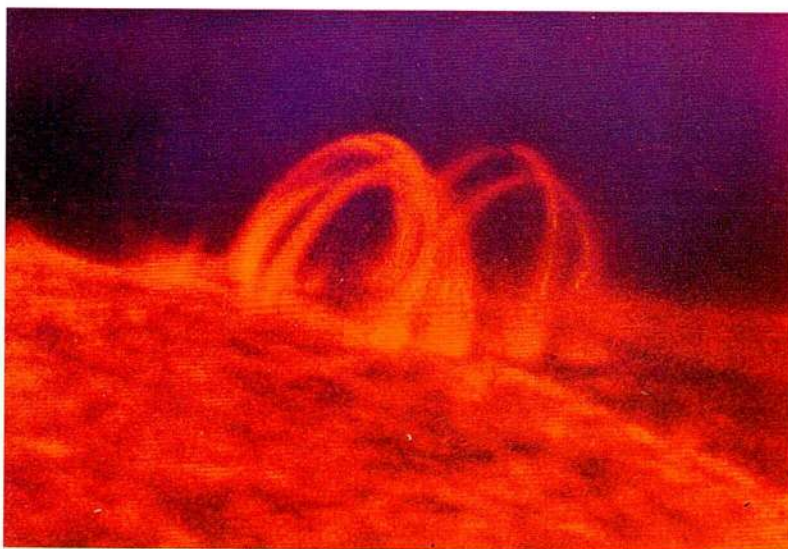
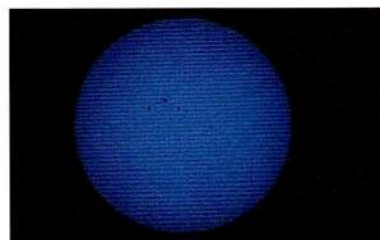
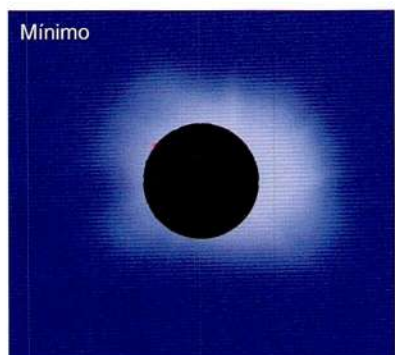


Imagen de las protuberancias solares, observadas empleando un filtro $H\alpha$



Grupo de manchas solares y fáculas fotografiadas a través de un filtro mylar con un telescopio de uso no profesional.

La forma de la corona depende estrechamente de la actividad en el Sol. Durante el mínimo de actividad tiene una distribución homogénea, mientras en el máximo muestra irregularidades, con largos haces en el ecuador solar y cortos en los polos.

millones de km del borde solar aunque, por supuesto con un brillo cada vez menor.

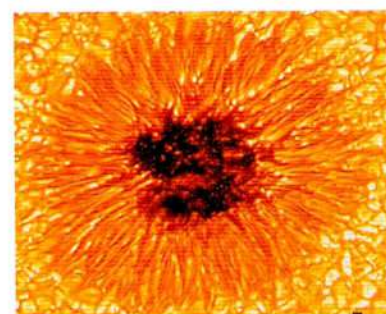
Las manchas solares y el ciclo de actividad

Si observas el Sol, manteniendo las debidas precauciones, verás la fotosfera, que generalmente presenta unas zonas oscuras: son las manchas solares. En realidad esas manchas son brillantes pero están a una temperatura inferior que el resto de la fotosfera por lo que, por contraste, parecen mucho más oscuras que ella. Surgen como pequeños poros, y luego crecen hasta alcanzar tamaños relativamente grandes (mayores que la Tierra). Se pueden distinguir dos regiones en las manchas mayores: una central, más oscura, llamada umbra, con una temperatura de unos $4\,300^{\circ}\text{K}$, y otra más clara rodeándola, que se denomina penumbra; en ella, la temperatura es de unos $5\,500^{\circ}\text{K}$.

El número de manchas que se observan en el Sol es variable. Se llama ciclo solar al periodo de unos once años que separa dos estados consecutivos de máxima actividad. Las manchas aparecen frecuentemente en grupos. Las primeras que se observan después de un mínimo de actividad están situadas en latitudes solares elevadas, es decir, alejadas del ecuador del Sol. A medida que el ciclo va transcurriendo, las manchas aparecen en latitudes cada vez más bajas, hasta que llegan a formarse en el ecuador durante el máximo del ciclo solar.

Sin necesidad de grandes medios ópticos se pueden apreciar también unas regiones resplandecientes de la fotosfera llamadas fáculas. Éstas aparecen formadas por gránulos brillantes y en zonas donde ha habido, o van a formarse, manchas solares. Las fáculas se distinguen mejor cuando están próximas al borde del disco solar. Su temperatura es $2\,250$ grados más elevada que la de la fotosfera no afectada.

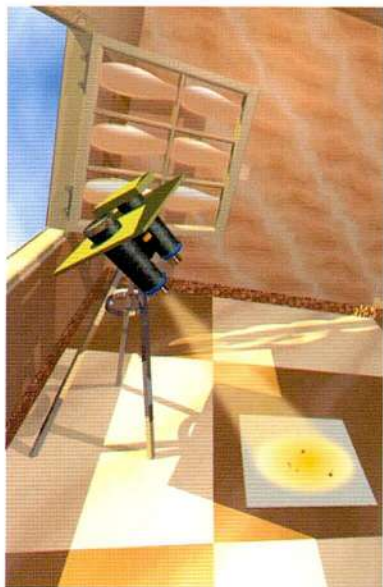
Las manchas solares se deben a campos magnéticos originados por corrientes convectivas de plasma cargado eléctricamente.



Mancha solar obtenida con el telescopio sueco del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). Las manchas presentan una región central oscura, denominada "umbra", y una zona más clara que la rodea llamada "penumbra".



Las manchas solares desaparecieron durante el periodo comprendido entre 1645 y 1715. Durante ese tiempo, conocido como pequeña edad del hielo, las temperaturas bajaron en Europa.



¿Cómo debes observar el Sol?

¡Con mucho ojo! Y nunca mejor dicho, porque está en juego tu vista, ya que si lo observas directamente corres el grave riesgo de quemarte la retina. La forma más sencilla y menos arriesgada de observar la fotosfera solar con un telescopio o unos prismáticos es la denominada a proyección: consiste en hacer pasar la luz del Sol por un telescopio refractor o por unos prismáticos apoyados en un trípode. Al apuntarlo hacia el Sol nunca lo harás mirando directamente a través del telescopio, sino guiándote por su sombra. Los rayos solares deben entrar por el objetivo y salir por el ocular. Coloca un papel blanco frente a éste, regula el enfoque y aparecerá en el papel el disco solar bien definido y las imágenes nítidas de las manchas solares, si es que las hay en ese momento.



Las manchas fueron observadas por los astrónomos chinos hace unos dos mil años, pero no fueron registradas en Occidente hasta comienzos del siglo XVII. En 1611, el padre Scheiner, jesuita que utilizaba el seudónimo de Apeles, observó las manchas del Sol. Se atribuyó su descubrimiento y llegó a la errónea conclusión de que se trataba de estrellas que se desplazan por delante del Sol. Esto irritó a Galileo, pues para él constituían una manifestación de la atmósfera solar desde que las había observado ya en 1609. La polémica entre el padre Apeles y Galileo fue larga y perjudicó posteriormente a éste durante el proceso que le abrió la Inquisición y que culminó con su arresto de por vida. Galileo sabía que el descubrimiento de las manchas solares, al igual que el de las montañas de la Luna, no iba a ser bien recibido por la Iglesia, defensora de la incorruptibilidad del cielo. Según sus propias palabras: *Creo que la tempestad sobre las montañas de la Luna parecerá una broma comparada con los ataques que recibiré por estas nubes solares.*



Observaciones iniciales de la fotosfera solar

A lo largo del curso ha ido aumentando tu curiosidad por las estrellas. ¿Te gustaría ver algo de lo que ocurre en una de ellas? Sí, pero están muy lejos, pensarás. Sin embargo, tenemos una muy cerca que nos deja observar los detalles de su superficie. No desaproveches esta oportunidad.

¿Qué puedes observar? La zona del Sol que podemos ver directamente desde la Tierra es la fotosfera, una capa gaseosa. Sin necesidad de un gran telescopio puedes observar las manchas solares con su umbra, su penumbra y las fáculas.

Trata de observarlo durante varios días, cinco por ejemplo. No es imprescindible que sean consecutivos.

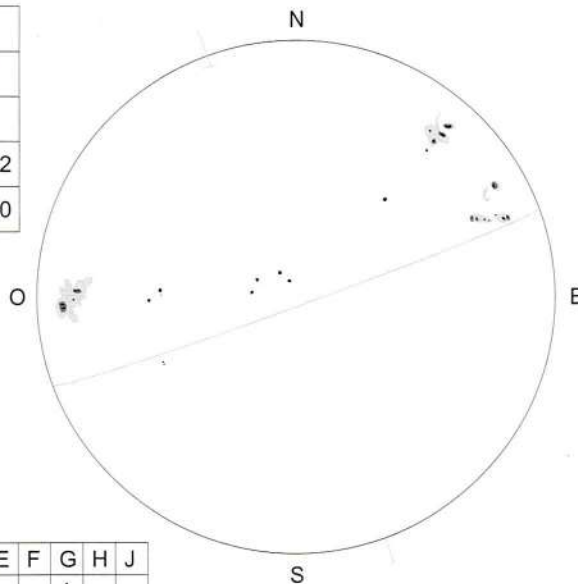
Cada día debes hacer en tu cuaderno de campo un dibujo y anotaciones en las que se registren el número de manchas solares existentes, su distribución en grupos, si aparecen parejas de manchas, su posición en el Sol y si se aprecian fáculas. Haz un comentario al final en el que indiques cómo han evolucionado durante esos días.

Determinación del periodo de rotación solar

Un día en que observes un grupo compacto de manchas puedes proponerte calcular el tiempo que tarda en dar una vuelta completa alrededor del Sol. Un grupo grande de manchas suele



Focos:	
Grupos:	
Wolf:	
ROT. NUN.	1862
ROT. NUN.	20



A	B	C	D	E	F	G	H	J
2	1	1	3			1		

Realiza un dibujo cada día de observación haciendo anotaciones de este tipo.

tener una vida larga y reaparecer tras pasar por la parte trasera de la superficie solar. Si repites la operación, en otra oportunidad podrás comprobar que la duración es parecida pero no igual. Al tener naturaleza fluida, la superficie del Sol gira más rápido en el ecuador.

Determinación del número de Wolf

Una forma de medir la actividad del Sol consiste en determinar el número de Wolf de forma periódica. Los datos relativos al número de Wolf son muy importantes para comprender los ciclos de actividad solar y la influencia que pueden tener tanto en nuestro clima como en las comunicaciones radioeléctricas. Su expresión es: $R = k (10 \times G + F)$, donde R es el número de Wolf, G es el número de grupos de manchas observados, F el número de focos individuales y k es un factor de corrección que suele tener valor uno y sólo se utiliza cuando se quieren comparar las observaciones realizadas en condiciones diferentes, esto es, con distintos telescopios o diferentes condiciones climáticas.

Ejemplo: Si ves tres grupos de manchas ($G = 3$), uno con tres focos, otro con dos y el tercero constituido por un solo foco, F será 6, y el cálculo del valor de R será; $R = 10 \times 3 + 6 = 36$. Con tus observaciones, puedes elaborar una tabla de resultados similar a la que aparece en **Para saber más.**

Trata de determinar cuál es el número de Wolf correspondiente al dibujo.

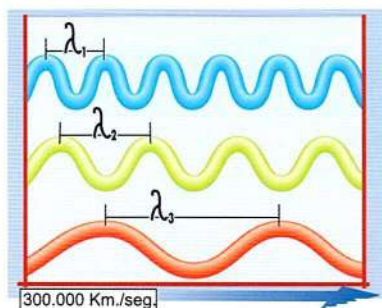


También se pueden observar y fotografiar las manchas solares usando un filtro que se coloca en el objetivo del telescopio. Es de un tejido especial denominado mylar y deja atravesar una fracción mínima de la radiación solar.

Existe otro tipo de filtro que se sitúa en el ocular pero su uso no es recomendable, porque cuando los rayos llegan a él, ya han atravesado la óptica del telescopio y el calor puede hacerlo estallar con lo que los rayos llegarían hasta tu ojo.



Las ondas electromagnéticas deben su nombre a que llevan asociados un campo eléctrico y otro magnético, perpendiculares entre sí, y al sentido de la propagación.



Representación sinusoidal de las ondas electromagnéticas. Una característica esencial de las ondas electromagnéticas es su longitud λ , distancia entre dos puntos simétricos consecutivos.



Imaginate tres personas de diferente estatura que recorran la longitud de una habitación de diez metros en el mismo tiempo, un segundo. Las **longitudes del paso** de cada una son: la primera 1 metro, la segunda de 0,5 metros y la tercera de 25 centímetros. Todas se desplazan a la misma **velocidad**, pero la tercera tendrá que dar más pasos que la segunda para cubrir la misma distancia y ésta más que la primera. La **frecuencia** o número de pasos por segundo será inversamente proporcional a la longitud de paso.

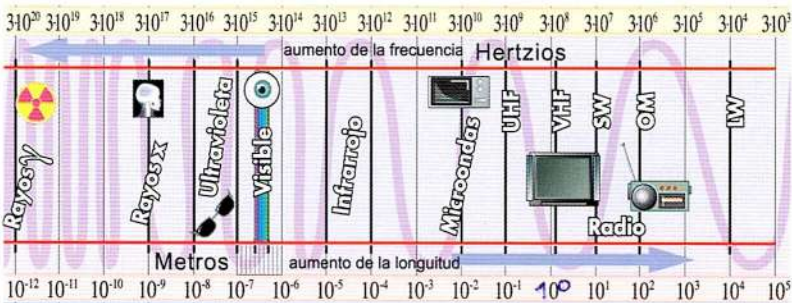
- Calcula la frecuencia o número de pasos por segundo de cada uno y enuncia en forma de ecuación la relación entre velocidad, longitud de paso y frecuencia.

Ondas electromagnéticas

La luz del día nos envía información acerca de la forma y las características de los objetos tras incidir y rebotar en ellos. Ésta se origina en el núcleo solar y está constituida por fotones o paquetes de energía que se propagan en línea recta a una velocidad de 300 000 kilómetros por segundo, poniéndose de manifiesto al interactuar con la materia.

Estos veloces paquetes de energía que manifiestan una naturaleza ondulatoria son denominados **ondas electromagnéticas** y se originan de forma masiva en el núcleo solar. A diferencia de otras ondas como las del sonido, éstas no precisan de un medio material para transmitirse; lo pueden hacer en el vacío, por lo que las ondas procedentes de las estrellas y demás cuerpos celestes se propagan sin dificultad en el medio interestelar. Todas las ondas se desplazan con la misma velocidad en el vacío, 3×10^8 metros por segundo, pero no todas tienen la misma longitud.

La longitud de onda λ , distancia entre dos crestas o dos valles, es una característica esencial de las ondas electromagnéticas. La frecuencia ν , o número de ciclos u ondas por segundo está relacionada con la longitud de onda. Ambas son inversamente proporcionales. La primera se mide en unidades de longitud y la segunda, en hercios o segundos⁻¹. El producto de las dos debe ser igual a **c**, la velocidad de la luz: $\lambda \text{ (m)} \times \nu \text{ (seg}^{-1}\text{)} = c \text{ (m/seg)}$.



Los diferentes tipos de ondas según su longitud. Los fotones de la zona visible tienen longitudes comprendidas entre 3 950 y 7 500 Å. Un sólido incandescente también emite las ondas correspondientes al espectro visible.

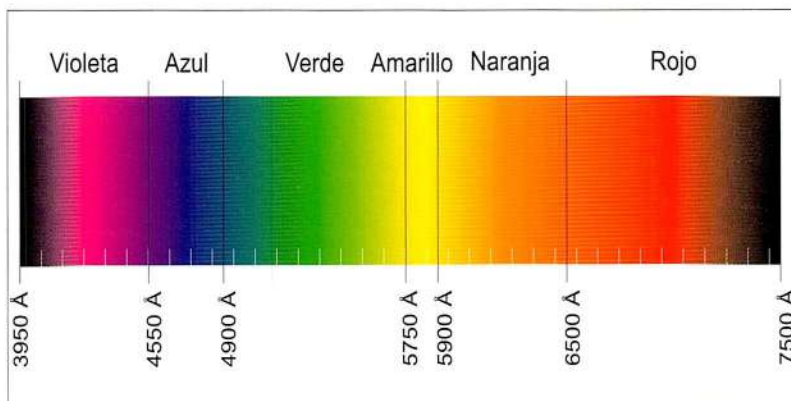
Las radiaciones que se generan en la reacción de fusión nuclear sufren continuos choques. Así, los rayos γ se van transformando, mediante procesos de absorción y reemisión de energía, en rayos X, en rayos ultravioleta y posteriormente en radiación visible.

El color de los cuerpos

Nuestros fotorreceptores, conos y bastones, son células de la retina especializadas en absorber determinadas ondas. Éstos transmi-

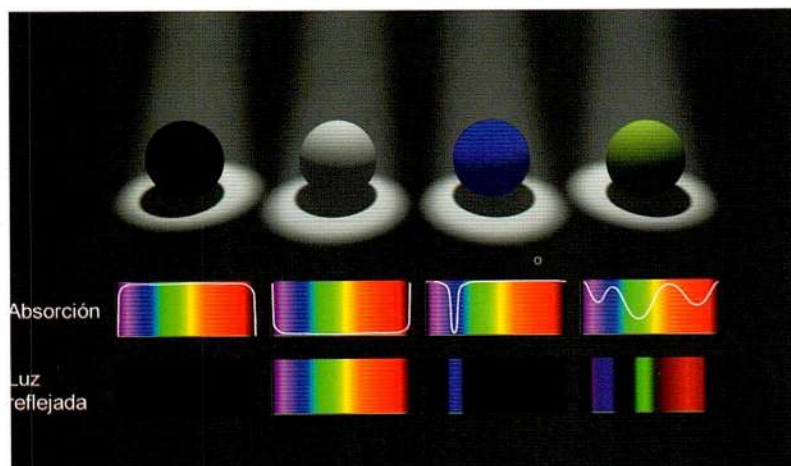


ten al cerebro su información mediante impulsos que son traducidos en forma de color. Ellos sólo transforman en impulsos visibles las ondas que les llegan con longitud comprendida entre $3\,950\text{ \AA}$ y $7\,500\text{ \AA}$, y que constituyen el denominado espectro visible.



Nuestra vista sólo traduce a sensaciones ópticas las ondas comprendidas entre 3950 y 7000 angströms.

Un cuerpo iluminado con luz visible puede absorber determinadas radiaciones y reflejar otras. Según su naturaleza puede ocurrir que la superficie del cuerpo absorba todas las ondas y no refleje ninguna. Por lo tanto, tendremos la sensación óptica de ausencia de color y lo veremos negro. En cambio, lo percibiremos de color blanco si el cuerpo refleja todas las radiaciones visibles que le llegan. Si absorbe todas salvo una determinada radiación, veremos el objeto del color correspondiente a los fotones reflejados. Por último, si el cuerpo absorbe diversas longitudes de onda, el caso es más complejo y el color será el resultante de las reflejadas.



El color de un objeto depende de la naturaleza química de su superficie, pudiendo reflejar de forma total o parcial los fotones que le llegan.

Las radiaciones de menor longitud de onda son las que portan mayor cantidad de energía y las más penetrantes, siendo peligrosas para los seres vivos.

A partir de la longitud de los rayos UVA en adelante (visible, infrarrojo, ondas de radio) son cualitativamente inofensivas.



Calcula la longitud de onda de tu emisora favorita.

Ayuda: Si la emisora es de FM, la frecuencia vendrá dada en megaherzios (MHz) y si es de onda media (AM) en kiloherzios (KHz).



Cada color está asociado con una gama de longitudes de onda. Por ejemplo, dos naranjas que reflejen longitudes de onda de $6\,230$ y $6\,250\text{ \AA}$ tendrán diferente tonalidad.

- ¿Sabes qué color tendrían en el interior de una cueva profunda?
- ¿Podrías escuchar la radio en ella?
- Trata de buscar una explicación común.

El mecanismo fisiológico de la visión humana se activa cuando llegan a nuestra retina ondas cuya frecuencia está comprendida entre 400 billones y 760 billones de ciclos por segundo, traduciéndose en nuestro cerebro en sensaciones ópticas, color rojo en el primer caso y violeta en el segundo. Ondas de otra frecuencia podrán dañar el ojo, pero no serán visibles.



Las células de la retina denominadas conos son fotorreceptores especializados en el color.



El arco iris se produce cuando la luz solar se descompone al atravesar un medio transparente como el agua, que tiene mayor índice de refracción que el aire.



Seguro que también has visto la descomposición de la luz al ducharte en la playa a pleno sol. ¿A qué crees que se debe?

Cuanto más lenta sea la propagación de la luz en un medio mayor será su índice de refracción.

Se da a continuación la velocidad de propagación de la luz amarilla, expresada en km/seg, en diferentes medios.

Calcula el índice de refracción n en cada uno de ellos:

vacío 299 793 ; $n =$

aire 299 700 ; $n =$

agua 225 000 ; $n =$

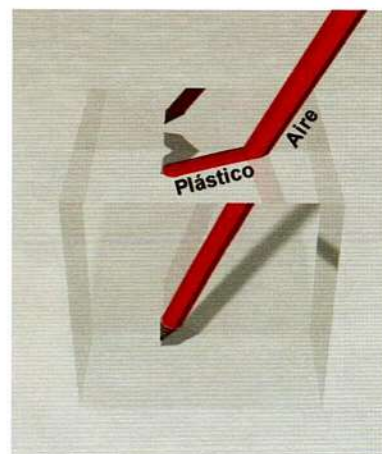
vidrio 199 000 ; $n =$

diamante 124 481 ; $n =$

Refracción y dispersión de la luz

En muchas ocasiones habrás visto el arco iris, fenómeno que se produce de forma natural cuando la luz solar pasa a través de las gotas de agua de la lluvia.

La velocidad con que la luz se propaga en el vacío y en el aire es muy parecida pero en otros medios transparentes, como el agua o el vidrio, lo hace a menor velocidad. Se llama índice de refracción de un medio transparente al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío c y la velocidad v de la luz en ese medio: $n = c/v$. Al entrar la luz en el agua o en el vidrio, además de disminuir su velocidad de propagación, su trayectoria se desvía un determinado ángulo, es decir, se refracta. Cuanto más disminuye la velocidad tanto mayor será la desviación.



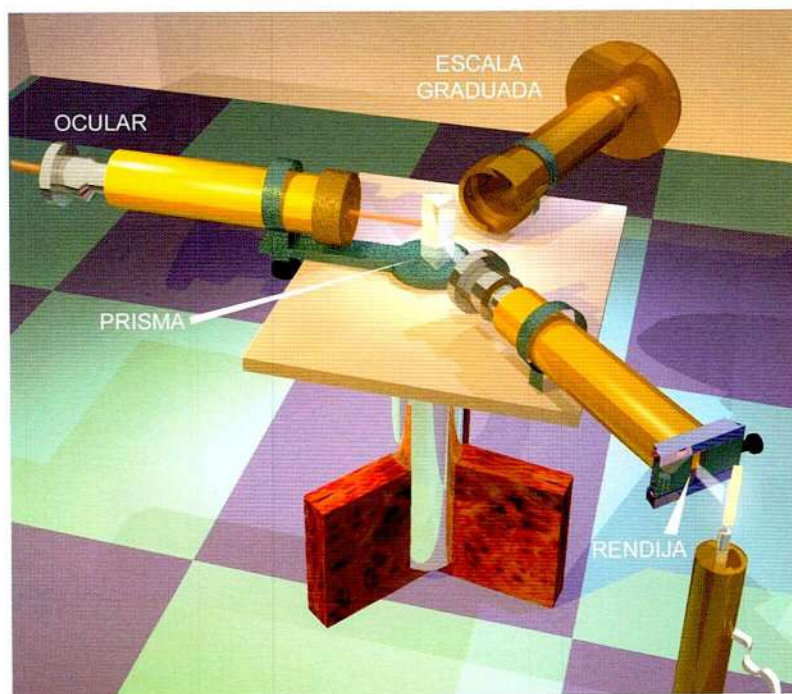
Al pasar la luz de un medio de menor índice de refracción, por ejemplo el aire, a otro de mayor índice, como el agua o el vidrio, su trayectoria sufre una desviación.



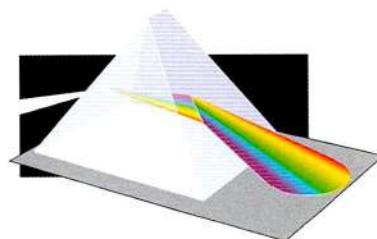
La luz del Sol o de una bombilla incandescente contiene toda la gama de longitudes de onda del espectro visible, pero el pasar de un medio a otro no son afectadas todas por igual: se ven más afectadas las de menor longitud de onda. Los fotones *violeta* son los que más se desvían y los *rojos* los que menos. Esto trae como consecuencia la descomposición o dispersión de la luz, explicándose así la aparición del arco iris.

Un espectroscopio es un aparato que sirve para analizar la luz emitida por un determinado foco luminoso. La luz que se desea analizar, por ejemplo la de un sólido incandescente, se hace pasar por una fina rendija. Ese delgado haz de luz pasa luego por un prisma que lo descompone. Cada serie de fotones de la misma longitud de onda es desviado con el mismo ángulo, originando una imagen de la rendija que aparece en el visor con el color correspondiente a esos fotones. Justo al lado de ésta aparecerá otra línea correspondiente a otra serie de fotones de longitud muy parecida y así sucesivamente. De esta forma, se obtiene una serie de líneas que van desde el rojo hasta el violeta, dando la impresión de una banda continua que contiene todos los colores: es el espectro continuo. A la técnica que consiste en estudiar la composición de los cuerpos sometiendo a espectroscopía la luz que emite se le denomina análisis espectral.

Para entender por qué se desvían más los fotones de longitud de onda corta al pasar de un medio más rápido a otro más lento, imagínate la siguiente situación: un grupo de soldados marcha en formación marcando el paso por una carretera asfaltada; todos llevan la misma velocidad. En un instante entran en un campo lleno de barro. La velocidad de todos disminuye, pero no por igual, los más pequeños se ven obligados a meter más veces las botas en el lodo, con lo que su velocidad disminuye más que la de los que tienen el paso más largo, por lo cual la formación se descompone.



El espectroscopio sirve para analizar la luz procedente de un foco. En este caso es un sólido incandescente que emite toda la gama de longitudes de onda del espectro visible, originando así un espectro continuo.



Se denomina luz blanca a la que contiene todas las longitudes de onda del espectro visible. Al sufrir dispersión por un prisma o simplemente por gotas de agua, como en el arco iris, aparecen los colores y tonalidades correspondientes a los distintos fotones.



Un espectroscopio de bolsillo

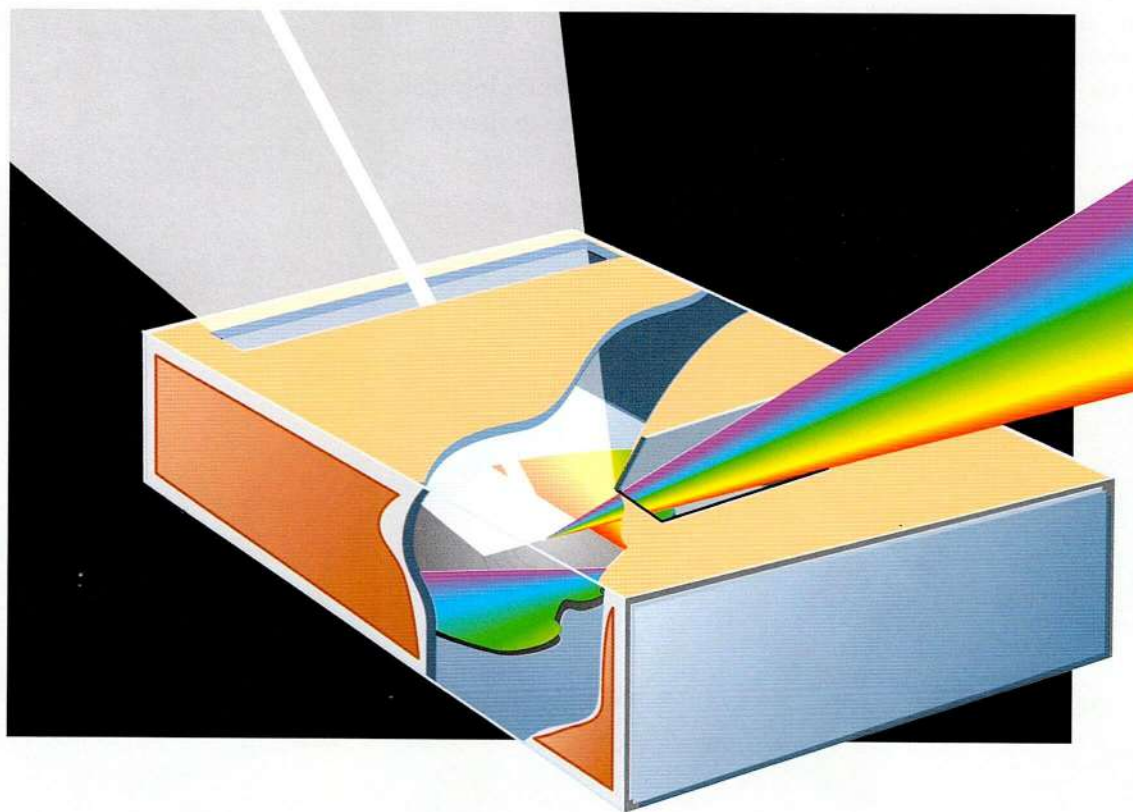
Para ver la descomposición de la luz en colores se suele utilizar un prisma. En este taller se trata de que construyas tu propio espectroscopio con medios asequibles; para ello utilizarás un disco compacto que no te sirva porque no funcione o porque lo hayas escuchado mucho. La descomposición de la luz en colores se realiza de forma similar a como ocurre en una red de difracción; los responsables de ésta son los microespejos de lectura láser del CD.

Material: Una caja de fósforos, un trozo de

disco compacto (CD) y pegamento.

Construcción: Pega un trozo de compacto en la cara interior de una caja de fósforos. Abre un orificio en la otra cara, por encima del CD.

Utilización: Abre un poco la caja, como se indica en la figura, de forma que entre un rayo de luz por la rendija. Sitúa el visor de tal manera que veas el CD y la luz reflejada descompuesta en colores.



Con este dispositivo puedes observar el espectro de la luz.



Creando manchas solares

Material:

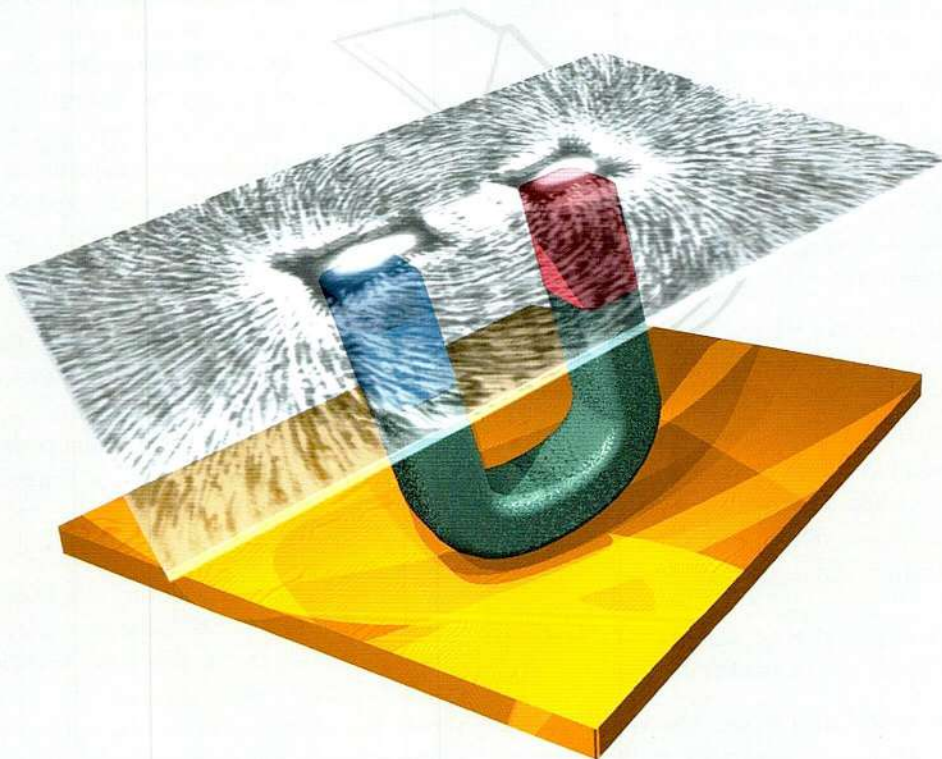
Arena negra de playa
1 hoja de papel
2 imanes

Descripción: Las manchas solares son como islas magnéticas que se sitúan en los puntos donde enormes arcos magnéticos cortan la superficie solar. El aspecto fibroso que presenta el plasma en los alrededores de las manchas solares se puede reproducir en clase mediante imanes de manera sencilla e instructiva.

Utilización: Lo primero es conseguir suficiente cantidad de arena negra de playa, que es rica en magnetita, mezcla de óxidos de hierro con propiedades magnéticas. Para separar la magnetita del resto de componentes, deposita

la arena en el suelo y coloca sobre ella una hoja de papel con un imán encima. Las partículas de magnetita se irán pegando a la parte inferior de la hoja. Cuando tengas la cantidad adecuada, introdúcelas en un recipiente, retirando el imán de la hoja. Repite el proceso las veces que sean necesarias hasta que obtengas un puñado de magnetita.

Para reconstruir las manchas solares deposita sobre una carpeta o una tabla fina las partículas magnéticas que has recogido y extiéndelas uniformemente por su superficie. Sitúa debajo el imán y comprobarás cómo las partículas se desplazan siguiendo las líneas del campo magnético que genera el mismo, de forma similar a como lo hacen las manchas en la superficie del Sol. Repite el experimento utilizando dos imanes en vez de uno.





PARA SABER MÁS

La masa y la energía, dos caras de una misma moneda

Esto es lo que nos viene a decir la ecuación de Einstein $E = mc^2$: la masa es una condensación de la energía. Vas a ayudarnos a calcular la pérdida de masa que se produce en la fusión de cuatro núcleos de hidrógeno para dar uno de helio. Haz los cálculos y rellena los espacios en blanco. Las masas de los núcleos atómicos las expresamos en Unidades de Masa Atómica (UMA).

La masa de cada núcleo de hidrógeno es de 1,0079 UMA, por lo que los cuatro núcleos tendrán una masa deUMA. La masa de un núcleo de helio es de 4,0026 UMA, por lo que la pérdida de masa que se produce por cada proceso elemental es de, lo que supone que se pierde el% de la masa inicial. Como en un segundo se convierten 630 millones de toneladas de hidrógeno en helio, esto supone una pérdida de masa de unas 4,5 millones de toneladas que se transforman en energía.

El Sol, un horno de cuatrocientos cuatrillones de vatios de potencia. ¿Se puede calcular?

La potencia de una máquina es la energía que produce en cada segundo y se expresa en vatios.

Es fácil calcular la energía emitida por el Sol en un segundo usando la ecuación $E=mc^2$, expresando la pérdida de masa en kilos y la velocidad de la luz en m/seg. Resulta ser de unos 4×10^{26} Julios en cada segundo, es decir, vatios.

Pero... ¿es que no se cumple la ley de conservación de la materia?

¿La cantidad de materia que interviene en una reacción permanece constante o no? He aquí

la cuestión. Por una parte, la ley de conservación de la materia enunciada por Lavoisier en 1789 dice que en una reacción química ordinaria la masa de los productos obtenidos es igual a la de los reactivos participantes (aunque en la reacción se desprenda energía). La ecuación de Einstein dice lo contrario, afirmando que la energía desprendida se corresponde con una pérdida de masa.

Lo que ocurre es que la pérdida de masa es despreciable en reacciones ordinarias como la combustión (a este tipo de reacciones se refería Lavoisier). La pérdida de masa sólo se puede medir en procesos que produzcan enormes cantidades de energía, como las reacciones nucleares.

Vamos a ver que esta pérdida es despreciable en los procesos habituales. Para ello, nos apoyaremos en un ejemplo doméstico:

Para calentar un caldero con diez litros de agua desde una temperatura de 15°C hasta 65°C se precisará una energía de 500 000 calorías, esto es, 2 090 000 julios. En el caso de una cocina de gas, la energía calorífica empleada procederá de la reacción del butano con el oxígeno. En esta reacción se consume cierta cantidad de ambas sustancias, las cuales se transforman en anhídrido carbónico y vapor de agua, con el consiguiente desprendimiento de energía.

Calcula, utilizando la ecuación de Einstein, la cantidad de materia que se ha transformado en energía.

¿Con el resultado que has obtenido, es aplicable la ley de conservación de la materia?

Los fotorreceptores de nuestra retina

Las células de la retina, denominadas conos, son fotorreceptores especializados en el color. Éstos precisan que les llegue suficiente intensidad de radiación para sensibilizarse. En penumbra vemos los objetos pero no su color; de ahí el refrán que dice: por la noche todos los gatos son

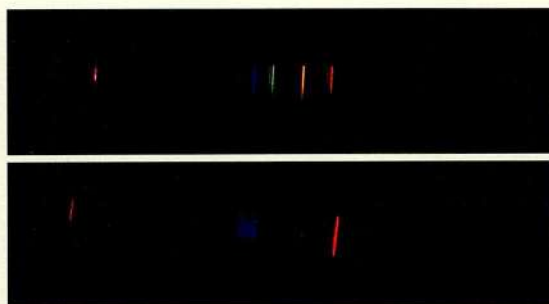


pardos... Por ejemplo, el color rojo anaranjado que aparece en las fotografías de las nebulosas de emisión (color real, debido al hidrógeno ionizado que constituye la nebulosa) no puede ser detectado por nuestro ojo, ni aun con la ayuda de instrumentos ópticos como prismáticos o telescopios, por limitaciones puramente fisiológicas. Así, sólo veremos el resplandor de la nebulosa y no su color ya que los fotorreceptores denominados bastones son más sensibles pero no discriminan entre las diferentes longitudes de onda del espectro visible.

Espectros de emisión y de absorción

Al calentar los elementos químicos en estado de vapor y someter su luz a análisis espectral no se obtiene un espectro continuo sino que se produce una serie de líneas brillantes características de cada elemento: es su espectro de emisión, que se conoce también como huella dactilar del elemento.

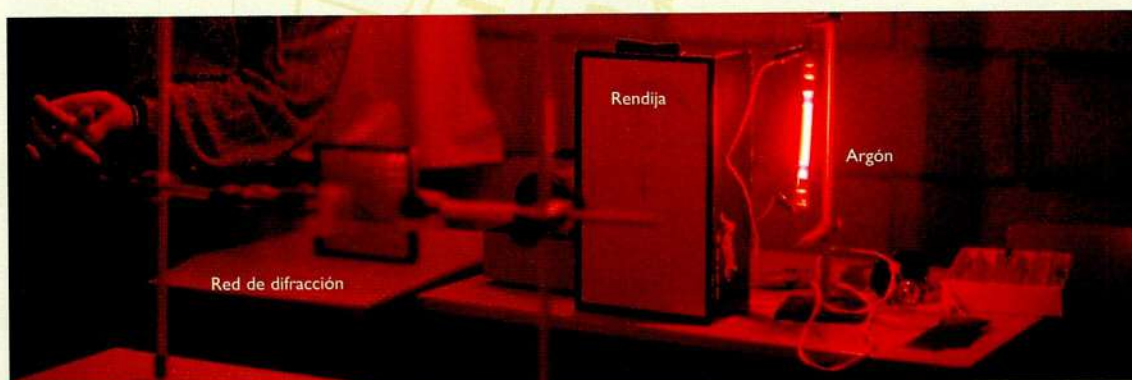
Si hacemos pasar luz blanca a través de vapor frío de un elemento y la sometemos a análisis espectral, obtendremos que el espectro continuo de la luz blanca aparece salpicado de una serie de líneas oscuras, correspondientes a los fotones absorbidos por el vapor. Estas líneas aparecen para cada elemento en el mismo lugar



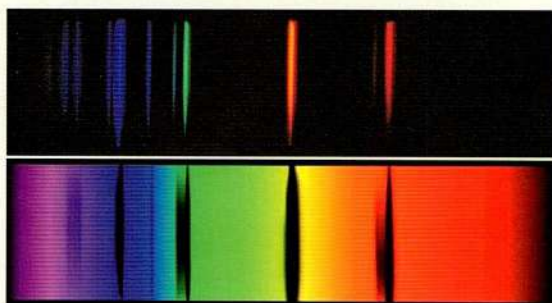
Fotografía de los espectros de emisión del helio y del hidrógeno obtenidos a través de una red de difracción. Cada elemento tiene un espectro de emisión característico. Por tanto, los espectros atómicos se usan para la identificación de los elementos.

que ocupaban las líneas de emisión. Los fotones que emite un elemento en estado de vapor incandescente son de igual longitud de onda que los que absorbe cuando está frío.

Una red de difracción consiste en un vidrio transparente en el que se han trazado un elevado número de líneas opacas muy finas, paralelas, frecuentemente 600 líneas por milímetro; las diminutas ondas de luz las rodean al pasar por los espacios entre ellas. A este fenómeno exclusivo de las ondas se le llama difracción. Los fotones de mayor longitud de onda, los rojos, son los más afectados; así, la luz blanca es descompuesta al pasar por una red de difracción.



Montaje utilizado para realizar las dos fotografías anteriores. Como cámara oscura se utilizó una habitación sin iluminar y como rendija, el hueco entre dos cuchillas de afeitar paralelas. El tubo en este caso contiene argón enrarecido (a baja presión) excitado por una descarga de 20 000 voltios.



Los espectros de emisión y absorción de un elemento se pueden comparar con una imagen y su negativo fotográfico.

El espectro solar: las líneas de Fraunhofer

Si sometes a análisis espectral la luz del Sol (en el apartado **Taller** se te propone que fabriques tu propio espectroscopio de bolsillo sin coste alguno), verás que el espectro continuo que debería aparecer está salpicado por unas líneas oscuras que ocupan siempre las mismas posiciones en el espectro: son las denominadas líneas de Fraunhofer. Éstas aparecen por la ausencia de fotones correspondientes a esas longitudes de onda que, habiéndose generado en el Sol, no han llegado hasta nosotros debido a que son absorbidos por elementos químicos

existentes en la atmósfera solar. De esta forma se pudo saber que la mayoría de los elementos existentes están contenidos en diferentes proporciones en la atmósfera solar.



Con lo que se ha explicado en esta unidad, y teniendo las debidas precauciones, podrás observar el Sol sin riesgos para tus ojos. El satélite europeo-estadounidense SOHO te ofrece, a través de Internet, la posibilidad de contemplar otros muchos aspectos del Sol. Según el instrumento empleado, es posible contemplar su superficie, las protuberancias, la corona, etc.

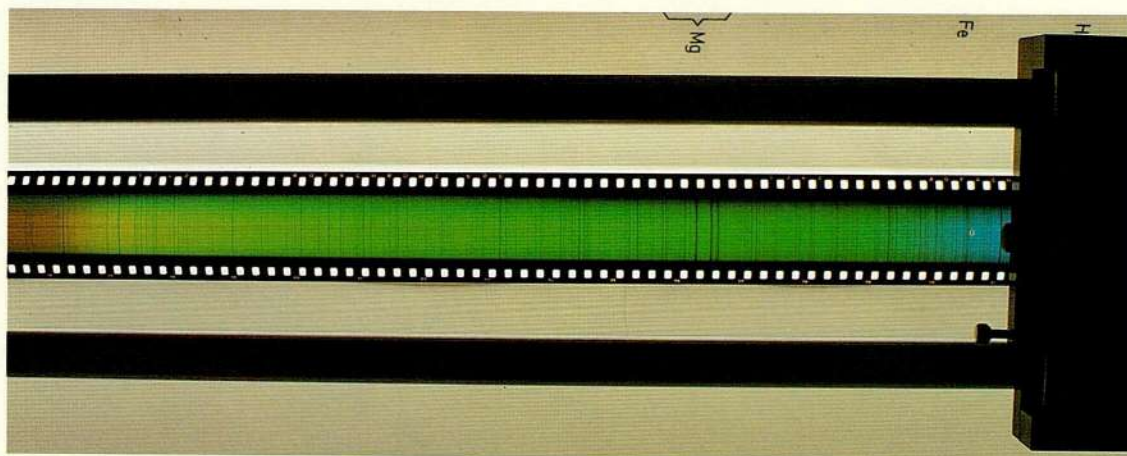
SOHO

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

Una página de Internet que puede ser útil para conocer el estado del Sol en los días en que esté el cielo cubierto de nubes en tu localidad es la del Centro de Análisis de Datos Solares de la NASA. Esta página te ofrece distintas imágenes del Sol que se renuevan cada día.

Solar Data Analysis Center

<http://umbra.nascom.nasa.gov/sdac.html>



Las líneas de Fraunhofer constituyen un tipo de espectros denominados de absorción. Los espacios oscuros corresponden a longitudes de onda de fotones que fueron absorbidos por elementos de la atmósfera solar. Imagen obtenida a través del telescopio solar VTT. IAC.



El espectroscopio



Hacia 1850, la composición del Sol era desconocida y se pensaba que sería muy difícil averiguar qué materiales constituían los cuerpos celestes. Pero poco después de esta fecha, Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff inventaron el espectroscopio, instrumento que por sus aplicaciones desempeñó un papel decisivo en el desarrollo de la astrofísica. Descubrieron, observando a través de éste, que cada elemento incandescente emite una serie característica de líneas que sirven para identificarlo, a la que llamaron espectro de emisión. En 1860 detectaron, usando esta técnica, dos elementos desconocidos a los que llamaron rubidio y cesio. Estos elementos deben su nombre al color de sus líneas espectrales dominantes, pardo rojizo y celeste; en latín *rubidus* y *caesium*, respectivamente. Reconocieron que cuando la luz blanca atraviesa el vapor del elemento frío éste absorbe las mismas líneas que emitía cuando estaba incandescente, quedando marcadas en el espectro como líneas oscuras (espectro de absorción). Al estudiar las líneas oscuras del espectro solar descubiertas por Fraunhofer en 1814, las compararon con las líneas de los espectros de emisión de determinados elementos, constatando su coincidencia. De esta forma llegaron a la conclusión de que las líneas de Fraunhofer se debían a fotones absorbidos por elementos existentes en la atmósfera solar. En 1862, el astrónomo Jonas Angstrom descubrió que el principal componente de Sol era el hidrógeno. En 1868, Lokyer asoció una nueva línea descubierta durante un eclipse de sol con un elemento aún desconocido al que llamó helio, del griego *helios* (Sol). Este elemento no fue descubierto en la Tierra hasta varias décadas más tarde.

Parte mensual de observaciones solares



Puedes realizar observaciones sistemáticas de la actividad solar y elaborar partes como éste. Se te facilita una dirección de e-mail para que, si lo deseas, se constituya tu centro en grupo colaborador.

Parte de observaciones solares realizadas por miembros de Club Astronómico del Instituto (CAI)- San Hermenegildo de La Laguna. Mes de marzo de 1998

El instrumento utilizado es un telescopio refractor de 102 mm de diámetro y 1000 mm de focal y ocular de 26 mm. La observación se realiza por proyección ocular, aunque a veces repetimos la observación acoplado al objetivo del telescopio un filtro mylar, lo que nos permite realizar una observación directa y tomar fotografías. Las observaciones fueron realizadas generalmente durante los recreos y las enviamos a una sede de recogida de datos solares ubicada en Bruselas, denominada SUNSPOT INDEX DATA CENTER; E-MAIL: arille@oma.be

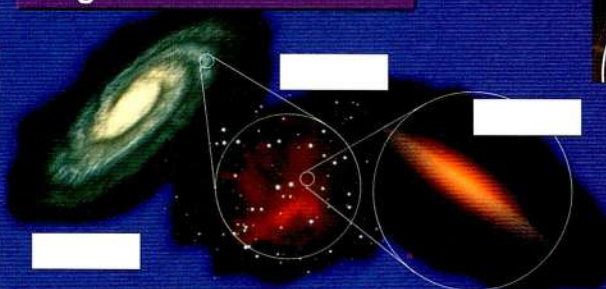
Day	Hour	GN	SN	RN	GS	SS	RS	G	S	R	Q
02	11:05	0	0	0	1	20	30	1	20	30	
03	11:05	0	0	0	3	23	53	3	23	53	
04	11:05	3	4	34	2	9	29	5	13	63	
05	11:10	3	4	34	2	9	29	5	13	63	
06	11:08	2	4	24	1	2	12	3	6	36	
09	11:05	1	1	11	4	14	54	5	15	65	
10	09:00	2	2	22	4	24	64	6	26	86	
11	10:30	3	4	34	3	13	43	6	7	67	
16	11:05	0	0	0	6	49	109	6	49	109	
18	11:05	1	2	12	3	49	79	4	51	91	
19	11:05	2	6	26	4	51	91	6	57	117	
20	10:45	4	19	59	5	51	101	9	70	160	
31	10:00	2	11	31	2	18	38	4	29	69	

CLAVES: **GN**=Grupos Norte; **SN**=Focos Norte; **RN**=Total Norte; **GS**=Grupos Sur; **SS**=Focos Sur; **RS**=Total Sur; **G**=Total Grupos; **S**=Total Focos; **R**=Total; **Q**=Calidad del cielo: 1 Excelente....5 Pésima.



AUTOEVALUACIÓN

Origen del Sistema Solar



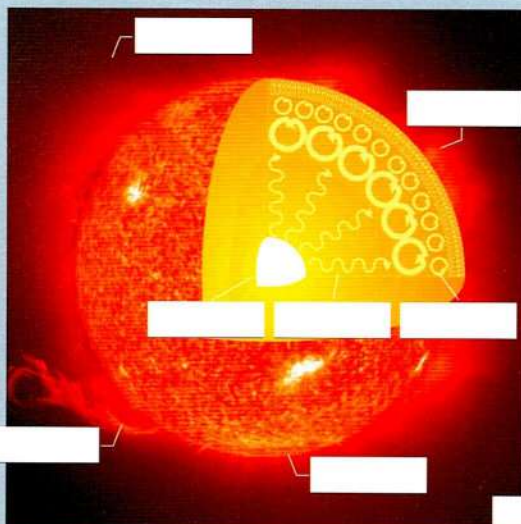
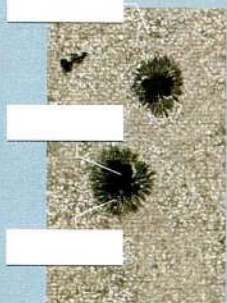
Rellena los huecos

Disco
Gaseosos
Grandes

Nebulosa
Muy densos
Pequeños
Poco densos

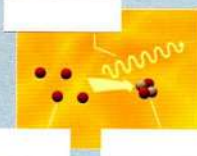
Rocosos
Temperatura
Vía Láctea
Viento solar

El Sol

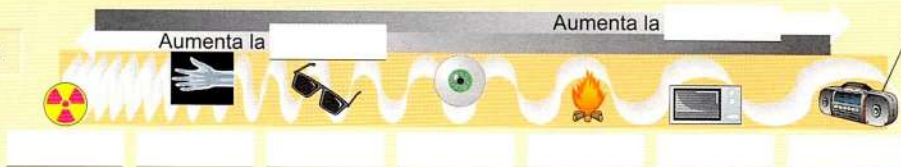


Rellena los huecos

Convección
Corona
Fotosfera
Cromosfera
Energía
Granulación
Helio
Hidrógeno
Núcleo
Penumbra
Protuberancia
Radiación
Umbría



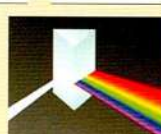
La luz



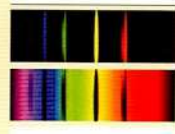
Rellena los huecos

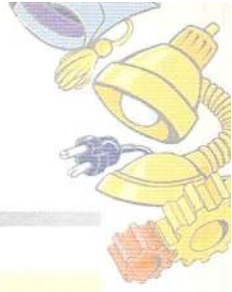
Absorción
Dispersión
Emisión
Frecuencia
Infrarrojo
Long. de onda
Microondas

Radio
Rayos X
Rayos γ
Reflexión
Refracción
Ultravioleta
Visible



Espectros de...





- ¿Qué dos elementos son los más abundantes en la composición del Sol?
- Representa esquemáticamente el proceso de fusión nuclear que se produce en el Sol.
- ¿Se consumirá el Sol algún día? ¿Por qué no lo ha hecho ya?
- ¿A qué se deben las manchas solares?
- ¿Qué son los ciclos de actividad solar?
- ¿Qué trata de medir el número de Wolf?
- ¿Cómo pudo averiguarse la composición química de un cuerpo lejano como el Sol?
- ¿Cuál es la longitud de onda expresada en metros de tu emisora favorita?
- ¿Cuántas oscilaciones por segundo presenta un fotón azul de $4\,720\text{ \AA}$?
- ¿Qué analogías y diferencias tienen las ondas que capta tu radio y los rayos X?
- Trata de completar la siguiente frase con una de las dos opciones: *Cuando impido la entrada de luz a una habitación...*
 - a) ...los objetos pierden el color.
 - b) ...los objetos mantienen el color, lo que ocurre es que está oscuro y no puedo verlos.
- ¿Cuál de estas dos afirmaciones crees que es la correcta?
 - a) No puedo escuchar la radio dentro de un túnel porque no llegan ondas a la antena.

- b) No puedo escuchar la radio dentro de un túnel porque está oscuro y no puedo oírla.
- ¿El color rojo de la sangre que emana de una herida existía antes de salir a la superficie o se generó en el momento de salir?
- ¿Qué color tiene una naranja por dentro antes de partirla?



- En la actualidad el Sol consume 630 millones de toneladas de hidrógeno en cada segundo. ¿Cuánto tiempo crees que tardaría en consumir todo el hidrógeno si desde el origen hasta el final continuara a este ritmo?
- Ayuda:** la masa del Sol es de $2 \times 10^{30}\text{ kg}$. Supongamos que inicialmente estuviera todo constituido de hidrógeno.
- Un charco con 400 litros de agua se encontraba a una temperatura de 9°C al amanecer, y al medio día se había calentado hasta 20°C . En ese proceso se necesitan 4 400 kilocalorías. ¿Qué combustible produjo esa energía? Calcula la masa de combustible que se transformó en energía según la ecuación de Einstein.
- NOTA:** Expresa las unidades en el Sistema Internacional (S.I.). Una caloría equivale a 4,18 Julios.

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:

Absorción, ciclo solar, convección, corona solar, cromosfera, espectro, fotosfera, fusión nuclear, granulación, luz, mancha solar, protuberancia, radiación, reflexión, refracción.

BIBLIOGRAFÍA

HERRMANN, J., *Atlas de astronomía*, Madrid, Alianza, 1984.

RESTON, Jr. J., *Galileo. El genio y el hombre*, Barcelona, Ediciones B., 1996.

RODRÍGUEZ, C., *El Sol*, Écija, Cándido Rodríguez Sánchez, 1983.

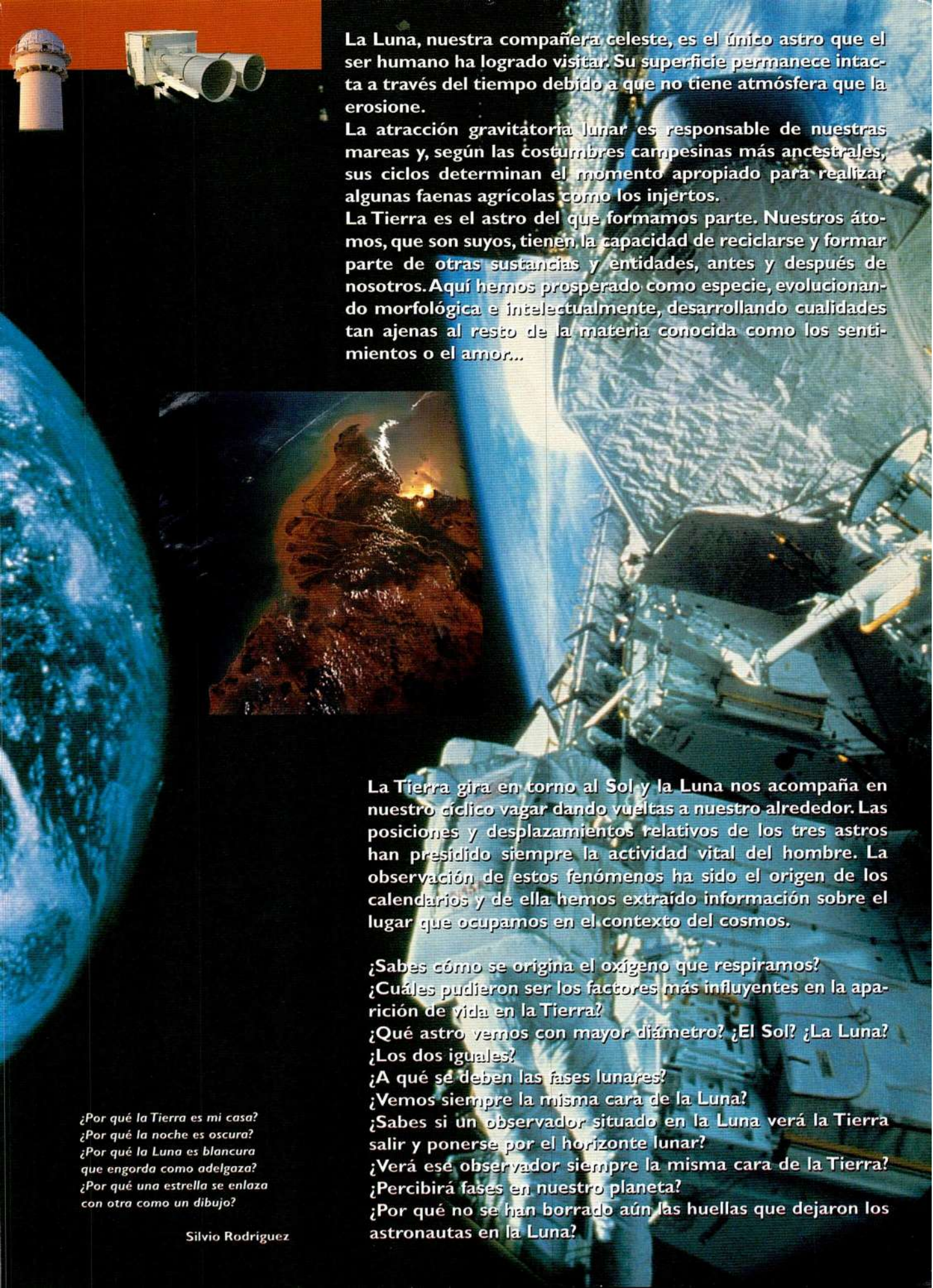
VARIOS AUTORES, *Misterios del cosmos y otros ensayos*, Tenerife, Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, 1997.



5



EL SISTEMA SOLAR II: TIERRA-LUNA



La Luna, nuestra compañera celeste, es el único astro que el ser humano ha logrado visitar. Su superficie permanece intacta a través del tiempo debido a que no tiene atmósfera que la erosione.

La atracción gravitatoria lunar es responsable de nuestras mareas y, según las costumbres campesinas más ancestrales, sus ciclos determinan el momento apropiado para realizar algunas faenas agrícolas como los injertos.

La Tierra es el astro del que formamos parte. Nuestros átomos, que son suyos, tienen la capacidad de reciclarse y formar parte de otras sustancias y entidades, antes y después de nosotros. Aquí hemos prosperado como especie, evolucionando morfológica e intelectualmente, desarrollando cualidades tan ajenas al resto de la materia conocida como los sentimientos o el amor...

La Tierra gira en torno al Sol y la Luna nos acompaña en nuestro cíclico vagar dando vueltas a nuestro alrededor. Las posiciones y desplazamientos relativos de los tres astros han presidido siempre la actividad vital del hombre. La observación de estos fenómenos ha sido el origen de los calendarios y de ella hemos extraído información sobre el lugar que ocupamos en el contexto del cosmos.

¿Sabes cómo se origina el oxígeno que respiramos?
¿Cuáles pudieron ser los factores más influyentes en la aparición de vida en la Tierra?
¿Qué astro vemos con mayor diámetro? ¿El Sol? ¿La Luna?
¿Los dos iguales?
¿A qué se deben las fases lunares?
¿Vemos siempre la misma cara de la Luna?
¿Sabes si un observador situado en la Luna verá la Tierra salir y ponerse por el horizonte lunar?
¿Verá ese observador siempre la misma cara de la Tierra?
¿Percibirá fases en nuestro planeta?
¿Por qué no se han borrado aún las huellas que dejaron los astronautas en la Luna?

¿Por qué la Tierra es mi casa?
¿Por qué la noche es oscura?
¿Por qué la Luna es blancura
que engorda como adelgaza?
¿Por qué una estrella se enlaza
con otra como un dibujo?

Silvio Rodríguez



Algunas de las características de la Tierra se han analizado en clase;

otras las habrás observado en plena naturaleza. Ya conoces su forma esférica, su tamaño, la inclinación de su eje respecto de la trayectoria, así como su situación en el contexto del cosmos. También te has familiarizado con los movimientos de la Tierra y con sus consecuencias, tales como la noche, el día, las estaciones, el año, etc.



• ¿Cómo crees que influiría en las formas de vida existentes un

periodo de rotación terrestre mucho mayor que el actual?

• ¿Y si el periodo de rotación fuese mucho menor?



Las plantas transforman energía luminosa en energía química.



La fotosíntesis es un proceso

complejo en el que, a partir de agua, de anhídrido carbónico, de la acción de la luz y de la intervención de la clorofila (u otros pigmentos fotosintetizadores) se forman oxígeno (O_2) e hidratos de carbono. El primero regenera nuestra atmósfera, los segundos hacen crecer las plantas constituyendo un almacén de energía para el mantenimiento de éstas y de los seres que las consuman.

Todos formamos parte de un singular planeta al que denominamos Tierra, incluidos tú y los seres y cosas que te rodean. Ocupamos un espacio común en el que debemos convivir y legarlo en condiciones de ser habitado por las nuevas generaciones de seres vivos.



Construir un mundo sin exclusiones para el futuro del Planeta.

Las principales características de la Tierra que han contribuido a transformarla en un planeta con múltiples y diferenciadas formas de vida son: a) una distancia al Sol y un periodo de rotación, que nos permiten recibir la luz y el calor óptimos; b) una masa tal que hace posible que las sustancias volátiles permanezcan unidas a la



Una serie de factores han hecho de éste un planeta diferente.



Tierra. Esto determina la retención de atmósfera y de grandes cantidades de agua. La presencia de estas sustancias es vital, ya que agua y anhídrido carbónico, combinados con los rayos solares y la acción de la clorofila, permiten que las plantas realicen la fotosíntesis.

Algunas otras características de nuestro planeta, que han favorecido el desarrollo de la vida, irás descubriéndolas de forma progresiva. Como por ejemplo, el filtro natural de la atmósfera terrestre, que absorbe las radiaciones nocivas, o el escudo magnético que nos protege del viento solar.

Al margen de las características propias de la Tierra, existe en ella toda una serie de sustancias con unas cualidades esenciales para que se establezca el proceso de la vida; al menos de las formas de vida que conocemos. Por ejemplo, las propiedades de la molécula de agua o del átomo de carbono han desempeñado un papel decisivo en el desarrollo de la vida en la Tierra.

Origen y evolución de la Tierra

La Tierra comenzó a formarse junto al resto del sistema solar a partir de las partículas de los gases y polvo que constituían la nebulosa primigenia hace unos 4 600 millones de años. Por supuesto que en esa acumulación de partículas que dio origen a nuestro pla-

Para ampliar tu información ve al apartado **Para saber más** y busca **La molécula de agua y el átomo de carbono**.



Datos numéricos

Perihelio	147 050 000 km.
Distancia media	149 598 000 km.
Afelio	152 140 000 km.
Periodo de traslación	365 días 6 h 9 min 9,7s.
Periodo de rotación sidérea	23 h 56 min 4 s.
Diámetro ecuatorial	12 756 776 m.
Diámetro (polos)	12 713 824 m.
Densidad media	5,52 g/cm ³ .
Masa	5,98 × 10 ²⁴ kg.



Algunos elementos poco abundantes en la Tierra podrían proceder de fragmentos rocosos llegados de otras zonas del sistema solar.



Las radiaciones ultravioletas procedentes del Sol no eran

filtradas por la atmósfera primitiva, lo que originó la ruptura de gran cantidad de moléculas de agua con liberación de oxígeno, éste, a su vez, se fue combinando con el metano y el amoníaco formando anhídrido carbónico y nitrógeno.

Vapor de agua, anhídrido carbónico (o dióxido de carbono), nitrógeno, amoníaco y metano constituían la atmósfera en la etapa en que la vida comenzó a generarse en la Tierra.

neta ya figuraban prácticamente todos los elementos. Además, la Tierra se fue enriqueciendo en determinados elementos, durante el largo y turbulento periodo de colisiones que azotó a todo el sistema solar en una etapa de su formación.

La esfera sólida de nuestro planeta se originó de un conglomerado de silicatos y sulfuros de varios elementos (hierro, magnesio, aluminio, etc.) que formaron el suelo rocoso. La temperatura producida por los continuos impactos hizo que se fundiera el hierro y otros metales de mayor densidad que las rocas, que fueron deslizándose hacia el centro y constituyeron el núcleo terrestre.

Mientras tanto, la actividad volcánica hizo salir al exterior gases como anhídrido carbónico (CO_2), vapor de agua (H_2O), metano (CH_4) y amoníaco (NH_3), que quedaron unidos al planeta formando su atmósfera primitiva. Otros gases más volátiles expulsados del interior, como hidrógeno (H_2) y helio (He), se perdieron en el espacio porque el planeta no tiene suficiente gravedad para retener a estos gases de pequeño peso. La mayor parte del vapor de agua se fue condensando y dio lugar a los océanos.

Más tarde, la atmósfera comenzó a transformarse. Por la acción de los rayos ultravioletas se enriquecía en nitrógeno y en anhídrido carbónico, formándose así la capa atmosférica existente en la primera etapa de la vida.





La energía solar y la acción de las descargas eléctricas (rayos) actuaron como detonante en la combinación de los gases existentes para transformarlos en aminoácidos, compuestos orgánicos necesarios para el inicio de la vida.

La composición de la atmósfera sufrió una nueva modificación: unos microorganismos que no precisaban oxígeno (anaerobios) se originaron en los océanos, a una cierta profundidad a la que llegaba la luz visible pero no los dañinos rayos ultravioletas; estos organismos iniciaron el proceso de la fotosíntesis y con ello dieron lugar a grandes cantidades de oxígeno, que pasó a formar parte de la atmósfera.

La fotosíntesis sigue siendo una fuente, por ahora inagotable, de oxígeno y materia orgánica en nuestro planeta. Los principales componentes de la atmósfera actual son el nitrógeno, con un 78% en volumen; el oxígeno, con un 21%; y el argón que, junto con el vapor de agua y otros gases como el dióxido de carbono, supone un 1%.



El comienzo de la vida

La vida apareció en la Tierra hace unos tres mil millones de años. El planeta reunía condiciones para ello: temperatura estable, suficiente energía solar, una masa apropiada y los elementos básicos para la vida como carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

En 1923 el químico ruso Aleksandr I. Oparin defendió la idea de que las moléculas orgánicas esenciales para la vida surgieron cuando la atmósfera apenas contenía oxígeno libre (O_2), ya que estaba compuesta por vapor de agua (H_2O), anhídrido carbónico (CO_2), nitrógeno (N_2), amoníaco (NH_3) y metano (CH_4). Estos gases simples reaccionaron, según Oparin, ayudados por la actividad de una atmósfera proclive a las tormentas, y por la acción de los rayos solares, dando lugar a compuestos orgánicos más complejos.

Hacia 1950, Stanley Miller reprodujo en el laboratorio las condiciones apuntadas por Oparin. Para ello utilizó dos recipientes en conexión, uno hacía las veces de océano caliente y el otro de atmósfera, e hizo circular entre ambos metano y amoníaco. Tras comunicar descargas eléctricas analizó el resultado: éste fue la formación de moléculas orgánicas complejas entre las que figuraban aminoácidos. Este resultado, aunque no es concluyente, sí que es significativo, ya que las proteínas, compuestos esenciales de los seres vivos, están formadas por aminoácidos.



Con la aparición de bacterias capaces de realizar la fotosíntesis, la atmósfera se enriquece de oxígeno y comienzan a desarrollarse con gran profusión los organismos con un metabolismo aerobio, que tiene un rendimiento energético mucho mayor que el anaerobio, que había sido el existente hasta entonces.



Los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, debidamente combinados, constituyen el 98 % de la materia viva. Sin embargo, de estos elementos sólo abunda el oxígeno en la corteza terrestre.



Se cree que la materia orgánica, que pudo originarse en la Tierra durante mucho tiempo de forma similar a la obtenida por Miller en su experimento, quedó en un océano que se enriquecía cada vez más en estos compuestos orgánicos. Pero aún se desconoce la forma exacta en que evolucionaron hasta dar lugar a células vivas.

Estructura de la Tierra

Una vez concluido el proceso de formación, la Tierra está pasando por una larga etapa de equilibrio. Esta es su estructura a grandes rasgos:



Los minerales que forman la corteza están constituidos por los siguientes elementos: oxígeno, un 50% aproximadamente; silicio, en torno al 25%; aluminio, magnesio, hierro, calcio flúor y sodio, forman casi un 25% y menos de un 5% lo constituyen el resto de los elementos.

Las capas sólidas interiores

La esfera sólida que forma la Tierra, está constituida por tres capas concéntricas, que son la **corteza, el manto y el núcleo**.

La corteza: es la capa más externa y delgada, en ella se pueden distinguir dos subcapas:

La corteza oceánica con un espesor de 6 a 18 km y formada, principalmente, por rocas de tipo sedimentario y basálticas.

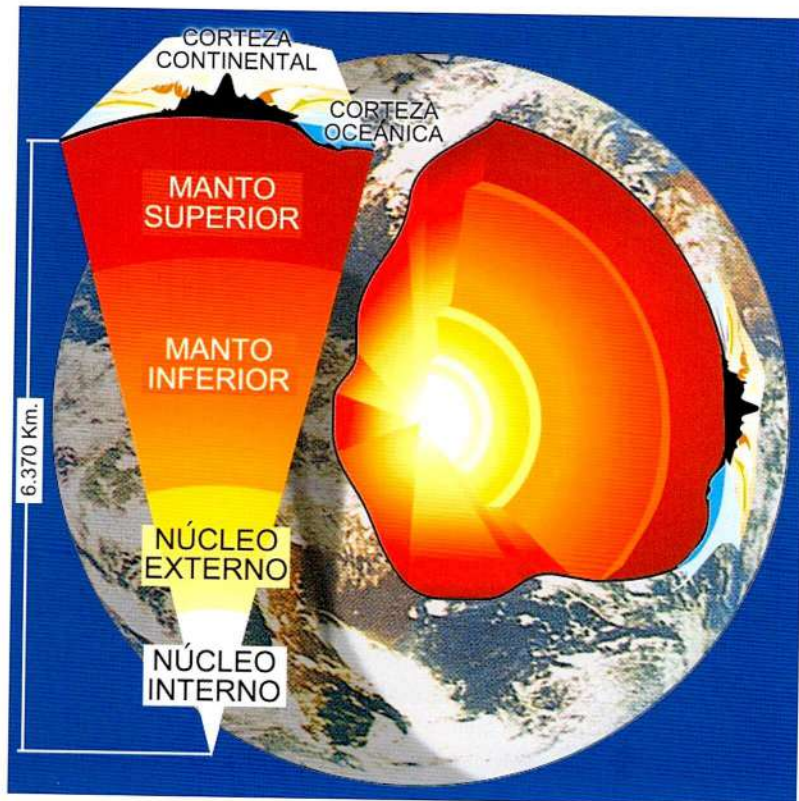
La corteza continental con un espesor que varía entre 25 y 70 km, está formada por distintos tipos de rocas, sedimentarias, graníticas, etc.

El manto: se encuentra por debajo de la corteza, y se divide en *manto superior* y *manto inferior*

La parte más externa del manto superior junto con la corteza constituye la **Litosfera**, una capa sólida y rígida pero que al mismo tiempo puede sufrir deformaciones y que posee un espesor apro-



El movimiento de las placas origina la deriva de los continentes. Los mayores terremotos se producen por colisión entre las placas.



Capas interiores de la Tierra.



ximado de unos 175 km. La **Litosfera** no es continua, sino que está dividida en una serie de placas móviles que se deslizan sobre la capa inferior más blanda y fluida. Ésta se extiende hasta una profundidad de 350 km y se denomina **astenosfera**.

El manto está formado por rocas del tipo de las **peridotitas**.

El núcleo: constituye la zona central del planeta; parece ser que está formado por una parte externa y otra interna.

El núcleo externo es fluido.

El núcleo interno es sólido.

El núcleo es metálico, con pequeñas proporciones de azufre y silicio.



Los materiales arrojados en las erupciones volcánicas proceden de la astenosfera.

Las capas fluidas exteriores: la atmósfera y la hidrosfera

La capa gaseosa que envuelve a la Tierra se denomina atmósfera y tiene un espesor de unos 1000 km. Para su estudio, se ha dividido en una serie de capas más delgadas, en función de cómo varía la temperatura con la distancia a la corteza terrestre.

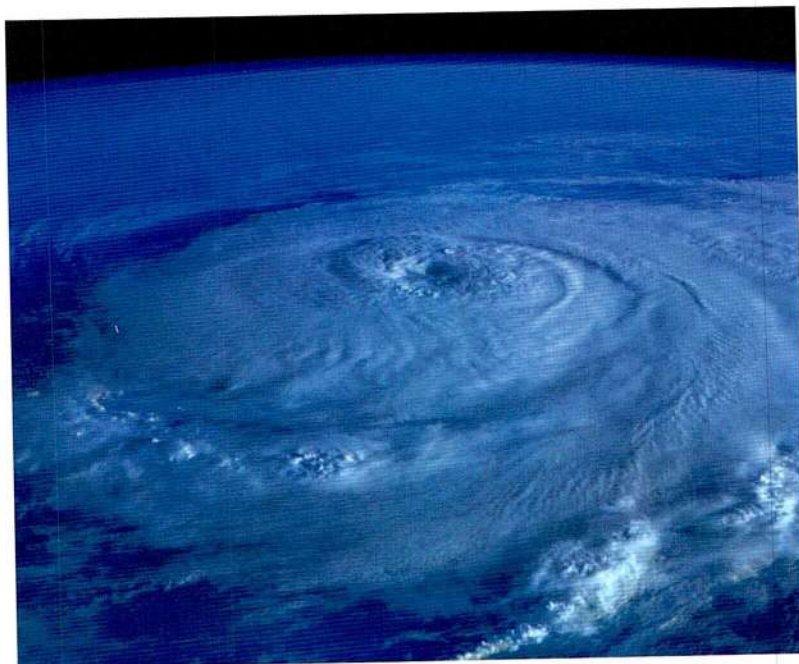
La **homosfera**: ocupa los cien primeros kilómetros, en ella la proporción de los principales constituyentes es nitrógeno 78 % y oxígeno 21%, en volumen. Esta proporción permanece constante en la homosfera y en ella se pueden diferenciar tres capas:

La troposfera es la capa más delgada (15 Km) y la que está en contacto con la superficie terrestre. La temperatura desciende en esta capa 0,6° centígrados por cada 100 metros de altura. Sus niveles



• ¿Sabes por qué capa de la atmósfera se desplazan los aviones?

• ¿Qué temperatura hay en el exterior de un avión en pleno crucero?



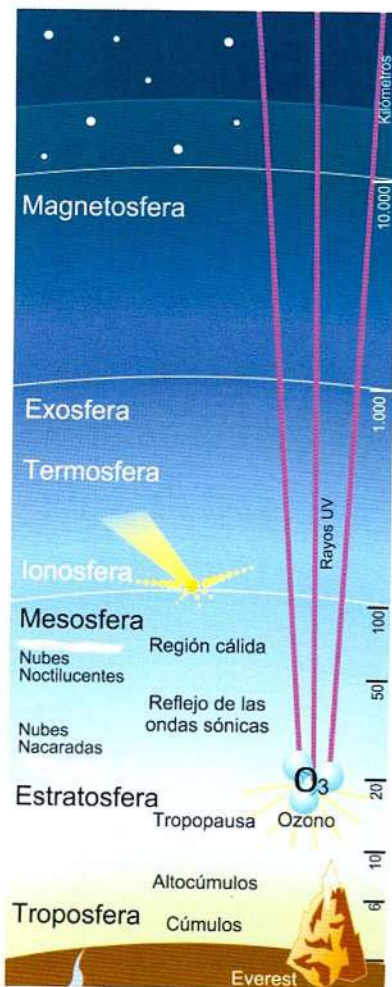
En la troposfera se producen los fenómenos meteorológicos.



El ozono (O_3) se forma por combinación de tres átomos de oxígeno, a diferencia del oxígeno que respiramos (O_2), que está formado por dos átomos. El ozono absorbe ondas de longitudes comprendidas entre 1 200 y 2 000 Å, transformándose en oxígeno. El oxígeno a su vez absorbe las radiaciones ultravioletas comprendidas entre 2 000 y 2 900 Å y se transforma en ozono. Al ser absorbidas, esas radiaciones no llegan a la superficie de la Tierra.



Una disminución de la concentración de ozono en la estratosfera podría aumentar la incidencia de cáncer de piel en la población.



La estratosfera contiene ozono que impide que lleguen a la Tierra determinadas radiaciones solares nocivas. En la mesosfera arde la mayoría de los meteoros..., ¡menos mal! Como puedes ver, la atmósfera hace de escudo protector para los seres vivos.

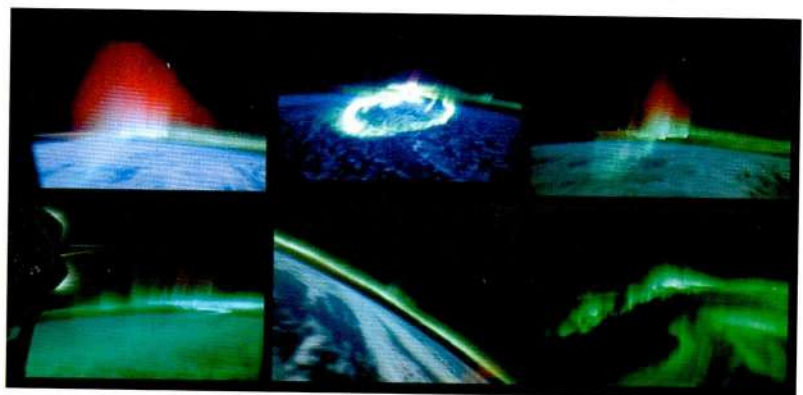
inferiores poseen las características adecuadas para permitir el desarrollo de la vida. A la región donde termina la troposfera se la denomina tropopausa.

La estratosfera se extiende entre los 15 y los 50 km de altura; con ella chocan unas partículas de gran energía, los rayos cósmicos, dando lugar a lluvias de rayos cósmicos secundarios, que son menos dañinos. Aquí también se encuentra el ozono, que absorbe los rayos ultravioleta procedentes del Sol; por ello la temperatura aumenta con la altura en esta capa. A pesar de que la densidad máxima del ozono se encuentra a unos 22 km, las mayores temperaturas se alcanzan en niveles superiores, donde la exposición es mucho mayor; esta capa termina en la estratopausa.

La mesosfera está situada por encima de la estratopausa, en la que las temperaturas medias descienden hasta alcanzar un mínimo de unos -90° centígrados a 80 km de altura. Es la capa en donde empiezan a arder la mayoría de los meteoros; se extiende hasta unos 100 km de altura.

La termosfera: está comprendida entre los 100 y los 500 km. En ella la energía solar hace que aumente la temperatura hasta $1\ 982^{\circ}$ centígrados a unos 289 km de altura. Esta energía produce también alteraciones químicas y eléctricas, observables desde el suelo. Los átomos y moléculas de oxígeno y nitrógeno de la mesosfera superior y de la termosfera pierden algunos de sus electrones debido a la acción de los rayos X y rayos ultravioletas de alta frecuencia, que por tanto, no llegan a la superficie de la Tierra. Esta pérdida de electrones da lugar a una capa conocida como **ionosfera**, que influye en las emisiones de radio; además, los átomos cargados de energía provocan un resplandor del aire, que hace que las noches no sean nunca del todo negras.

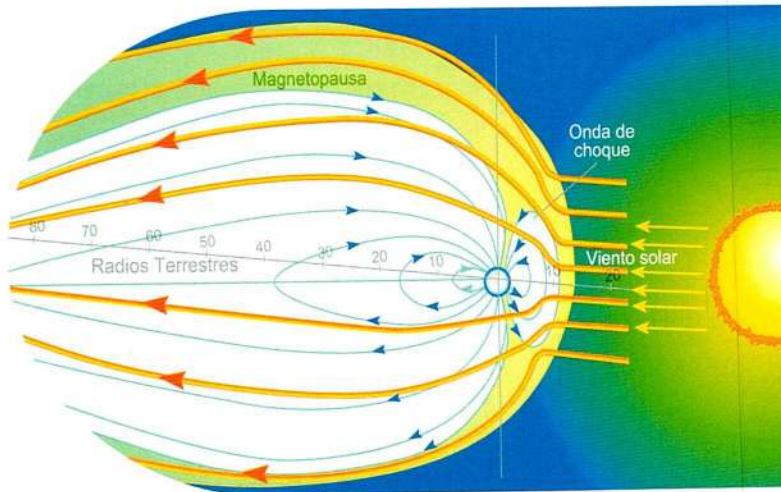
En los polos, las partículas del viento solar excitan la ionosfera y dan lugar a las auroras.



Las auroras son debidas a gases ionizados que tras una tormenta solar se hacen visibles en las regiones polares.

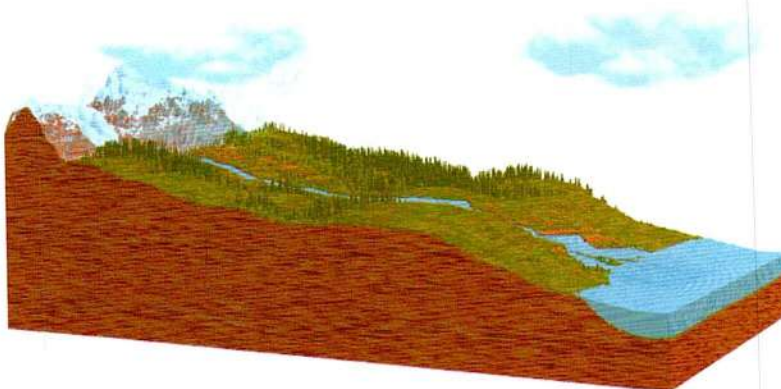


La exosfera: situada por encima de los 500 km, es muy poco densa. De ella se escapan los gases más ligeros, hidrógeno y helio, hacia el espacio interplanetario. Paulatinamente van predominando los campos magnéticos: **magnetosfera**.



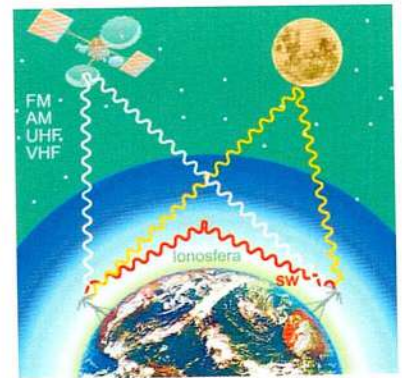
En dirección al Sol y a una distancia de 65 000 km, el campo magnético terrestre y el viento solar se equilibran: es la magnetopausa o límite superior de la magnetosfera. En ella el campo magnético terrestre repele la mayor parte de las partículas cargadas que constituyen el viento solar.

La hidrosfera: es una capa discontinua de agua formada aproximadamente en un 97% por los mares y océanos, con una profundidad media de unos 3 500 m. El 3% restante lo constituyen las aguas continentales (ríos, lagos, hielo, nieve y aguas subterráneas).



La acción de los rayos solares vaporiza el agua de la superficie oceánica pero no sus sales. Las moléculas de agua se vuelven a unir cuando se enfrían y se produce la lluvia. Este equilibrio dinámico sitúa al agua en condiciones de ser utilizada de nuevo por los seres vivos.

Para las transmisiones radiofónicas intercontinentales se utiliza la banda de onda corta (SW). Estas ondas se reflejan en la ionosfera y vuelven a la Tierra. Dicha capa es permeable a las ondas de FM y AM, así como a las de televisión UHF y VHF, lo que hace necesaria la utilización de un satélite que las reenvíe a la Tierra. Algunos radioaficionados utilizan la Luna como satélite natural.



El agua está formada por moléculas (H_2O) muy estables. Una molécula de agua puede tener una existencia muy larga, pues se evapora y precipita en sucesivas ocasiones, participando con muchas otras en la formación de una gota de lluvia.



La Luna: Características generales



Diámetro: 3 476 km

Masa: 0,012 veces la de la Tierra

Aceleración de la gravedad:

1,6 m/seg²

Distancia media a la Tierra:

384 400 km

Periodo de traslación: 27,3 días terrestres

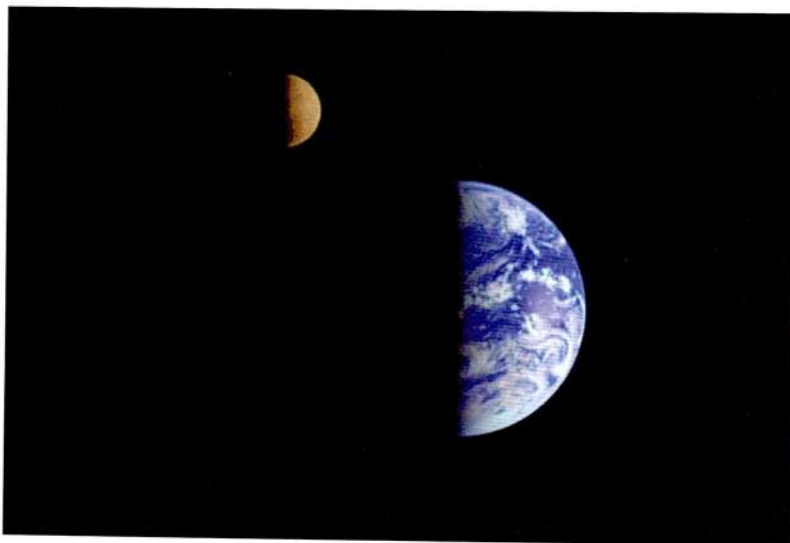
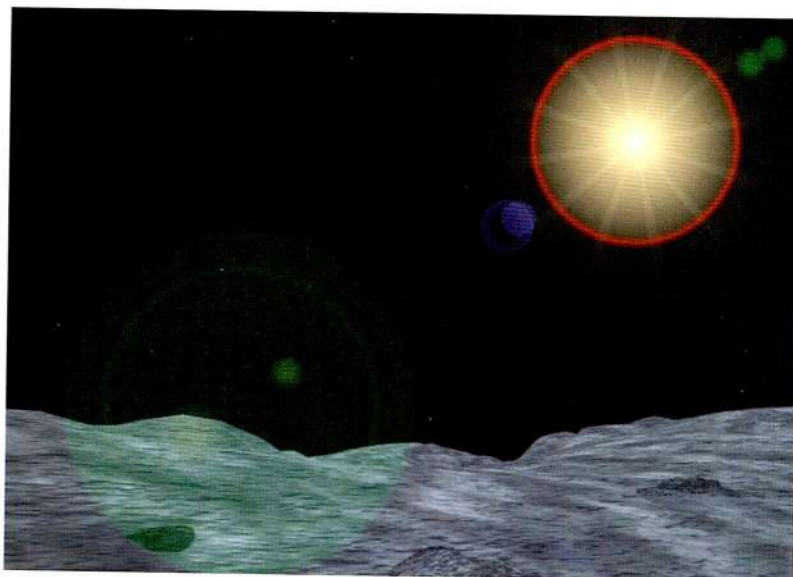


Imagen obtenida desde el espacio; se puede apreciar en ella la diferencia de tamaño entre nuestro satélite y la Tierra.

Una gravedad tan pequeña no es capaz de mantener una atmósfera significativa sobre su superficie. Al no existir atmósfera, su cielo



Una persona de 72 kg pesaría en la Luna sólo 12 kg.



El espacio interestelar se ve negro desde la superficie lunar; aunque brille el Sol.



La ausencia de atmósfera en la Luna

Elige una noche en la que se produzca la ocultación de una estrella brillante por la Luna y utilizando unos prismáticos, comprueba que ésta desaparece instantáneamente al tocar el borde lunar, y no poco a poco, como sería de esperar si tuviera una atmósfera.

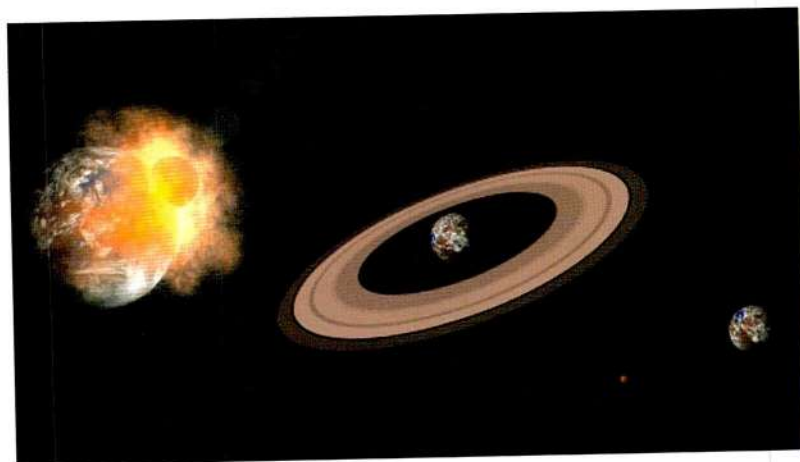
es siempre negro, ya sea de día o de noche, pues no hay ningún medio material que produzca dispersión de la luz solar. Tampoco se produce erosión en su superficie, como la efectuada por la atmósfera en la Tierra.

Origen y estructura de la Luna

El origen de la Luna es una cuestión que todavía no tiene una respuesta definitiva. Se han propuesto varias teorías para explicarlo pero ninguna se puede aceptar al 100 %.

Una de ellas considera la posibilidad de que la Luna haya sido capturada por la Tierra debido a su fuerza gravitatoria, pero la forma de la órbita lunar, poco elíptica, no avala dicha hipótesis. Otra supone que la Luna se formó junto con la Tierra, pero la existencia de diferencias en la composición de ambas pone en tela de juicio tal formación.

En la década de los setenta se formuló una teoría que tiene en cuenta la posibilidad de que la Luna se haya formado por la colisión de un cuerpo del tamaño de Marte contra la Tierra. Los fragmentos de ambos cuerpos lanzados al espacio por el choque, se habrían condensado en una órbita alrededor de la Tierra formando nuestro satélite.



Una de las hipótesis de formación de la Luna.



Al no haber ningún tipo de fenómeno atmosférico en la Luna, la huella dejada por el hombre se mantendrá por tiempo indefinido.



En la Luna existen unas cumbres denominadas Montes Tenerife y próxima a ellas otra llamada Pico, en clara alusión al Teide.



El terminador es la línea que separa la parte iluminada de la Luna de la no iluminada.

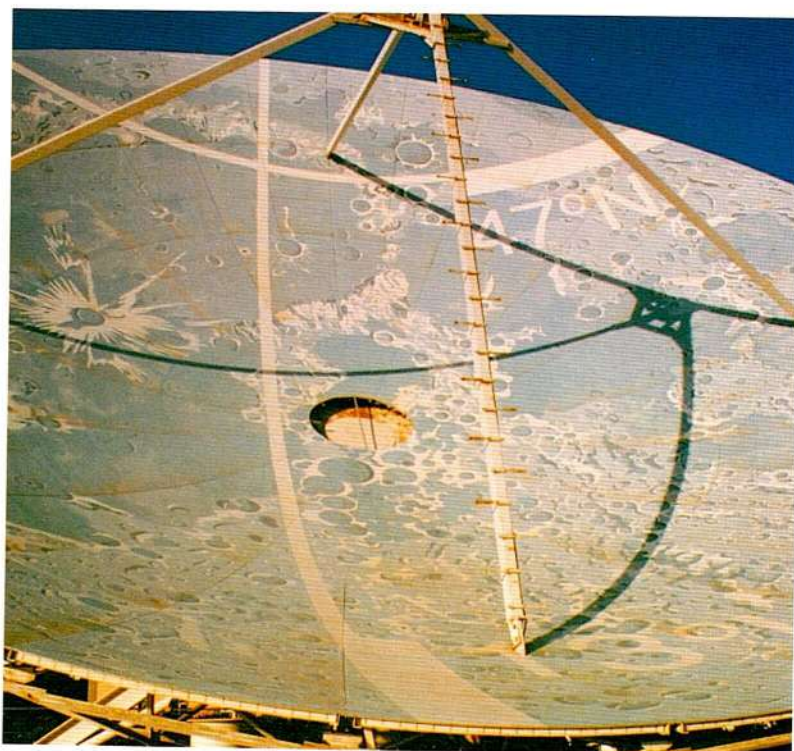
Las principales estructuras que encontramos en nuestro satélite son mares, montañas y cráteres.

Los mares son regiones oscuras formadas por grandes extensiones de lava, que a simple vista condujeron a la idea de que eran enormes masas de agua; son conocidos con nombres latinos.

Las montañas están a veces agrupadas en formaciones y muchas de ellas poseen nombres que hacen referencia a cordilleras existentes en la Tierra, como los Apeninos, los Alpes o los Cárpatos. Se puede determinar la altura que poseen estas montañas tal y como la realizó Galileo. Lo puedes ver en **Matemáticas celestes**.



En la Luna se ha descubierto que hay millones de toneladas de agua, pero no creas que está formando mares, ni tan siquiera charcos o témpanos. Se encuentra en regiones muy frías, solidificada y mezclada con las rocas lunares. Su extracción y utilización en una posible base lunar no parece fácil por ahora.



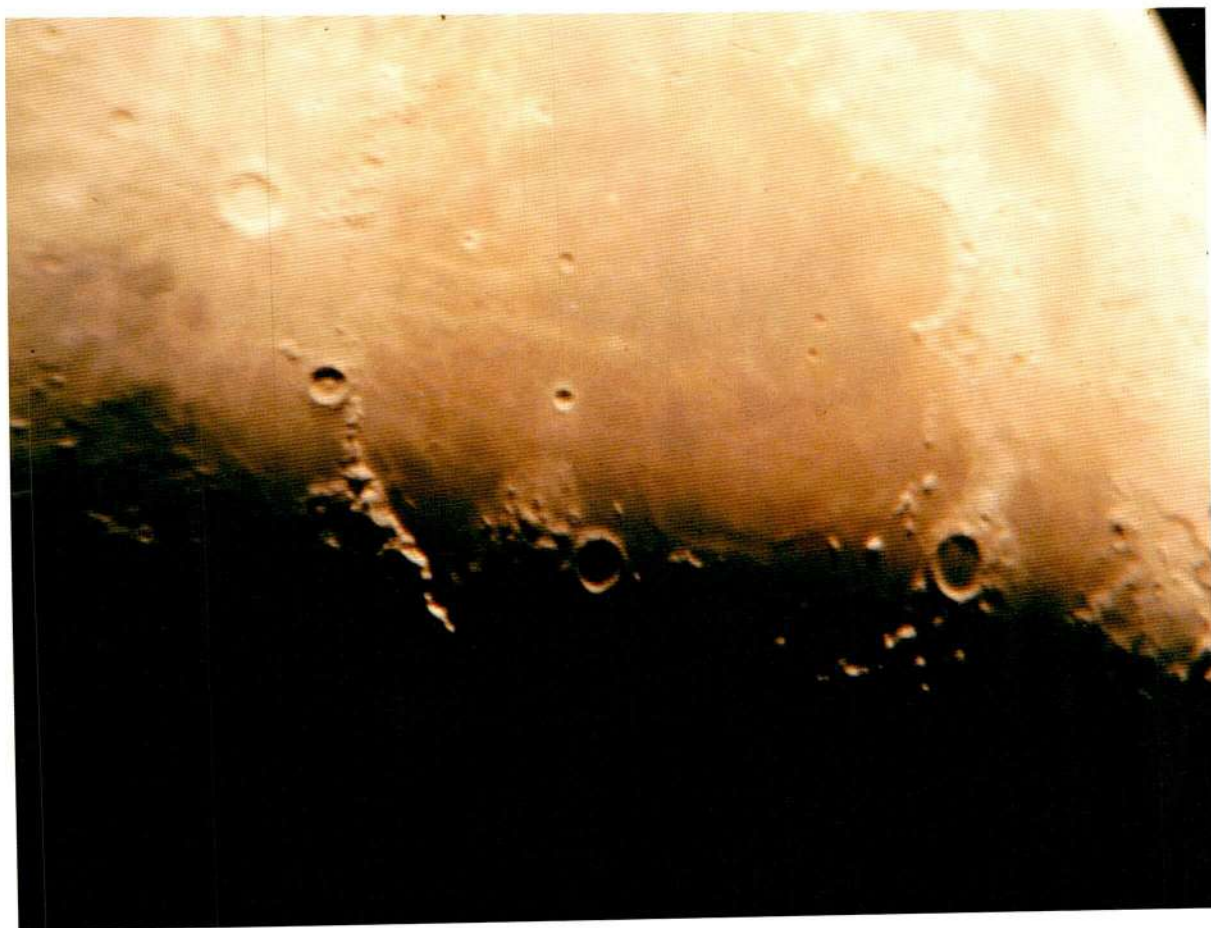
Antena del Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, en cuyo logotipo se pueden localizar los Montes Tenerife.

Quizá las estructuras más espectaculares que podemos encontrar en la superficie lunar son los cráteres. Éstos tienen diferentes tamaños. Algunos de ellos son tan grandes que un observador colocado en su centro no vería el borde del cráter en el que se encuentra debido a la curvatura de la superficie lunar. Los nombres de los cráteres están tomados de astrónomos, matemáticos, filósofos, historiadores y geógrafos.

Los cráteres se han formado en su mayoría por impactos de fragmentos de asteroides y hace más de mil millones de años que no se ha producido ninguno significativo. La cara visible tiene muchos



El cráter de Tycho de 87 km de diámetro, y los rayos que dejó la explosión debida al impacto, son fáciles de localizar con unos prismáticos.



menos cráteres que la cara oculta, debido a que la propia Tierra hace de escudo protector. Estas estructuras las vemos tal y como se formaron hace miles de millones de años, al no existir una atmósfera como en la Tierra que provoque una erosión que las desgaste.



El primero en observar la verdadera estructura de la superficie lunar fue Galileo, cuando apuntó su telescopio a nuestro satélite, observando que no era un cuerpo liso y sin impurezas, como se mantenía en aquella época, sino al contrario, la Luna estaba llena de montañas, cráteres, y llanuras oscuras.

Un astrónomo alemán, Johannes Hevelius, realizó y publicó a mediados del siglo XVII el primer mapa lunar, indicando la posición de los mares; éstos recibieron el nombre que les dio un astrónomo italiano llamado Riccioli.

Mares, cráteres y montañas. Cuando mejor se puede apreciar el relieve de una zona lunar es en el momento en que el terminator pasa por ella, es decir, cuando comienza a amanecer o a anochecer sobre las montañas o cráteres.



Actualmente se mide la distancia a la Luna enviando un láser desde la Tierra a los reflectores colocados por los astronautas de la misión Apollo. La distancia se calcula cronometrando el tiempo que tarda el rayo en ir y volver. De esta manera se puede determinar su distancia con una precisión de centímetros.

Posiciones Sol-Tierra-Luna y sus consecuencias



Cuando la Luna está más lejos de nosotros (apogeo), se encuentra a unos 406 740 km, y cuando está más cerca (perigeo) a unos 356 410 km.

Debido a un lento balanceo u oscilación de la Luna sobre su posición de máxima estabilidad, denominado libración, se puede llegar a ver el 59 % de la superficie lunar.

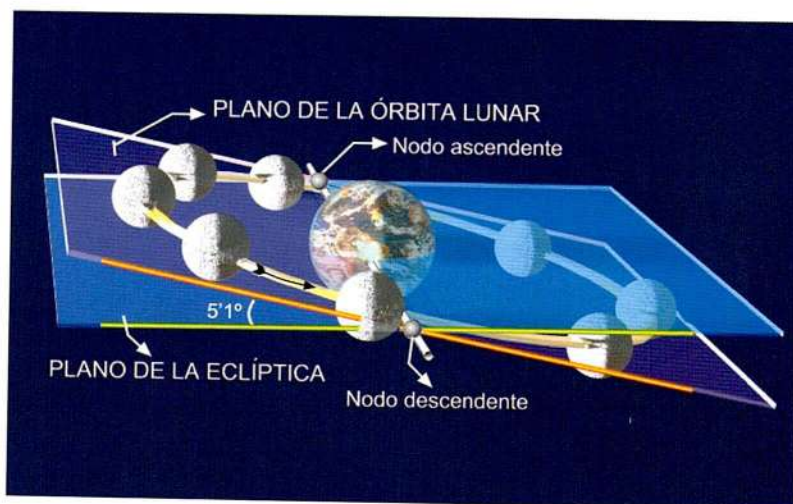
Órbita lunar

Nuestro satélite se mueve a una distancia media de 384 400 km del centro de la Tierra, en una órbita elíptica, que hace que se acerque y se aleje de nosotros continuamente. Su periodo de traslación, tiempo transcurrido en recorrer los 360 grados de su órbita, es de 27 días, 7 h, 43 min y 11,5 seg. A este tiempo se le denomina mes sidéreo.

Además, su órbita está inclinada unos 5 grados respecto de la eclíptica, por lo que la Luna la atraviesa dos veces en cada vuelta. Estos dos puntos de corte se llaman nodos (ascendente y descendente). La posición de los nodos de la órbita lunar varía de una vuelta a la siguiente.



La Luna se mueve aproximadamente a 1 km por segundo. Compruébalo. Para esto puedes suponer que la órbita es una circunferencia de radio 384 400 km.



La órbita lunar está ligeramente inclinada respecto a la de la Tierra, cortando a la misma en dos puntos llamados nodos.



Imagínate dos bolas macizas de plástico: una es homogénea y la otra tiene un trozo de plomo en un punto del interior cercano al centro. Si las echas a rodar por una superficie lisa y horizontal, la primera se detendrá aleatoriamente; la segunda no.

• ¿En qué posición quedará el plomo al detenerse la segunda bola: por encima del centro, por debajo, o aleatoriamente?

Si observas diferentes fotografías de la Luna, tomadas desde la Tierra, verás que todas son de la misma cara. Independientemente de la fase en la que se encuentre, la Luna muestra siempre la misma cara a la Tierra. La otra semiesfera lunar no es posible verla desde aquí. Ello se debe a un fenómeno denominado captura lunar. La Luna está sometida a un fuerte tirón gravitatorio por parte de la Tierra. En tiempos remotos estaba mucho más próxima y su estado era viscoso, no tan compacto como ahora. Todo ello terminó por deformar ligeramente a nuestro satélite. El centro de gravedad de la Luna, por tanto, no coincide con su centro geométrico, ya que, por simple atracción gravitatoria se desplazó un poco hacia la posición de la Tierra. Es eso lo que obliga a la Luna a presentarnos la misma cara. Éste es un fenómeno que ocurre, en mayor o menor medida, en satélites de otros planetas del Sistema Solar, como por ejemplo en las lunas de Júpiter.



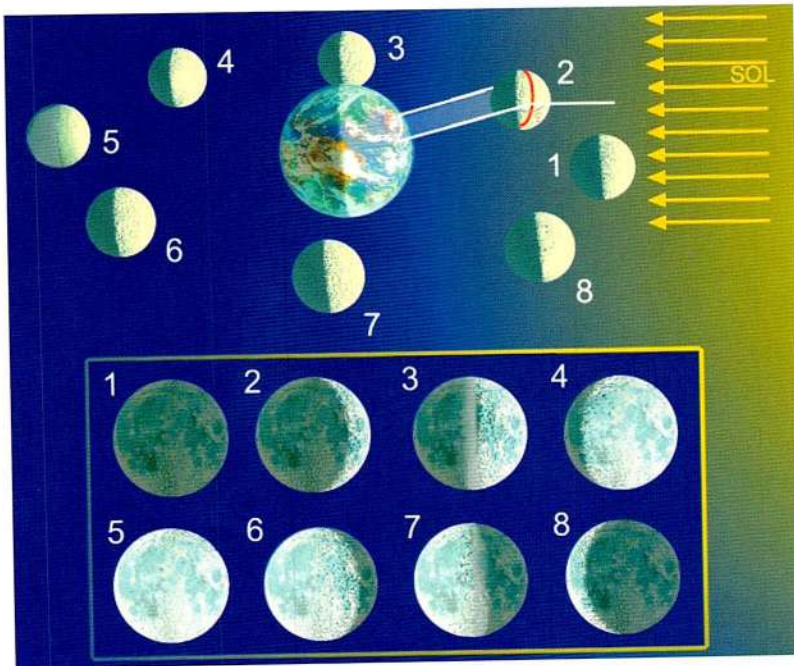
Las fases de la Luna

La Luna no siempre la vemos igualmente iluminada. Dependiendo de su posición con respecto al Sol, la parte iluminada vista desde la Tierra será mayor o menor. A este fenómeno se le conoce como fases de la Luna.

Las fases lunares se suceden de la siguiente manera:

La luna nueva (1) es invisible, pues el Sol ilumina la cara opuesta a la Tierra, orientando el lado oscuro hacia nosotros. Unos dos días después la vemos al atardecer, con una pequeña porción iluminada por la luz del Sol (2). Cada día la veremos ocultarse unos tres cuartos de hora más tarde.

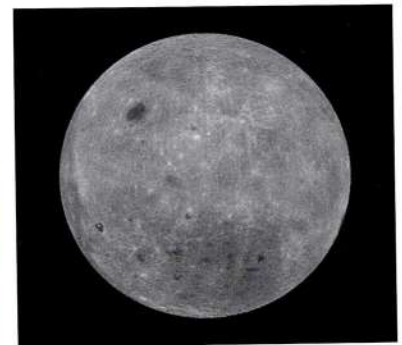
La parte iluminada va creciendo y llega el séptimo día a la fase de cuarto creciente (3), entonces la Luna alcanza su máxima altura en el cielo cuando el Sol se acaba de ocultar.



La porción de la semiesfera lunar iluminada por el Sol determina la fase. Ésta oscila entre el 0% (luna nueva) y el 100% (luna llena).

Catorce días después de la luna nueva, se produce la luna llena (5) y nos presenta el disco visible iluminado por completo. Durante un tiempo el borde lunar es una circunferencia perfecta. En esta fase desaparece cualquier indicio de sombras y por tanto de contraste. La luna llena sale por un punto opuesto a aquel por el que se está ocultando el Sol y es visible durante toda la noche.

Veintidós días después del comienzo del ciclo lunar, su salida se retrasa hasta la medianoche y justamente antes de que salga el Sol



En 1959 el satélite soviético Lunik III fotografiaba la cara oculta de la Luna y descubre que ésta apenas presenta mares. La distribución de éstos no es homogénea: están situados preferentemente en la cara próxima a la Tierra.



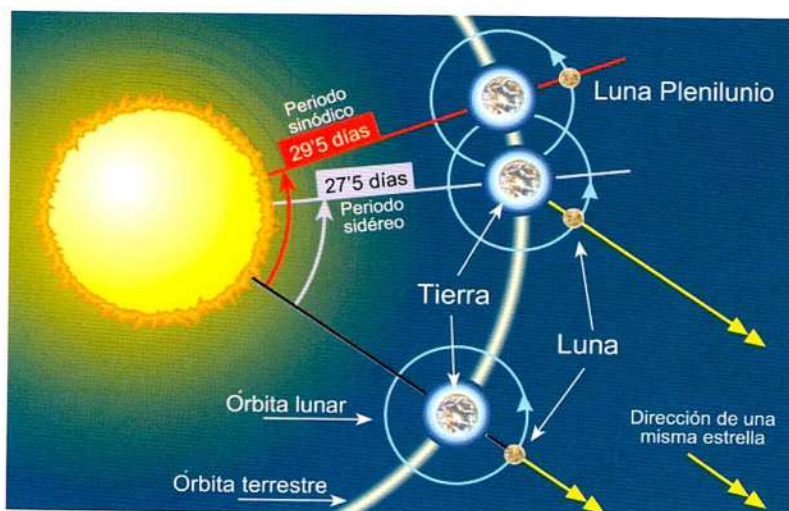
Quando hay cuarto creciente, el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran formando un triángulo rectángulo y la Luna está situada en el vértice del ángulo recto. Esta distribución se reproduce cuando hay cuarto menguante.



La Tierra disminuye lentamente su velocidad de rotación. Así, en un futuro muy lejano, presentará siempre la misma cara a la Luna.

se encuentra en su altura máxima. Estamos en la fase de cuarto menguante (7) y ahora la Luna nos presenta la otra mitad de su cara, que en cuarto creciente estaba en sombras. Su fase sigue disminuyendo hasta cerrar el ciclo con la luna nueva (1); así se completa una lunación que dura algo más de 29 días.

Se define mes sinódico al tiempo transcurrido entre dos fases iguales de la Luna, por ejemplo, entre dos Lunas nuevas, o llenas, consecutivas, y dura 29 días, 12 h, 44 min, 2,9 seg. Este tiempo es sensiblemente mayor que el mes sidéreo. Eso se debe a que en los poco más de 27 días que dura éste, la Tierra se ha desplazado sensiblemente en su trayectoria de traslación; debiendo la Luna completar un arco mayor de 360 grados para que aparezca llena de nuevo.



El mes sidéreo es más corto que el mes sinódico debido al movimiento de traslación del sistema Tierra-Luna.



Las mejores condiciones para observar el cielo nocturno es cuando hay luna nueva.

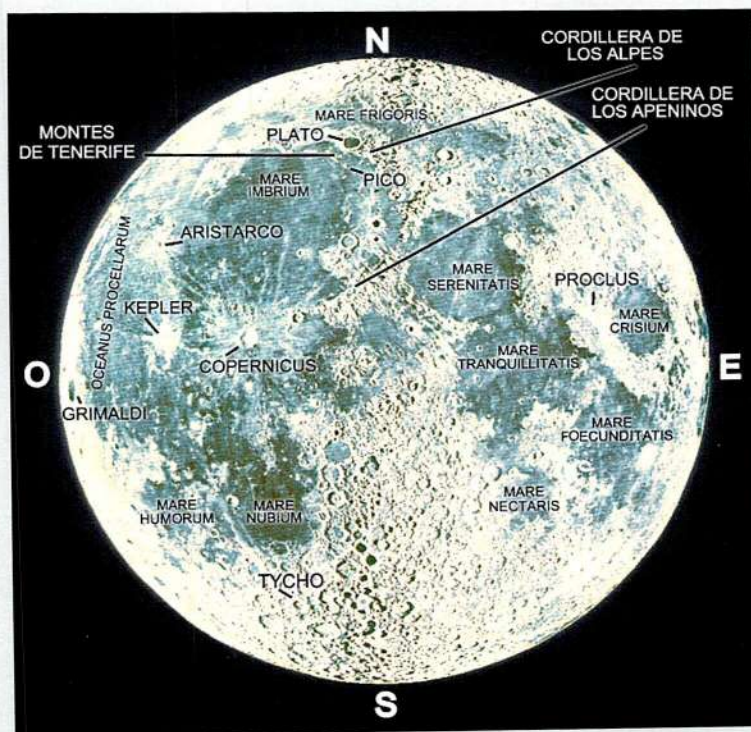
Las fases y principales rasgos de la geografía lunar



Con ayuda de unos prismáticos o con un telescopio, vas a ver los principales rasgos de la superficie de la Luna. Conforme ésta crece o mengua, el terminador va pasando por zonas diferentes, de manera que el relieve de los principales accidentes por los que transita queda destacado por el contraste que ofrecen las sombras. Dibuja los rasgos que presenta la Luna cada noche de observación, especialmente los situados en la zona del terminador.

Si apoyas los prismáticos, por ejemplo, en un trípode, la calidad de la imagen será mucho mejor.

A lo largo del año debes observar un ciclo lunar completo.



Mira en un almanaque el día de la próxima luna nueva; ese día no podrás verla. La Luna nueva está presente en el cielo diurno muy cerca del Sol, pero no la vemos porque nuestra estrella está casi alineada con ella e ilumina su cara oculta. Los dos astros salen y se ponen casi al mismo tiempo. Cuando se da la circunstancia de que la alineación de los tres astros es total tendremos un eclipse de Sol.

Día dos: Podrás observarla como un gajo finísimo en el horizonte Oeste que se hace visible un rato después de ponerse el Sol. La Luna se pondrá pronto esa noche, pero antes de hacerlo no debes perderte el espectáculo de los mares que hay en la amplia zona oscura, iluminados tenuemente por la luz que llega reflejada por la Tierra. Recuerda que es conveniente la utilización de prismáticos para observar la Luna.

Día cuatro: Ese día debes encontrar sin dificultad Mare Crisium al Este y el brillante cráter de Proclus.

Día seis: Trata de localizar además los mares Tranquillitatis, Serenitatis, Foecunditatis (Fecundidad) y Nectaris (mar del néctar).

Día ocho: Puedes encontrar ya la cordillera de los Apeninos con el relieve destacado, pues el terminador está pasando por ella. Puedes ver la parte más oriental de Mare Imbrium (mar de las lluvias).



Día dos: nuestro satélite, siguiendo su órbita, se ha desplazado hacia el Este. La separación del Sol se manifiesta en que se empieza a ver una pequeña franja de la semiesfera lunar iluminada por el Sol.

Día cuatro: la continua traslación de la Luna por su órbita hace que el cuarto día de la lunación, el gajo iluminado sea mayor.

Día seis: la traslación de la Luna hace que la veamos en una fase próxima al cuarto creciente.

Día ocho: ha superado la fase de cuarto creciente y puede verse bien durante la tarde, aunque no se haya puesto el Sol.

Día diez: la Luna presenta un aspecto giboso.

Día doce: Luna casi llena.

Días 14 y 15: la separación entre la Luna y el Sol será máxima. La Luna está llena y será visible toda la noche.

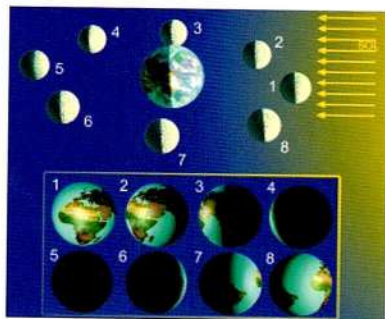
Los tres astros están aproximadamente alineados; cuando la alineación es total se produce eclipse de Luna.



Cuando la Luna está menguando vuelven a darse buenas condiciones para observar el cielo nocturno. Esto se debe a dos motivos: nuestro satélite sale más tarde y su superficie iluminada es menor.



Desde la Luna se pueden observar las fases de la Tierra. Se ven los continentes pasar de la noche al día o al revés: cuando la Tierra presenta fase creciente, se podrá contemplar el amanecer en los continentes; si la Tierra está fase menguante, se verá anochecer en ellos.



La Tierra presenta distintas fases al ser observada desde la Luna.



Cuando hay luna nueva en la Tierra, hay "tierra llena" en la Luna; y viceversa.

Día diez: Localiza al Norte la cordillera de los Alpes y a continuación un cráter redondo y cubierto de lava de 96 kilómetros de diámetro llamado Plato. Unos puntos blancos junto a él son los Montes Tenerife y Pico. Debes buscar el cráter *Copernicus* en *Oceanus Procellarum* (de las tormentas). Al Sur de *Mare Nubium* (de las nubes) te resultará fácil encontrar el cráter denominado Tycho, de 87 kilómetros de diámetro. De él salen unas rayas blancas consecuencia de la explosión que siguió al impacto.

Día doce: Debes encontrar al Oeste el cráter denominado Kepler y al Suroeste el *Mare Humorum*.

Días 14 y 15: Puedes ver el brillante cráter de Aristarco y al Oeste el oscuro cráter de Grimaldi; lo verás de perfil por la curvatura de la superficie lunar.

En días sucesivos no verás ningún rasgo nuevo en la Luna, sólo la noche lunar avanzando de Este a Oeste hasta completar el ciclo. Intenta cronometrar la hora de salida de la Luna durante los primeros días de la fase menguante.

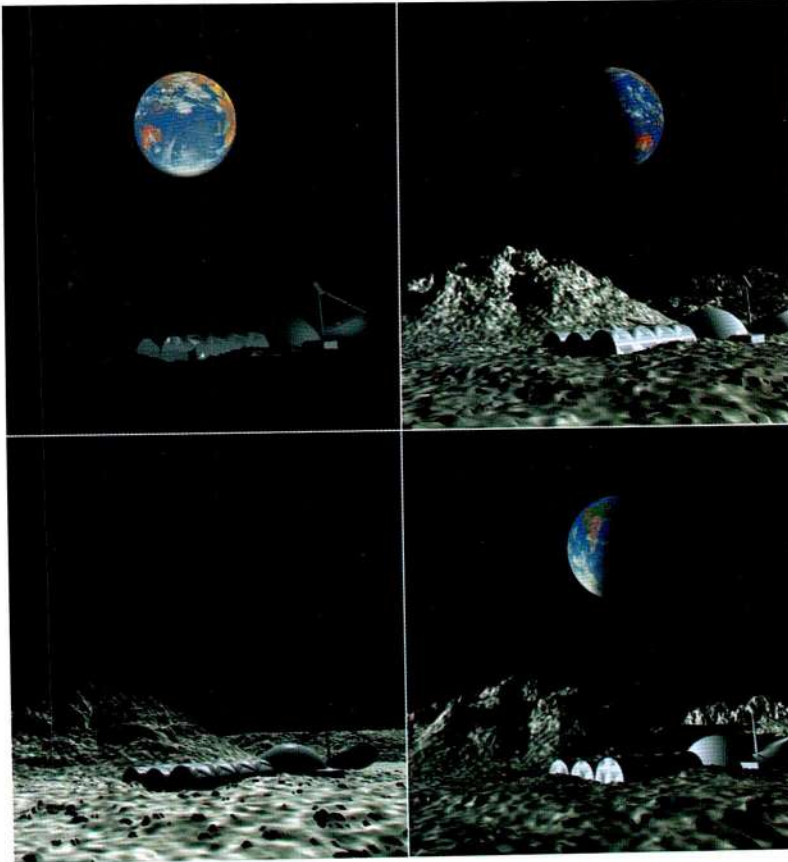
La Tierra vista desde la Luna

Desde la Luna hay una visión espectacular de la Tierra; esa es al menos la opinión de los que la han visitado. Su diámetro ocupa un campo visual de unos dos grados, casi cuatro veces mayor que el que nos muestra la Luna. Si nos situamos en la Luna, veremos la superficie de la Tierra quince veces mayor que la que divisamos de la Luna.

Desde la Luna se puede apreciar cómo gira la Tierra. En aproximadamente 24 horas y 45 minutos, se ve cómo completa una vuelta; todos los continentes desfilan entre masas nubosas por delante de un observador situado en la Luna. Éste apreciará cómo se va haciendo de noche o de día en las diferentes zonas del globo terráqueo. En 29 días podría contemplar un ciclo completo de las *fases de la Tierra*.

Imagínate una noche en la Luna presidida por una enorme "tierra llena". La luminosidad debe ser mucho mayor que la de nuestras noches de luna llena, pues la Tierra, además de tener un tamaño superior, refleja el 39 % de la luz que le llega y la Luna sólo el 7 %. Esta diferencia de albedo, que es la fracción de la luz solar reflejada por un cuerpo, se debe a la atmósfera y a los océanos.

La Tierra ocupa siempre la misma posición en el cielo vista desde



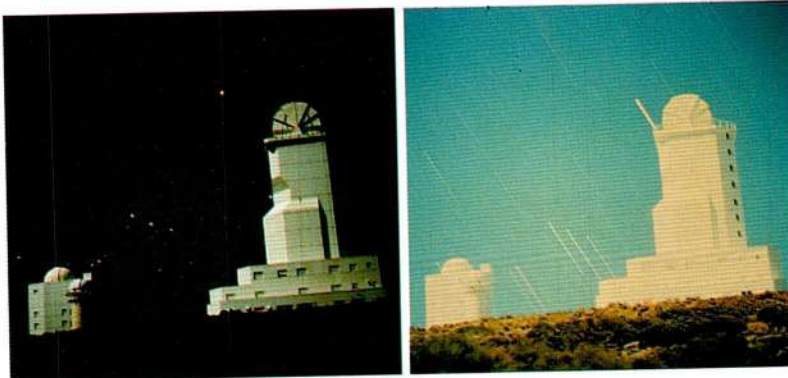
No te confundas: hay imágenes de video obtenidas desde las proximidades de la Luna, en las que parece que la Tierra sale o se pone por el horizonte lunar. Eso se debe a que han sido tomadas desde una nave que da vueltas alrededor de la Luna.



Si algún día vas de vacaciones con tu familia a la Luna, y contemplas la Tierra desde tu campamento u hotel, verás que no sale ni se pone por el horizonte lunar. Apremiarás que está fija en el espacio. Si te desplazaras a la denominada cara oculta dejarías de verla. Qué explicación darías si tus nietos te preguntaran: Abuelo, ¿por qué vemos la Tierra fija en el cielo?

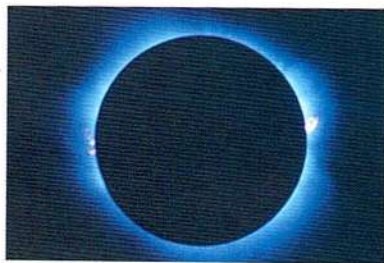
La Tierra presenta fases a la Luna.

un punto fijo de la superficie lunar. Un observador situado en el centro de la cara visible, al Este del cráter de Copérnico, vería la Tierra en lo más alto del cielo, es decir, en el cenit. Si se sitúa en el borde o limbo lunar la observaría sobre el horizonte. Desde la Tierra se puede contemplar la salida y la puesta de la



La tenue iluminación que aparece en la noche lunar se denomina luz cenicienta. ¿A qué crees que es debida?

Trata de interpretar el motivo de la diferencia de estas dos fotografías. Ambas están hechas a media noche, con luna llena y pocos minutos de separación.



"Ver un eclipse parcial de Sol y afirmar que se ha visto un eclipse es como estar fuera de un teatro y afirmar que se ha visto ópera; en ambos casos, se ha pasado por alto el acontecimiento principal".

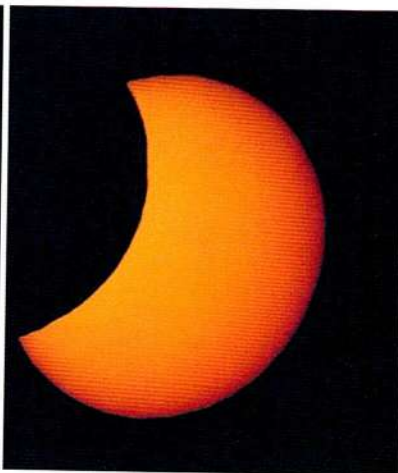
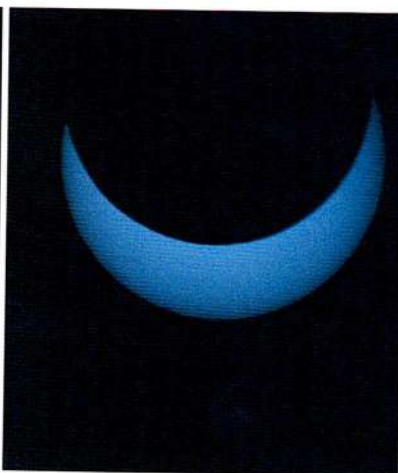
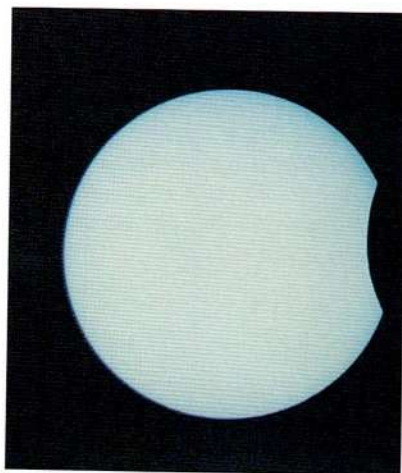
Donald H. Menzel y Jay M. Pasachoff

Luna, pero no la vemos girar. Desde la Luna se puede observar cómo gira la Tierra, pero no es posible verla salir ni ponerse.

Los eclipses

Debido al movimiento relativo de la Tierra y de la Luna respecto del Sol, a veces se sitúan los tres astros alineados. Esta distribución produce unos fenómenos denominados eclipses. En ellos podemos percibir cómo el Sol o la Luna desaparecen parcial o totalmente de nuestra vista durante un determinado tiempo.

Los eclipses de Sol: el fenómeno más espectacular que podemos observar en el cielo es sin duda alguna un eclipse total de Sol. Estos tienen lugar durante la fase de luna nueva, cuando, desde algún punto de la superficie de la Tierra, se observa que la Luna oculta parcial o totalmente el disco solar.



Evolución de un eclipse parcial.

Durante un eclipse solar, la trayectoria de la sombra de la Luna sobre la superficie de la Tierra es consecuencia de la combinación de los movimientos de traslación y de rotación de la Luna y de la Tierra, respectivamente.

En los eclipses solares hay que diferenciar los siguientes tipos:

Eclipse parcial es aquel en el que la Luna nueva sólo oculta una parte del disco solar; entonces el observador está situado en la penumbra de la Luna.

Eclipse total se produce cuando el disco solar queda completamente oculto; por tanto, el observador se encuentra sumergido en la sombra de la Luna. Esta sombra llega a la superficie de la Tierra



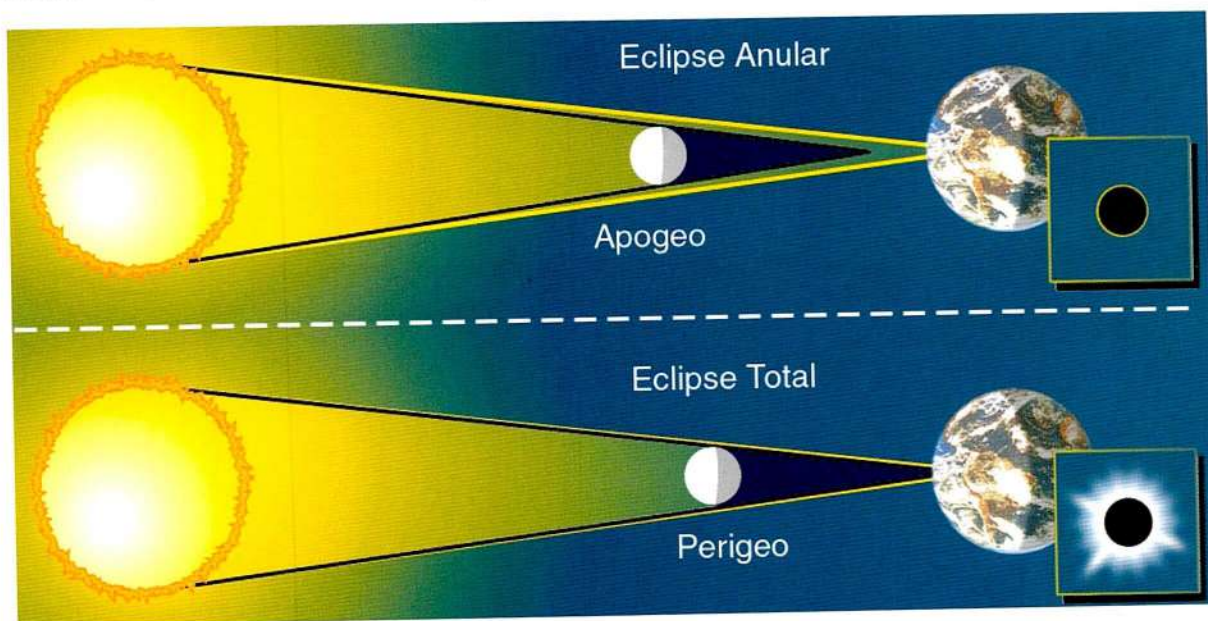


con un diámetro que raramente supera los 200 km, trasladándose y cubriendo una larga banda que determina la zona de visibilidad del eclipse.

Eclipse anular es aquel en el que se observa un anillo del disco solar alrededor de la Luna. El Sol está exactamente detrás de la Luna, pero el disco solar no queda completamente oculto. Ocurre cuando, al producirse el eclipse, la Luna se encuentra en las proximidades del apogeo, que es el punto de su órbita más alejado de la Tierra, y presenta un diámetro aparente menor que el del Sol. Debido a una serie de factores, entre los que destaca la estrecha franja de sombra que proyecta la Luna en la Tierra, raramente es posible observar desde una misma localidad más de dos eclipses totales de Sol en el transcurso de un siglo.



Desde el punto de vista de un observador situado en la Tierra, los eclipses de Sol sólo se pueden producir cuando, además de haber luna nueva, ésta se encuentra en uno de los dos puntos de corte de su órbita con la eclíptica, es decir, en un nodo.



Los eclipses de Luna: ocurren cuando la luna penetra en el cono de sombra de la Tierra. Los eclipses de luna sólo tienen lugar en luna llena y cuando nuestro satélite está en las proximidades de uno de sus nodos (punto de corte de su órbita con la eclíptica). A diferencia de los de Sol, los eclipses de Luna son visibles desde toda la cara de la Tierra que tiene a la Luna sobre el horizonte. Cuando observamos la fase de totalidad de un eclipse de Luna, nos damos cuenta de que ésta no desaparece por completo, sino que adquiere una tonalidad rojiza. Este efecto es debido a que la Tierra posee una atmósfera que refracta la luz que proviene del Sol, y lo hace con más intensidad con las radiaciones visibles de mayor longitud de onda. Por eso es mayor la proporción de fotones rojos que llegan a la Luna.

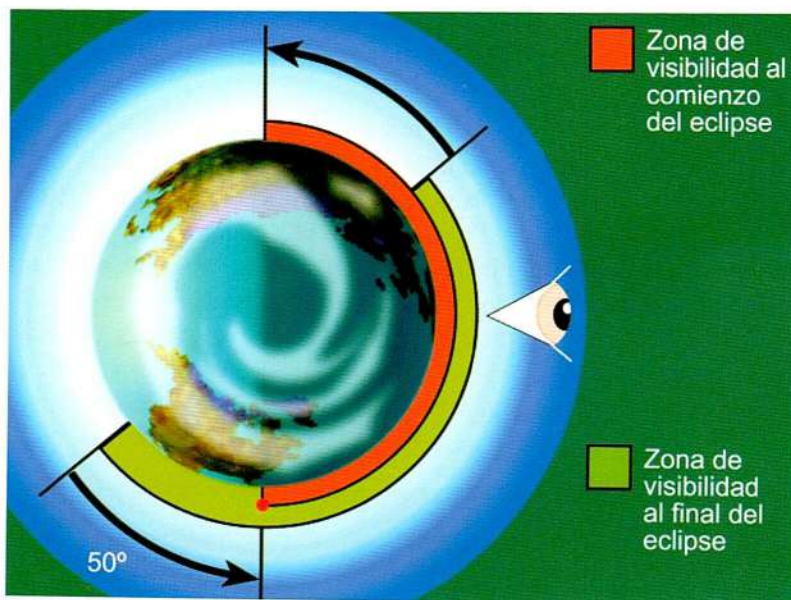
Para que el eclipse de Sol sea anular, la Luna debe estar en el apogeo o cercana a él.

Al año hay como mínimo dos eclipses de Sol en algún punto de la Tierra. Como máximo hay siete eclipses, de los que 3 o 4 son de Sol y el resto serán de Luna.

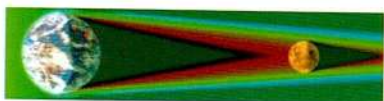




Eclipse parcial de Luna.



La Tierra gira durante el transcurso de un eclipse de Luna que puede llegar hasta un máximo de tres horas y media. Entonces la zona de visibilidad de un eclipse es mayor del 50 % de la superficie terrestre.



La tonalidad rojiza de un eclipse de Luna se debe a la luz refractada por la atmósfera terrestre.



La luz refractada por la atmósfera de la Tierra produce esta coloración en la Luna. Si la Tierra no tuviera atmósfera, la Luna desaparecería por completo durante un eclipse.

El que un eclipse de Luna sea más o menos oscuro dependerá de las condiciones en que se encuentre la atmósfera de la Tierra en ese momento. Se ha observado que en eclipses ocurridos después



Durante la etapa de totalidad de un eclipse de Luna, se puede tener una idea del grado de transparencia de nuestra atmósfera.

Este eclipse que muestra la fotografía es relativamente oscuro. Se produjo el 29 de noviembre de 1993. La atmósfera aún tenía cenizas en suspensión procedentes de la explosión del volcán Pinatubo. Compárala con la imagen anterior (eclipse del 27 de septiembre de 1996).

de una gran erupción volcánica (imagen superior), la tonalidad es más oscura que la que presenta el de la fotografía de la página anterior. A veces la Luna llega a desaparecer debido a la gran cantidad de polvo y cenizas existente en la atmósfera.



Los eclipses

La naturaleza de los eclipses inquietó en el pasado a los habitantes del planeta, al observar cómo el Sol o la Luna iban perdiendo parte de su disco hasta disminuir su luminosidad o incluso desaparecer.

La verdadera naturaleza de los eclipses llegó a ser conocida por los chinos, griegos y otras civilizaciones. Pensaron que la Luna se movía alrededor de la Tierra, aunque no en la misma órbita aparente que en la que se mueve el Sol. Y llegaron a la conclusión de que la órbita de la Luna estaba inclinada cinco grados respecto de la órbita del Sol. Con eso explicaban que los eclipses, ya sean de Sol o de Luna, no ocurren cada mes cuando la Luna es nueva o llena.

La sombra que proyecta nuestro planeta sobre la Luna durante un eclipse, sirvió como una prueba más del carácter esférico de la Tierra.



Según la leyenda, Cristóbal Colón en uno de sus viajes al Nuevo Mundo aprovechó un eclipse de Sol para su beneficio, amenazando a los indígenas que lo habían capturado con que haría desaparecer el astro rey si no lo liberaban.



Aristarco de Samos (320 - 250 a. J.) calculó la distancia entre la Tierra y la Luna a partir de la amplitud del arco de la sombra proyectada por la Tierra en nuestro satélite durante un eclipse, y obtuvo un resultado correcto: 30 veces el diámetro de la Tierra.

Las mareas

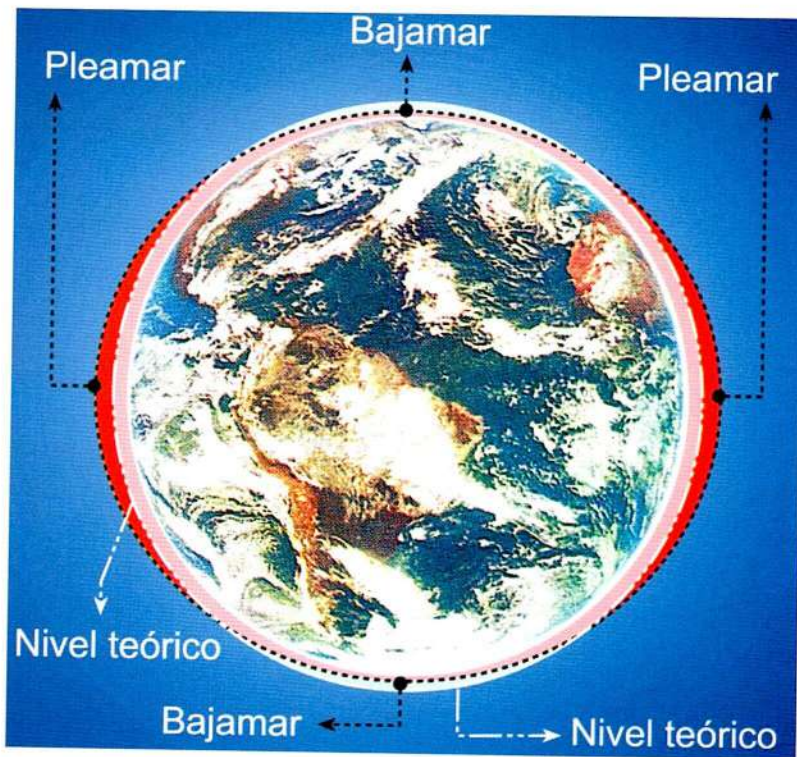
Como seguramente sabes, hay una relación entre la posición de la Luna y el ascenso y descenso periódico del nivel del agua en los océanos, fenómeno conocido por marea. Pero ¿por qué cada día el nivel del mar sube y baja dos veces, produciendo dos pleamares y dos bajamares?



La Tierra, al girar cada 24 horas, hace que la posición de la Luna varíe continuamente, y de esa manera las mareas se van desplazando por la superficie de la Tierra. Esto produce dos mareas altas y otras dos bajas cada día. Pero el periodo entre dos mareas altas es algo mayor de 12 horas, ya que la Luna sale cada día unos minutos más tarde debido a su movimiento de traslación.



Puedes comprobar que la hora a la que está la Luna en su máxima altura no coincide con la pleamar, sino que hay un desfase de algunos minutos. Esto se debe a que la inercia del movimiento de las aguas impide que el efecto de la marea sea instantáneo.



Las mareas se desplazan sobre la superficie oceánica a medida que el Planeta realiza su rotación. La pleamar se produce simultáneamente en dos puntos opuestos del océano.

La marea producida por la presencia de un astro, Sol o Luna, se debe a que la atracción sobre la superficie del mar es algo mayor, al estar más cerca, que la realizada sobre el centro de la Tierra. Este fenómeno, que se llama *atracción diferencial*, es directamente proporcional a la masa del astro que genera la perturbación e inversamente proporcional al cubo de la distancia que lo separa de la

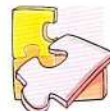


Tierra. Como la masa del Sol es unos 27 millones de veces mayor que la de la Luna, pero se encuentra unas 390 veces más lejos, la contribución solar a la marea será $27\,000\,000 / 390^3 = 0,45$ veces la contribución lunar.

Comprobada la mayor influencia lunar, imaginemos un océano de la zona de la Tierra situada en ese momento frente a la Luna; la gravedad lunar se deja notar más en la superficie que en el centro de la Tierra. Como el mar es un fluido, éste ascenderá ligeramente produciendo un abombamiento en esa zona. El mar asciende también por el lado diametralmente opuesto de la Tierra, es decir, por la cara desde donde no se ve nuestro satélite. En esto influye al menos el siguiente hecho: la fuerza de atracción que ejerce la Luna sobre esa masa de agua será menor (efecto de la atracción diferencial) al estar más alejada de nuestro satélite, por lo que los mares situados en esa zona podrán distanciarse de la Luna con más facilidad, es decir, ascenderán. El fenómeno de la pleamar tiene lugar, por tanto, dos veces al día en cada punto de la superficie oceánica. El nivel del mar se hace menor en dos zonas opuestas del planeta, situadas a 90 grados de aquellas en que se está produciendo la pleamar. El fenómeno es conocido como bajamar.

El cambio de nivel del agua en los océanos se hace más notable cada quince días, debido a que los tres astros están casi alineados y los efectos del Sol y de la Luna se refuerzan: son las mareas vivas. Unos siete días después de estas mareas, el Sol y la Luna forman un ángulo de 90 grados con la Tierra, contraponiéndose los efectos de ambos astros, pero sin llegar a anularse: son las mareas muertas.

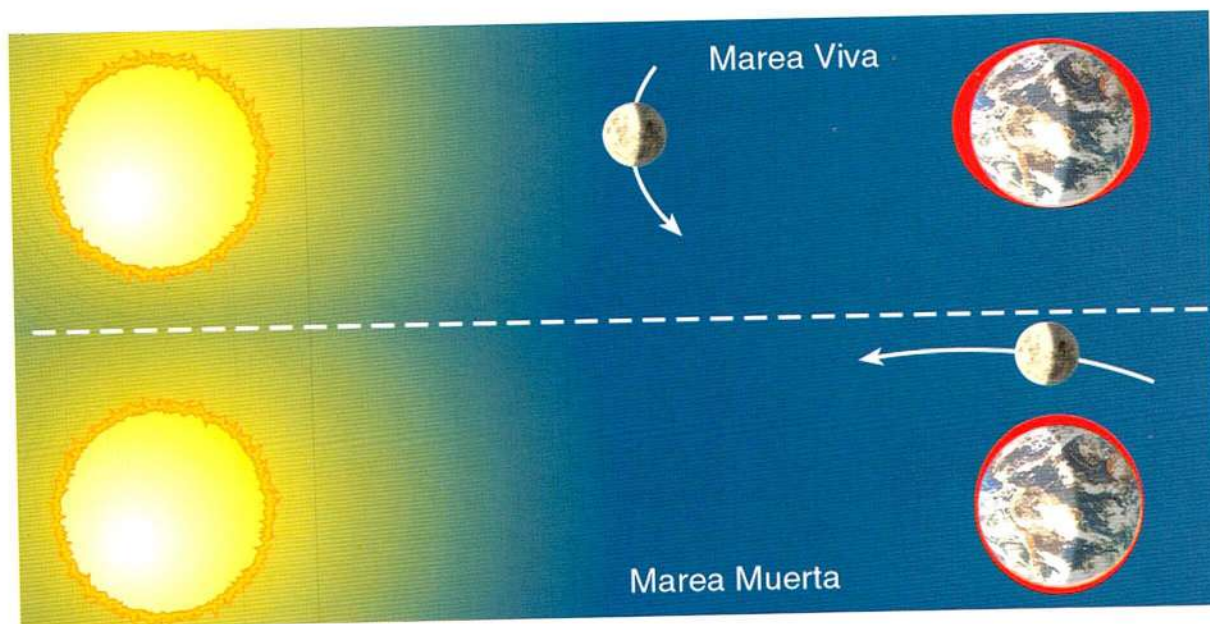
Busca en un diario local la hora a la que se produce cada pleamar y cada bajamar en el puerto de la capital de tu isla. Repite la actividad en varios días sucesivos. ¿Encuentras alguna relación entre el desplazamiento de horas de las mareas y el retraso con que la Luna sale cada día?



- ¿En el momento que está ocurriendo un eclipse de Sol, se puede decir que habrá marea viva, muerta o ninguna de las dos?
- ¿Y durante un eclipse de Luna?



Posiciones relativas del Sol, la Tierra y la Luna que dan lugar a mareas vivas y muertas, respectivamente representadas en la figura.





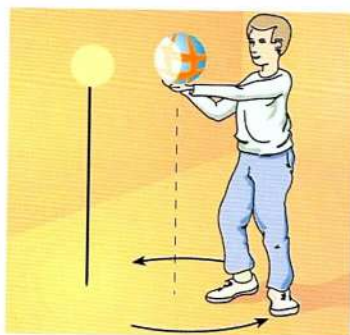
Reproducción de las fases lunares

Objetivo: Reproducir en clase las fases que se observan en la Luna.

Material: Flexo o linterna
Pelota mediana

Utilización: Coloca un flexo sobre una mesa y dirige su luz hacia ti; no debe entrar luz exterior en la habitación. Coge una pelota y sitúate a dos metros del flexo; mantenla a la altura de éste con el brazo extendido. Ahora gira sobre ti mismo, lentamente hacia la izquierda (en sentido contrario a las agujas del reloj). Al hacerlo, variará el porcentaje de superficie iluminada que tú puedes observar en la pelota, tal y como ocurre en las fases lunares. Haciendo uso del modelo, rellena el siguiente cuestionario:

- ¿Qué posición ocupa la pelota respecto del flexo cuando ves su cara totalmente oscura?
- ¿Qué forma tendrá la zona iluminada cuando veas la pelota en fase *creciente*?
- ¿Qué posición ocupará la pelota cuando la veas *llena*?
- ¿Qué forma tendrá la parte iluminada de la Luna los días anteriores al cuarto creciente?
- ¿Y después del cuarto menguante?
- ¿Durante la fase menguante, se acerca al Sol o se aleja?
- ¿Puede verse la Luna llena próxima al Sol?
- ¿En qué fase está la Luna más cerca del Sol?



Formación de cráteres en la Luna

Objetivo: El objetivo de este experimento es el de intentar reproducir la formación de los cráteres existentes en la Luna y en algunos planetas del sistema solar, así como los efectos producidos en su tamaño por el ángulo y velocidad de impacto de los meteoritos.

Material: 2 kg de harina de cocina
Chocolate en polvo
1 bandeja de unos 3 o 4 cm de profundidad
Varias piedras pequeñas de diferentes tamaños

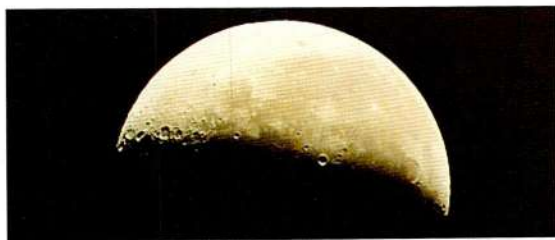
Utilización: Llena una bandeja de harina. Para alisar su superficie puedes emplear una regla pasándola un par de veces por sus bordes. Añade a continuación un poco de chocolate en polvo encima de la harina para que los cambios sean más visibles.

Coge una de las piedras y, sin lanzarla, suéltala sobre la bandeja desde un metro de altura. Verás cómo el impacto producirá estructuras similares a las que puedes observar en las fotografías de la Luna. Utiliza otra piedra de mayor tamaño y pronostica qué aspecto tendrá el cráter que forme, ¿mayor o menor que el anterior?

Repite el experimento lanzando la piedra a diferentes velocidades, o desde distintas alturas. ¿Qué diferencias observas?

Vuelve a repetirlo, pero ahora, en vez de lanzar la piedra verticalmente, lánzala con diferentes ángulos. ¿Qué aspectos tienen los cráteres a medida que variamos el ángulo de impacto?

Todos los cráteres que hemos visto en la Luna son casi circulares, como el de Copérnico, situado en el centro de nuestro satélite. Su forma se debe a que durante el impacto ocurre una explosión y las fuerzas asociadas con ésta siempre tienen simetría esférica.



Actividad

Hablando de cráteres lunares, vamos a reproducir algunas conversaciones imaginarias entre dos observadores, uno terrestre y otro lunar, situado éste en el cráter de Copérnico. Podrás ver este cráter en la fotografía, justamente en el terminador. En las conversaciones se informa de cómo se ven los respectivos cuerpos en jornadas diferentes. Rellena los huecos.

Conversación I: TIERRA: Estoy viendo a la Luna en cuarto creciente. LUNA: Pues la fase en que yo veo la Tierra es

Conversación II: T: En la Tierra tenemos Luna llena. L: En la Luna no vemos la Tierra porque está en fase de Tierra.....y queda situada muy cerca del Sol.

Conversación III: T: Estoy viendo ponerse la Luna tras el horizonte. L: ¡Tú debes estar en el limbo! Aquí siempre veo la Tierra en el mismo

Conversación IV: L: En unas horas han desfilado delante de mí desde la India hasta Brasil.

T: Pues yo siempre veo la misma..... de la Luna

Conversación V: L: Aquí se está haciendo de noche; me voy a dormir. ¿Cómo ves la Luna, creciendo o menguando? T: La veo..... Tú debes estar situado en el terminador en este instante. Procura no dormir durante toda la noche, pues serían.....horas de descanso. L: Nada de eso, las dormiré todas. Ten en cuenta que luego me espera un día igual de largo T: Pues mientras tú duermes, yo me habré pasado.....noches de acampada, porque estoy de vacaciones. L: De todas formas te diré que



poco antes de la media noche se verá desde este cráter una inmensa.....llena; su luz me despierta y lo agradezco. El espectáculo merece la pena.

Conversación VI: T: Estoy viendo un eclipse de Luna. L: Lógico, yo estoy viendo un eclipse de, porque la se ha interpuesto entre la Luna y el; además, lo veré durante un buen rato ¡Esto sí es un eclipse! Sin embargo tú lo que ves no es más que el resultado de la proyección de la de la Tierra sobre la Luna; No hay ningún astro que se pueda interponer entre nosotros, así que no es del todo correcto llamarlede Luna. T: Veo rojiza la superficie de la Luna. L: Sí, aquí no vemos el directamente, pero sí la alrededor de la Tierra enrojecida por éste. T: Creo que dentro de unos días habrá eclipse de Sol en algún lugar de la Tierra. L: Sí, eso se deberá a que proyectaremos nuestra..... sobre ustedes. Pero ésta no ocultará a toda lani mucho menos, T: ¿Podríamos decir entonces que desde la Luna se verá un eclipse de Tierra? L: En cierta forma podríamos decirlo. T: Bueno, corta que ya verás la factura que vas a pagar de móvil cuando regreses a la Tierra. L: ¡Uff!



PARA SABER MÁS

La molécula de agua y el átomo de carbono

Éstas son algunas propiedades del agua derivadas de las características físicas y químicas de su molécula:

- Es un buen disolvente de nutrientes.
- Desarrolla una importante función en la fotosíntesis.
- Es el único sólido que flota en su líquido, lo que ha permitido a los océanos no congelarse en las etapas frías por las que ha pasado el Planeta.
- Se presenta en los tres estados en un corto intervalo de temperaturas, lo que facilita la evaporación y la precipitación y, con ello, la lluvia.
- Tiene un calor específico elevado, o sea, presenta resistencia a subir y a bajar de temperatura, con lo que los océanos ejercen una importante función como reguladores de la temperatura ambiental.

Como puedes comprobar, el agua posee una larga serie de propiedades que hacen que sea esencial para la vida en nuestro planeta. El mérito de la Tierra consiste en haberla retenido y mantener una temperatura que le permite cambiar de fase con facilidad.

El carbono es el elemento clave en la química de los seres vivos. Su átomo tiene una estructura que le permite formar largas cadenas. Los hidrocarburos o el ADN son consecuencia de los enlaces del polifacético átomo de carbono. Son pocos los elementos que tienen cuatro electrones en su última capa, y de ellos sólo el carbono y el silicio pueden formar cadenas enlazándose consigo mismo, pero las cadenas formadas por el silicio se oxidan en la atmósfera terrestre, formando sílice (SiO_2), que es el principal componente de la arena. El carbono es el único elemento, al menos en la Tierra, capaz de suministrar una estructura para las

macromoléculas de los seres vivos. Una simple bacteria está constituida por miles de compuestos. La variedad de proteínas es enorme y en todas ellas el átomo de carbono desempeña un papel esencial. Los biólogos han clasificado más de un millón de especies vivas, lo que representa un billón de clases de proteínas distintas.

La influencia de la atmósfera en la observación astronómica

Centelleo

La atmósfera de nuestro planeta afecta considerablemente a nuestras observaciones, debido a que la luz de las estrellas tiene que atravesarla hasta llegar a nuestros ojos. Así, al observarlas, notamos que su luminosidad fluctúa. A este cambio rápido de brillo lo llamamos centelleo, y es mayor cuanto más cerca del horizonte se encuentran las estrellas y cuanto menos elevación tenga el lugar desde el que se observa.

El centelleo de las estrellas está provocado por corrientes de aire a distintas temperaturas, que producen turbulencias. El aire caliente es menos denso que el frío (es decir, hay menos aire en el mismo volumen) y menor será el ángulo con el que refracta la luz. Si observamos una fuente puntual, como es el caso de una estrella, su luz, al atravesar la



La luz procedente de una estrella cambia rápidamente de dirección, dependiendo de las condiciones en las que se encuentren las capas atmosféricas que tenga que atravesar.

atmósfera, es refractada con diferentes ángulos, con lo que unas veces entra en nuestra pupila y otras no, observándose cómo el brillo de la estrella cambia rápidamente.

Este fenómeno disminuye a medida que ascendemos por una montaña, pues la capa de atmósfera es menor.

Una manera sencilla de diferenciar a un planeta de una estrella es que la luz del primero apenas centellea. Esto es debido a que los planetas, al estar mucho más cerca de nosotros que las estrellas, presentan un pequeño disco, mientras que las estrellas siempre se ven como puntos; por lo que, si un rayo procedente de una parte del disco de un planeta es refractado fuera de nuestra pupila, siempre habrá rayos de otra parte del disco que entren en ella, con lo que un flujo de luz estable incidirá dentro del ojo.



Los planetas no suelen centellear, pues siempre habrá algún rayo de su disco que incida en nuestra pupila.

Extinción

Parte de los rayos procedentes de un astro no llega a nosotros al ser filtrados por la atmósfera; ese fenómeno, que se manifiesta con una disminución de brillo del astro, se denomina extinción. En el caso de una estrella situada en el cenit es de una décima de magnitud y aumenta progresivamente a medida que observamos más cerca del horizonte. La extinción depende de la longitud de onda, siendo más acusada en los rayos de longitud corta, es decir, los azules, y menos en los de longitud

larga, los rojos. Este es el motivo por el cual las estrellas aparecen con coloración rojiza cuando se encuentran cerca del horizonte.

El color del cielo

El cielo es azul. Evidente ¿no?, pero ¿por qué es así? Cuando los primeros seres humanos consiguieron volar por encima de la atmósfera inferior, a una altitud de unos 30 km, se encontraron con un cielo de un oscuro color púrpura, casi negro. Ese efecto ya se empieza a apreciar al subir a una montaña alta, como el Teide. Sin embargo, durante una puesta de Sol, el cielo se tiñe de tonos rojos, lo mismo que la luz reflejada por la Luna cuando está a muy poca altura sobre el horizonte. La explicación de todo esto es la misma.

En las fotografías de la Tierra, tomadas desde una nave en órbita, se aprecia sobre su horizonte que la atmósfera del planeta es una delgada capa de color azul que se va diluyendo gradualmente en el espacio exterior. Éste es negro porque está casi vacío. No hay nada en él que altere la trayectoria de los rayos de luz, aunque estés a pleno Sol; cuando desvíes un poco la mirada, lo único que verás será la negrura del espacio y las estrellas.

El color del cielo se debe a cómo interactúa la luz con el aire. La luz tiene cierta dificultad en atravesar la atmósfera porque se va encontrando con las moléculas de los gases que la componen (principalmente nitrógeno y oxígeno) y rebota en ellas. A este fenómeno se le llama dispersión de Rayleigh, en honor del físico que lo descubrió.

Pero no todos los colores son dispersados por igual. La luz de color azul tiene una longitud de onda corta, en comparación con otras del espectro visible. Su longitud es similar al tamaño de las moléculas de los gases atmosféricos, por lo que la luz azul es dispersada en mayor medida que la luz roja, cuya longitud de



onda es mayor que el tamaño de las moléculas gaseosas.

Cuando alzamos la mirada al cielo, la luz que vemos es la de color azul, que llega a nuestros ojos indirectamente, tras ser dispersada y difundida después de múltiples colisiones con las moléculas gaseosas. Cuando observamos el Sol próximo al horizonte, el espesor de la capa atmosférica que atraviesa su luz es mucho mayor que cuando está alto en el cielo. Por eso, una parte de luz azul no consigue atravesarla y el cielo se tiñe con la luz naranja, que es el color que resulta al eliminar el azul.

Las mareas en los puertos canarios

Informaciones como la que aquí se reproduce las encontrarás en algunos periódicos de Canarias. En ella apreciarás que no hay una relación uniforme entre las horas a las que se producen las diferentes mareas en las islas orientales y las occidentales, aunque sólo sea cuestión de minutos. Esta ausencia de relación se debe a que en los movimientos de subida y de bajada del mar originados por la Luna, y, en

menor medida, por el Sol, influyen muchos factores, como la topografía del fondo marino, su profundidad, la forma y orientación de la costa, etc.

Observación del centelleo



Esta práctica la puedes hacer una noche que salgas a observar en una zona alta.

Poco antes de volver a casa elige una estrella conocida que esté alta en el cielo pero que no haya culminado aún y fíjate en su parpadeo. Cuando hayas regresado vuelve a observarla y comprueba si su oscilación ha aumentado. Entre ambas observaciones no debe haber pasado mucho más de dos horas.

Observación de la extinción

Elige una estrella situada a unos 30 o 40 grados sobre el horizonte Oeste; fíjate en su brillo y si cambia de color. Vuelve a observarla un par de horas después, cuando esté ya bastante cerca del horizonte. Comprueba si su brillo es el mismo que antes y si se aprecia cambio en su color.

MAREAS

PUERTO PATRÓN: Puerto de La Luz (Gran Canaria)

	1ª PLEAMAR		1ª BAJAMAR		2ª PLEAMAR		2ª BAJAMAR	
	Hora	Alt./m.	Hora	Alt./m.	Hora	Alt./m.	Hora	Alt./m.
HOY	04.23	2,21	10.19	0,65	16.38	2,15	22.34	0,69
MAÑANA	04.57	2,12	10.54	0,75	17.15	2,02	23.54	0,80

HORARIO SOLAR

Día	Salida	Puesta
DIA 25	07.50	19.54
DIA 26	07.51	19.52 ^a

Diferencias con el Puerto Patrón

	Hora		Altura/metros	
	Pleamar	Bajamar	Pleamar	Bajamar
Pto. de Arrecife	+0.45	+0.45	+0.13	+0.01
Pto. del Rosario	+0.10	+0.10	+0.09	+0.01
Pto. S/C de Tenerife	+0.15	+0.15	—0.20	—0.03
Pto. Los Cristianos	+0.55	+0.55	—0.35	—0.05
Gomera	0.00	0.00	—0.45	—0.06
Pto. S/C La Palma	+0.55	+0.55	—0.28	—0.04
Pto. de El Hierro	+0.30	+0.30	+0.26	+0.03
Pto. Arguineguín	—0.10	—0.10	—0.25	—0.04



Nueva
Día 20



Llena
Día 6



Creciente
Día 28



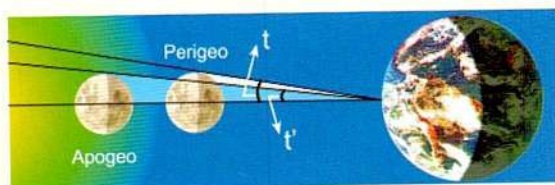
Menguante
Día 13

El instante en que se producen las mareas en cada puerto no guarda una relación fácil de justificar. Para saber la hora exacta a la que se producen hay que recurrir al Servicio hidrográfico, que las determina de forma experimental. (Canarias 7).



Observación de la variación de la distancia a la Luna

Esta observación debe realizarse con luna llena. Consulta en uno de los programas informáticos de las páginas 50-51 la declinación de la Luna ese día. La rotación de la Tierra hace que un objeto como la Luna vaya cambiando de posición durante la noche (la influencia de la traslación lunar se puede despreciar al ser su efecto treinta veces menor). Este movimiento aparente se aprecia mejor con telescopio. Cronometra el tiempo que tarda la Luna desde que toca el borde del campo de visión del aparato, hasta que desaparece completamente. Repítelo varias veces, calcula la media y exprésalo en segundos. Multiplicando ese tiempo por 15 y por el coseno de la declinación, obtendrás el diámetro aparente de nuestro satélite expresado en segundos de arco. Repite la observación otras noches de luna llena a lo largo del curso. Observarás que los tiempos empleados cambian ligeramente. Cuando el tiempo es mayor se debe a que la Luna está más cerca, presentando un ángulo de más amplitud en el campo de visión del telescopio, por lo que la Tierra precisará girar un poco más (más tiempo) para cubrirlo. En el apartado **Matemáticas celestes** se te propone que calcules la distancia a la que estaba la Luna en una de tus observaciones.



El agujero de ozono

Con esa denominación se conoce la disminución de la proporción de ozono (O_3) en la estratosfera,

que se detecta con especial incidencia en el polo Sur de la Tierra.

Busca información y realiza un trabajo en el que expongas si realmente está disminuyendo el espesor de la capa de ozono en la Antártida o si se trata de un fenómeno coyuntural o cíclico.

Si crees que está disminuyendo, debes indicar cuáles pueden ser los principales agentes que han desencadenado esa situación y qué soluciones se están arbitrando.

El efecto invernadero

La atmósfera, incluido el dióxido de carbono, es transparente a la luz visible del Sol, por lo que el suelo se calienta. Pero cuando este último devuelve el calor, lo hace en forma de radiación infrarroja. Como el dióxido de carbono, que se encuentra en la atmósfera en pequeña proporción, impide la salida de los rayos infrarrojos al espacio exterior, el resultado es un ligero recalentamiento de la atmósfera. La actual civilización es responsable del aumento de concentración de este gas en la atmósfera, y debe aplicar soluciones que hagan compatible el justo desarrollo de las regiones del Planeta con el delicado equilibrio de la capa gaseosa.

El calendario



Desde el principio de la civilización, el ser humano siempre ha estudiado el comportamiento cíclico de la Naturaleza. Los fenómenos astronómicos son los ciclos de la Naturaleza más exactos y conocidos. Ejemplos de ello es el ciclo día y noche, las fases de la Luna y las estaciones, que constituyen las unidades básicas de medidas del tiempo, en las que se basan casi todos los calendarios



empleados. Veamos a continuación en qué se fundamentan algunos de estos calendarios.

El **calendario gregoriano**, por el que actualmente nos regimos, data de la reforma del calendario efectuada por el papa Gregorio XIII en 1582. Esta reforma se realizó debido a que el anterior, el **calendario juliano**, no tenía en cuenta la verdadera duración del año, por lo que a medida que los años pasaban se producía un desfase entre las fechas y las estaciones. Para corregir este error, se eliminaron unos 11 días, con lo que el día juliano (4/10/1582) fue seguido por el gregoriano (15/10/1582). La primavera comenzó, a partir de esa fecha, siempre el mismo día, el 21 de marzo. El calendario juliano tenía en cuenta que la duración del año es de 365,25 días, por lo que uno de cada cuatro años pasó a tener 366 días, al que llamamos año bisiesto. El gregoriano fue mucho más exacto al considerar bisiestos todos aquellos cuyas dos últimas cifras fueran divisibles por 4, pero precisó aún más: no serían bisiestos aquellos años correspondientes a final de siglo que no fueran divisibles por 400. De esa manera, los años 1700, 1800, 1900 o 2100, por ejemplo, no son bisiestos. Y en cambio, en esta secuencia el 1600 y el 2000, sí lo son. La duración del año gregoriano es de 365,2425 días, mucho más precisa que la de su predecesor.

Para fijar las fiestas religiosas se utiliza la fecha de Pascua, la cual se determina mediante un calendario lunar. En el Concilio de Nicea (325 d.C.) se adoptó el acuerdo de que la Pascua se celebrara siempre el primer domingo después de la primera luna llena de primavera.

El calendario musulmán es un calendario lunar, con meses de 29 o de 30 días. En él hay años normales, de 354 días, y años abundantes de 355. El comienzo del cómputo de los años coincide con la huida de Mahoma de la Meca el 16 de julio de 622 d. C.

Otro calendario, aunque algo más complejo, es el judío, que es una mezcla de calendario

lunar y calendario solar. Comienza a contabilizarse a partir del 7 de octubre del 2761 a.C. desde las 6 de la tarde, hora y día en el que, según su religión, se creó el mundo.

Los astrónomos utilizan para sus cálculos la fecha juliana, con la que se consigue un cómputo continuo de los días. Su punto de origen es el 1 de enero del 4713 a.C. a las 12h TU. De esa manera, por ejemplo, para el 1 de enero del año 2000, corresponderá como fecha juliana el 2451545, a partir de las 12 TU. Si observas, el cambio de día no se efectúa a medianoche sino a mediodía, algo que lo diferencia de los demás calendarios.

Determinación de las distancias correspondientes al apogeo y perigeo de la Luna. Concepto de radián



Cuando la Luna está en su perigeo la vemos mayor y en el apogeo se ve menor.

Elige el mayor de los tamaños angulares de la Luna que obtuviste en el último apartado **Vamos a observar** y, sabiendo que el diámetro lunar es de 3476 km, calcula la distancia a la que estaba.

Haz lo mismo con el menor tamaño angular que obtuviste.

Ayuda: Ya en la unidad tres se trabajó este concepto, recuerda:

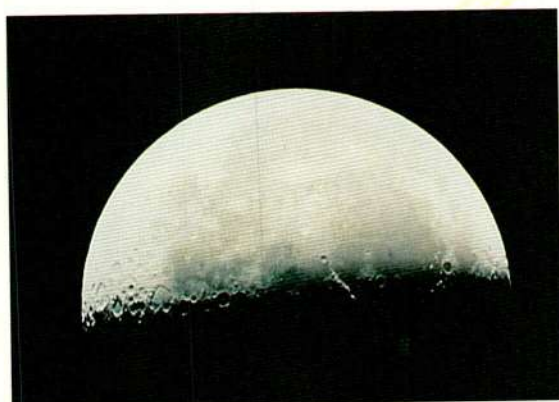
Radián es el ángulo que forman dos radios de una circunferencia cuando la longitud del arco que abarcan sea igual a la longitud del radio. Si llamamos S a la longitud del arco, R a la del radio y φ al ángulo expresado en radianes, tendremos que si φ vale un radian $S=R$; si vale 2 radianes $S=2R$; en general: $S=\varphi$ (en radianes) $\times R$.

En la práctica, para ángulos no muy grandes, se puede aplicar la anterior expresión, aunque R no sea un arco sino un trazo recto.

Equivalencia: Un ángulo de π radianes es igual a 180 grados.

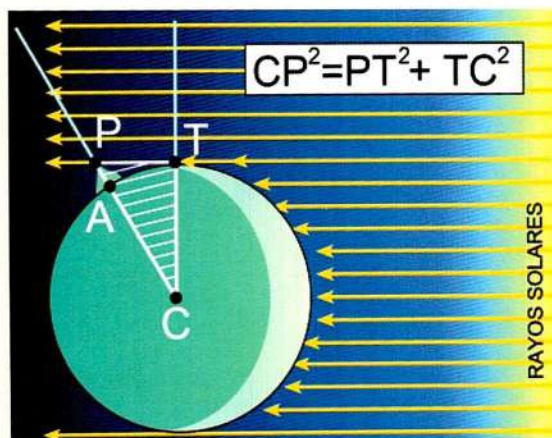
Cálculo de la altura de las montañas de la Luna: teorema de Pitágoras

Para calcular la altura que tienen las montañas de la Luna, vas a usar el mismo método que Galileo. Tienes que observar la Luna con telescopio durante la fase creciente, entre el quinto y noveno día de la lunación. Tratarás de localizar, en la zona oscura de la Luna próxima al terminador, un puntito blanco, es decir, la cumbre de una montaña que acabe de salir iluminada por el Sol. (También puedes hacer la observación durante la fase menguante, entre los días 20 al 24 de la lunación y buscar una cumbre que esté a punto de ponerse). Una vez localizada, mide la distancia del punto al terminador, indicándola como fracción del diámetro lunar. Fijate en el ejemplo de la fotografía.



En esta fotografía, obtenida el 17/9/95 a las 2:26 horas, se aprecia bien el relieve de los Montes Apeninos y de los Alpes. La Luna está menguando y el Sol se está poniendo por esas cordilleras. La que está más al Sur de las dos, los Apeninos, presenta unos puntitos blancos, son cumbres altas de esa cordillera en las que está anocheciendo. Al medir cuidadosamente la distancia desde los más alejados al terminador se obtiene que es de 1/24 veces el diámetro de la Luna, es decir, 145 km.

La altura la puedes calcular aplicando el teorema de Pitágoras; observa el dibujo siguiente:



Método empleado por Galileo para calcular la altura de las montañas de la Luna. Conocemos que el radio de la Luna, $CT = CA$, es de 1738 km. La distancia AT se había calculado y era igual a 145 km. Podemos aproximar y decir que $PT = AT$, ya que la altura de la montaña es casi despreciable frente a esa distancia. Por tanto, se conocen los dos catetos de un triángulo rectángulo $TC = 1738$ km y $PT = 145$ km, y podremos determinar la hipotenusa CP , de donde se deduce que $CP = 1744$ km. Para calcular la altura de la montaña AP , se resta a CP el radio de la Luna. $AP = CP - CA = 1744 - 1738 = 6$ km.

Esa es la altura aproximada de las cumbres más elevadas de la cordillera lunar de los Apeninos.



Las siguientes direcciones te permitirán ver imágenes de alta resolución de la Luna, la llegada del ser humano a nuestro satélite, la Tierra observada desde el espacio, como la ven los astronautas, e imágenes meteorológicas.

DIRECCIONES DE INTERÉS

Clementine

<http://clementine.cst.cnes.fr/index.en.html>

Johnson Space Center

<http://Images.jsc.nasa.gov>

Weather Satellite Gallery

http://www.j-2.com/space/geos_sat.htm

El tiempo en Canarias

<http://www.iac.es/weather/index.html>

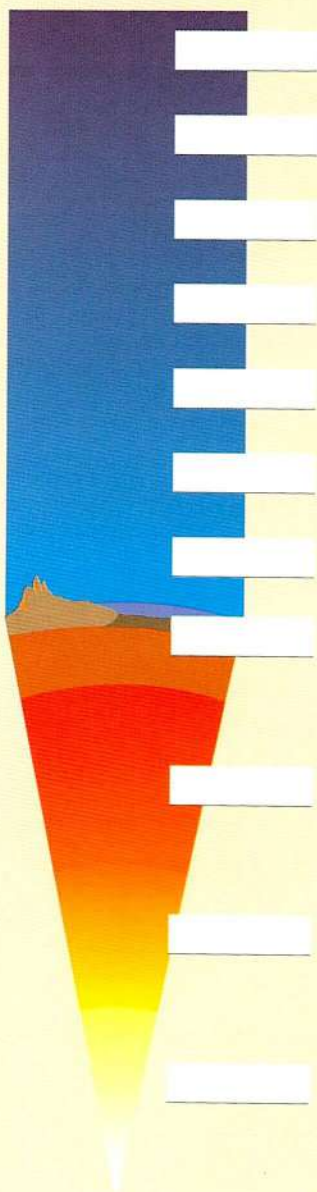
Earth from Space

<http://earth.jsc.nasa.gov/>



AUTOEVALUACIÓN

Estructura de la Tierra



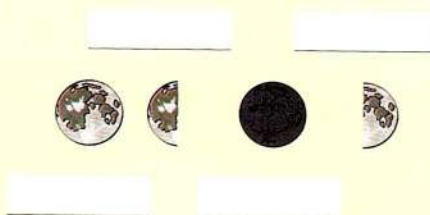
Topografía



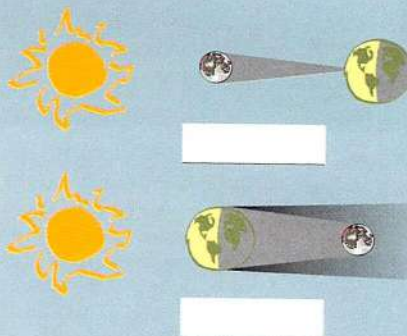
Rellena los huecos con estas palabras:

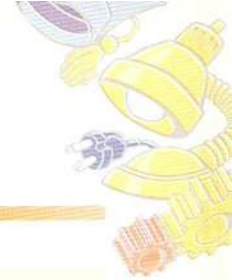
Copernicus
Creciente
Corteza
Eclipse de Luna
Eclipse de Sol
Estratosfera
Exosfera
Ionosfera
Kepler
Llena
Magnetosfera
Manto
Mare Crisium
Mare Fecunditatis
Mare Imbrium
Mare Serenitatis
Mare Tranquillitatis
Menguante
Mesosfera
Núcleo externo
Núcleo interno
Nueva
Oceanus Procellarum
Termosfera
Troposfera
Tycho

Fases



Eclipses





- *Toda la carne es verde.* Trata de averiguar el significado de este refrán.
- Indica factores que consideres decisivos en la aparición de formas de vida en la Tierra.
- ¿Sabes si los átomos de los elementos químicos se han formado en la Tierra?
- ¿Qué crees que ocurriría si la Tierra ofreciera siempre la misma cara al Sol?
- ¿Cuáles serían los principales efectos de la deforestación?
- Indica algunos pasos imprescindibles para hacer habitable la Luna.
- ¿Qué astro está más lejos de la Tierra, el Sol o la Luna? ¿Cuántas veces?
- ¿Cuál de los dos es mayor? ¿Cuántas veces es mayor?
- ¿Por qué vemos con el mismo diámetro aparente a la Luna y al Sol?
- Realiza una exposición verbal o escrita, en la que muestres a tus compañeros la necesidad de proteger los bosques. Discutan posibles

soluciones para evitar los incendios y la pérdida de masa forestal.

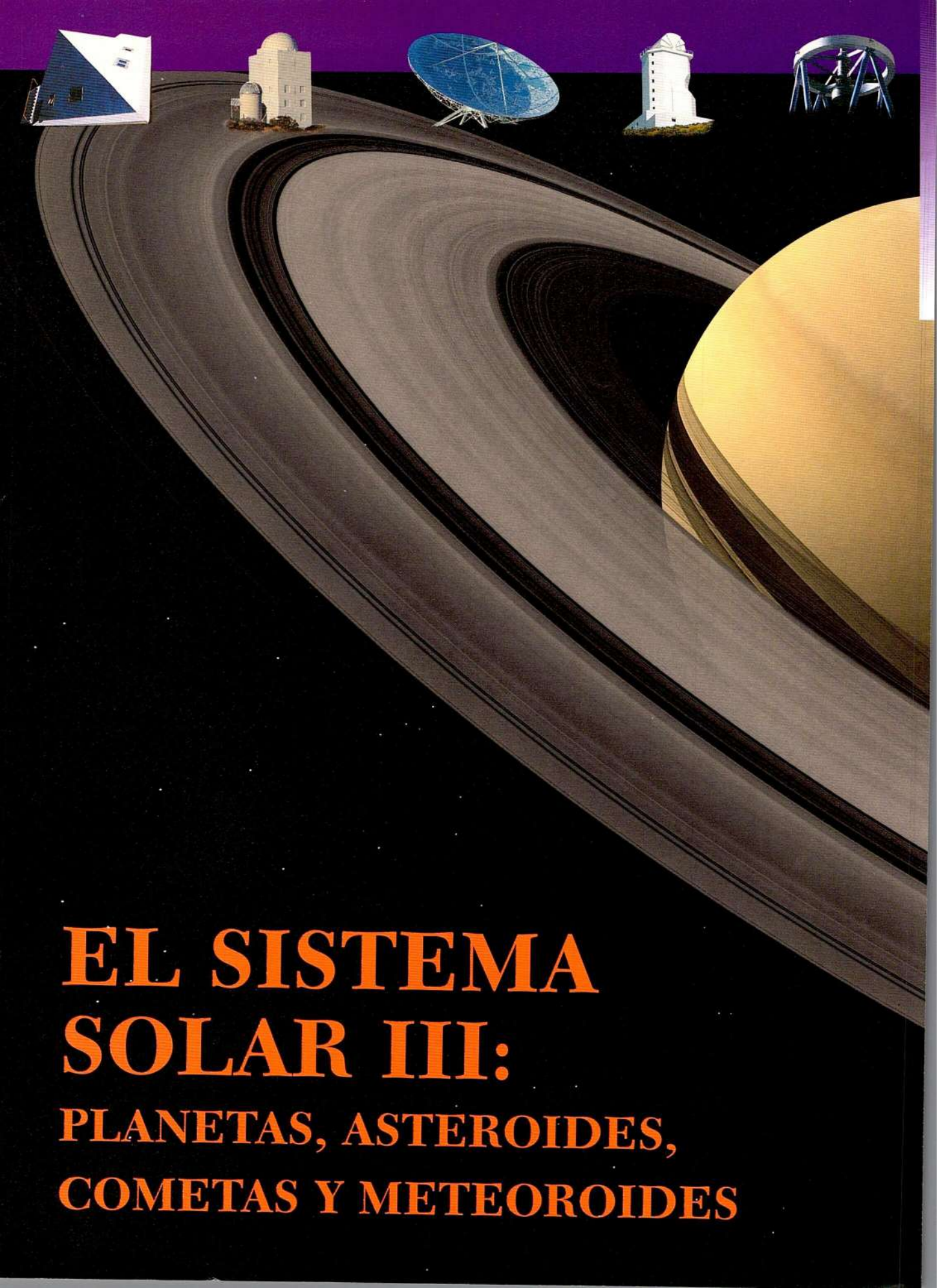
- ¿Has visto algún eclipse de Luna? ¿Qué fase presentaba antes y después del eclipse?
- ¿Se producen los eclipses de Luna cada vez que hay luna llena?
- ¿Qué fase debe tener la Luna para que se produzca un eclipse de Sol?
- ¿Qué condiciones tienen que producirse para que el Sol oculte a la Luna?
- ¿En qué fase está la Luna más cerca del Sol?
- La Luna tarda más en presentar dos fases iguales consecutivas que en describir 360 grados alrededor de la Tierra. ¿Por qué?
- ¿De qué color se ve el cielo durante el día lunar?
- ¿A qué se debe el color rojizo de la superficie de la Luna cuando está eclipsada?
- Formula una hipótesis que trate de explicar por qué la Luna nos ofrece siempre la misma cara.

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:
Apogeo, aurora, cráter, eclipse, marea, mes sidéreo, mes sinódico, nodo, perigeo.

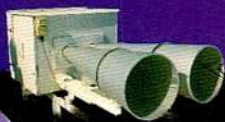
BIBLIOGRAFÍA

- ASIMOV I., *Cien preguntas básicas sobre la ciencia*. Madrid, Alianza Editorial, 1991.
HERRMANN J., *Atlas de astronomía*. Madrid, Alianza, 1984.
FAVERO G., *Estrellas galaxias y planetas*. Madrid, Ediciones Generales Anaya, 1985.
Moore P., *La Luna*. Madrid, Hermann Blume, 1986.



EL SISTEMA SOLAR III:

PLANETAS, ASTEROIDES, COMETAS Y METEOROIDES



6



Si viviéramos en un planeta donde nunca cambia nada, habría poco que hacer, no habría nada que explicarse. No habría estímulo para la ciencia.

Carl Sagan. Cosmos, 1980

Los planetas y sus satélites, así como otros cuerpos menores, son nuestros compañeros de un viaje sideral conducido por el Sol a través de la galaxia. Los planetas nacieron y evolucionaron al igual que la Tierra, pero en ellos la materia no logró el mismo grado de desarrollo. Tras varias décadas de exploración, pisar alguno de estos cuerpos y crear en ellos condiciones para nuestra adaptación suponen un reto y una esperanza para la humanidad. Mientras tanto, contemplarlos en el cielo nocturno es fuente de serenidad e inspiración.

Hay cuerpos parecidos a las estrellas que podrás ver cómo se desplazan entre ellas en noches diferentes: son los planetas. Algunos tienen lunas visibles con telescopios: son los satélites.

En ciertas ocasiones, rocas de varios kilómetros han pasado relativamente cerca de la Tierra: son los asteroides.

Con relativa frecuencia se acercan hasta las proximidades del Sol unos bolas heladas procedentes de los lugares más alejados del sistema solar y desarrollan vistosas colas: son los cometas.

¿Quién no ha pedido un deseo al ver una estrella fugaz? Realmente no se trata de estrellas, son pequeños fragmentos que dejan rastros cuando se queman en la atmósfera: son los meteoros.

¿Qué planetas se pueden ver esta noche?
¿Podrías localizar alguno?

¿Has visto las lunas de Júpiter a través de unos prismáticos?

¿Crees que puede haber vida en otros planetas?

¿Se conoce algún planeta que gire alrededor de otra estrella que no sea el Sol?

¿Cómo se ha formado la cola de los cometas?
¿Qué ocurriría si la Tierra atravesara una de ellas?

¿Sabrías decir que es una "lluvia de estrellas"?

Los planetas del sistema solar



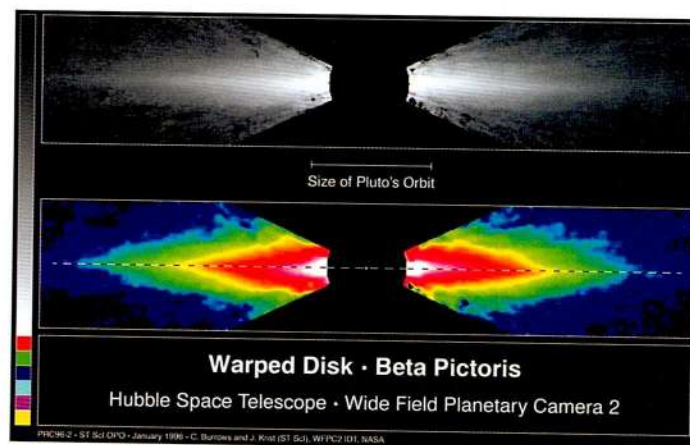
Ya conoces de qué forma se originaron los planetas y cómo quedaron distribuidos, girando todos en el mismo sentido y aproximadamente en el mismo plano alrededor del Sol. Así mismo, tienes una referencia sobre las distancias interplanetarias, las unidades empleadas en su medida y el lugar que ocupa el sistema solar en nuestra galaxia.

Los planetas son cuerpos celestes que giran en órbitas elípticas alrededor del Sol. No tienen luz propia como la que poseen las estrellas y resultan visibles debido a la luz solar que reflejan. Algunos, como Venus o Júpiter, se ven mucho más brillantes que las estrellas. Los lejanos como Urano o Neptuno se aprecian como estrellas débiles y pueden localizarse con la ayuda de instrumentos ópticos. Pero las distancias que separan la Tierra de estos planetas son de varias horas luz; mientras que las estrellas están mucho más lejos, sus distancias se miden en años luz.

En alguna ocasión te habrás preguntado si existirán planetas fuera del Sistema Solar. Todo apunta a que sí, pues el proceso de formación de las estrellas es similar al que originó el Sol, por lo que muchas de ellas han debido formar discos protoplanetarios. Pero las grandes distancias a las que se encuentran de nosotros, la ausencia de luz propia en los planetas y la cercanía de éstos a su estrella impiden su visión directa.



La visión directa de planetas fuera del sistema solar no ha sido posible por ahora, ni aún con la ayuda de los instrumentos más avanzados. Michel Mayor, astrofísico del Observatorio de Ginebra, descubrió el primer planeta extra solar el año 1995 en la estrella 51 Pegasus.



En los últimos años se ha detectado la presencia de posibles sistemas planetarios en algunas estrellas utilizando para ello métodos indirectos.

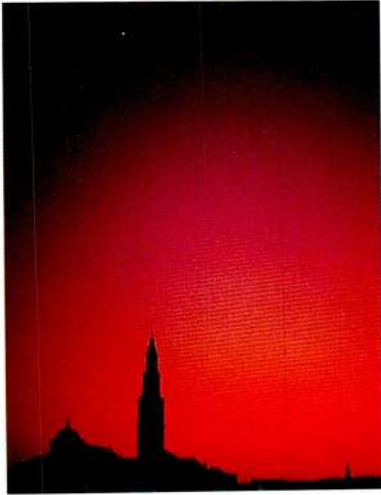
Los planetas interiores. Sus órbitas y situación en el cielo

Unas veces al anochecer y otras al amanecer habrás contemplado un astro tan brillante que destaca en la luz crepuscular; y hasta es posible que hayas hecho determinadas suposiciones sobre su naturaleza. Lo más probable es que se trate del planeta Venus, tercer astro con más brillo tras el Sol y la Luna.

Mercurio y Venus son planetas interiores, esto es, giran en torno al Sol en órbitas elípticas más cercanas que la descrita por la Tierra. Las distancias medias de Mercurio y Venus al Sol son de 58 y 108 millones de kilómetros, respectivamente, por lo que siempre que los veamos estarán próximos al astro rey. Ambos planetas pueden observarse justamente después de anochecer o antes de amanecer, pero nunca a media noche. Al igual que el resto de los plane-



Históricamente se asignó un símbolo a cada uno de los planetas conocidos.



Venus el 3/1/93 al anochecer. El planeta estaba en su máxima elongación oriental, que es la posición más elevada en que puede ser visto sobre el horizonte Oeste. Su separación angular del Sol es de casi 47 grados.



En la fotografía, tomada al anochecer del 20 de marzo de 1991, se aprecia Mercurio como un punto amarillento en pleno resplandor crepuscular. Venus aparece más arriba, junto a Aries. Casi alineada con ellos se ve la Luna cerca de las Pléyades.

Los planetas Mercurio y Venus sólo se pueden ver al amanecer, durante un rato, antes de que salga el Sol, o al anochecer, después del ocaso. Las primeras se denominan apariciones matutinas y las segundas, vespertinas.



El periodo sidéreo o año de cada planeta aumenta con la distancia al Sol: el de Mercurio es de 88 días, el de Venus de 225 días, el de la Tierra de 365,25 días, etc.



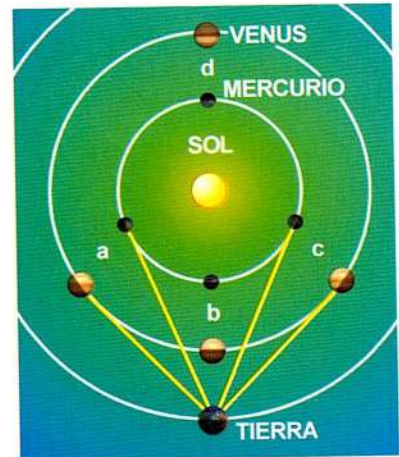
tas, se sitúan siempre delante de las denominadas constelaciones zodiacales. No los encontrarás nunca situados en la Osa Mayor o Cassiopea.

Los planetas interiores pueden ser vistos al anochecer durante una serie de semanas en el caso de Mercurio o meses en el de Venus. En ese periodo hay un día en el que el planeta interior se observa más alto y durante más tiempo, ya que lo vemos en la posición de mayor separación angular respecto del Sol, llamada *máxima elongación Este* (posición a, como puedes ver en la figura de la derecha). En jornadas sucesivas veremos al planeta interior (Mercurio o Venus) aproximarse al Sol y durante unos días no podrá observarse por estar pasando por delante del astro rey. A esa posición se le llama *conjunción inferior* (posición b) y el planeta se encuentra a la menor distancia posible de la Tierra.

Días después volverá a ser visible, pero en esta ocasión al amanecer; progresivamente observaremos cómo se separa del Sol hasta llegar a la *máxima elongación Oeste* (posición c).

En días sucesivos percibiremos que se acerca al Sol hasta situarse tras él, con lo que dejará de verse: es la *conjunción superior* (posición d) y el planeta se encuentra a la mayor distancia posible de nosotros. Con posterioridad volverá a verse en el cielo tras ponerse el Sol, iniciando así un nuevo ciclo.

El tiempo que tarda un planeta en dar una vuelta alrededor del Sol se llama *periodo sidéreo*, o duración de su año, que en Mercurio es de 88 días. Sin embargo, entre dos conjunciones inferiores (o supe-



Posiciones relativas características de los planetas interiores. Máxima elongación oriental (a). Conjunción inferior (b). Máxima elongación occidental (c). Conjunción superior (d).

¿Por qué razón vemos los planetas y la Luna casi alineados?





La velocidad media de traslación de un planeta es el cociente entre la longitud de su órbita y el tiempo empleado en recorrerla. Si suponemos las órbitas circulares, lo cual no se desvía mucho de la realidad para algunos planetas, $V=2\pi R/T$. Donde R es el radio medio de la órbita y T el tiempo que tarda en dar una vuelta al Sol expresado en segundos. La velocidad media de traslación para Mercurio es..... km/seg. Para Venus km/seg. Para La Tierra.....km/seg.

Mediante esta fácil actividad, vas a comprobar que el periodo sinódico de Mercurio es mayor que el sidéreo. Dibuja las órbitas de Mercurio y de la Tierra alrededor del Sol; imagínatelas circulares. Como punto de partida puedes tomar la conjunción inferior, en la que los tres astros están alineados en este orden: Sol - Mercurio - Tierra. Al transcurrir 88 días Mercurio estará de nuevo en el punto de partida; la Tierra sólo se habrá movido mientras tanto unos 90 grados. Señala la posición de la Tierra y observa en tu dibujo que tendrán que pasar unos días más para que vuelvan a estar alineados en conjunción inferior. Si has realizado el esquema con cierta precisión, obtendrás por tanteo un resultado muy aproximado a los 116 días.

Si observas Venus con telescopio, podrás apreciar en él fases similares a las de la Luna. Trata de justificarlo: para ello dibuja el Sol, las órbitas de la Tierra y Venus y representa a éste como un círculo que se va desplazando sobre su órbita. Sombrea la parte de Venus no iluminada por el Sol y trata de interpretar las fases.



Órbitas de Mercurio y Venus. Ambas culminan en la máxima elongación Este.

riores) consecutivas de Mercurio pasan 116 días; es el llamado periodo sinódico. El año de Venus (periodo sidéreo) es de 225 días; no obstante, entre dos conjunciones inferiores consecutivas de Venus transcurren 584 días (periodo sinódico).



Localiza los planetas interiores

Uno de los acontecimientos planetarios más significativos, observables a simple vista, es el resplandor de los planetas interiores resaltando en el alba o el ocaso.

No vas a tener ninguna dificultad en encontrar a Venus (siempre que no esté próximo a alguna de las conjunciones) ya que es un astro muy luminoso visto desde la Tierra, el tercero con más brillo tras el Sol y la Luna. La magnitud de los planetas oscila dependiendo de su posición y de la distancia a la Tierra. En el caso de Venus la magnitud puede llegar a ser -4.4 . Mercurio brilla menos, pero tiene un tono amarillento muy peculiar. Su magnitud oscila entre 0 y -1.5 , lo cual hace que pueda competir en brillo con la estrella Sirio. Para que te hagas una idea de sus apariciones y desapariciones, ten en cuenta esta secuencia. Llama día cero al momento en que el planeta está en la conjunción inferior.



Posiciones	Mercurio	Venus
Conjunción inferior	día 0	día 0
Aparición al amanecer	5	6
Máxima elongación Oeste	22	70
Desaparición	46	257
Conjunción superior	58	292
Aparición al atardecer	60	327
Máxima elongación Este	94	513
Desaparición	111	578
Conjunción inferior	116	584

Las últimas cifras 116 y 584 representan la duración en días de sus respectivos periodos sinódicos.

Consulta en el apartado **Tablas y Efemérides** que encontrarás al final del libro y trata de buscar en qué posición está hoy Venus y en qué fechas será visible en mejores condiciones. Haz lo mismo con Mercurio.



A la vista de la tabla de posiciones de Venus y Mercurio, indica durante cuántos días consecutivos dejará de verse cada uno de ellos. Indica qué posiciones serán las más favorables para su observación.

Los planetas exteriores: órbitas y situación en el cielo

Los planetas exteriores son aquellos que describen órbitas más distantes del Sol que la descrita por la Tierra. Marte, Júpiter y Saturno son luminosos y fáciles de observar. Urano y Neptuno, mucho más lejanos, brillan menos; para avistarlos son necesarios unos prismáticos y una carta de localización detallada.

Los planetas exteriores pueden verse a cualquier altura sobre el horizonte y no necesariamente cerca del Sol. Dejan de ser visibles durante la conjunción, momento en el que están pasando por



Observa la figura.

- ¿A qué hora será visible un planeta exterior cuando está en oposición?
- ¿Presentan conjunción inferior los planetas exteriores?
- ¿Vemos sus fases desde la Tierra?



Se dice que un planeta exterior está en oposición cuando la distribución Sol - Tierra - Planeta exterior es rectilínea. La Tierra entonces está adelantando al planeta y éste será visible durante toda la noche. Cuando la distribución rectilínea es Tierra - Sol - Planeta exterior, este último se encuentra en conjunción y no resulta visible. En la figura, Júpiter está en oposición y Saturno en conjunción. Como ves, no se ha representado el resto de los planetas



La mejor ocasión para observar un planeta exterior es durante su oposición, ya que en esos días se encuentra a la mínima distancia de la Tierra.



Haz un esquema aproximado de las órbitas de La Tierra y de Marte. Como punto de partida puedes tomar la oposición en la que están alineados en el orden Sol-Tierra-Marte. Marca las posiciones como T_0 y M_0 . Al transcurrir 365 días, la Tierra estará de nuevo en el punto de partida y Marte habrá cubierto algo más de la mitad de su órbita en torno al Sol, con lo que se ha desplazado unos 190 grados respecto del punto de partida. Señala las posiciones de ambos T_0 y M_1 . Cuando haya transcurrido un segundo año, la Tierra estará de nuevo en T_0 y no habrá adelantado aún a Marte, que se hallará todavía unos 20 grados por delante de la Tierra, en M_2 (compruébalo). Observa en tu dibujo que tendrá que pasar algún tiempo (por tanteo puedes comprobar que será algo más de un mes) para que la Tierra vuelva a adelantarlo. Por eso entre dos conjunciones consecutivas de Marte pasan algo más de dos años y un mes.



Todos los planetas se mueven alrededor del Sol sin alterar nunca el sentido. El movimiento retrógrado es un efecto que se produce cuando la Tierra adelanta al planeta. Para Marte dura algo más de dos meses, uno antes y otro después de la oposición. A Júpiter se le ve retroceder desde dos meses antes hasta dos meses después de la oposición.

detrás del Sol; esta desaparición de los planetas se prolonga durante algunas jornadas. Los planetas exteriores no presentan conjunción inferior como lo hacían los planetas interiores, ya que no pasan entre el Sol y nosotros. La oposición de un planeta se produce cuando la Tierra lo está adelantando y se alinea con ésta y el Sol.

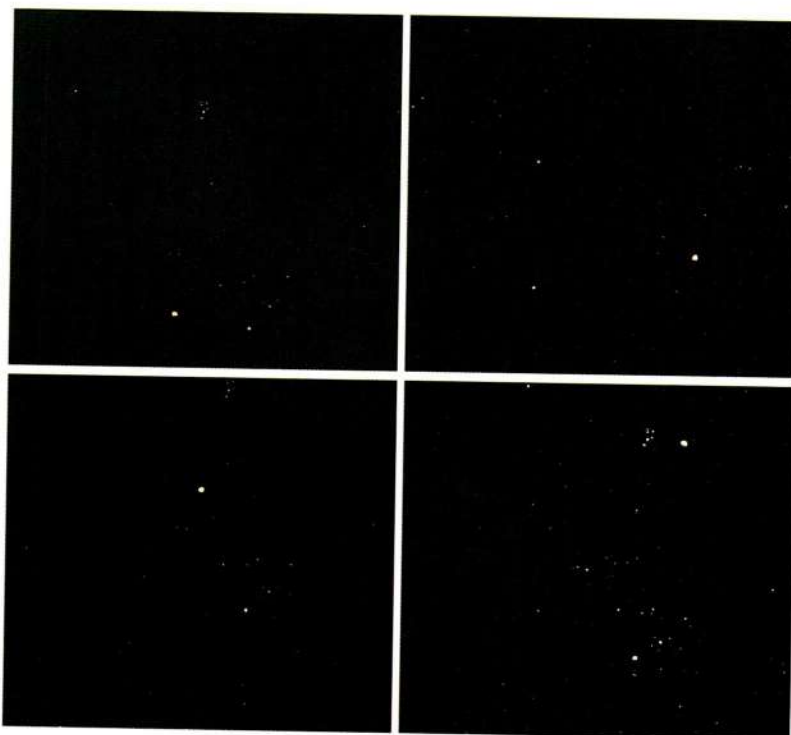
El año marciano dura casi el doble que el de la Tierra, ya que Marte tiene un periodo de traslación de 687 días. El tiempo que transcurre entre dos oposiciones consecutivas del planeta rojo es sin embargo mayor: dura dos años, un mes y algunos días.

Cuando Marte está visible se puede apreciar su desplazamiento respecto del fondo de estrellas en noches sucesivas.

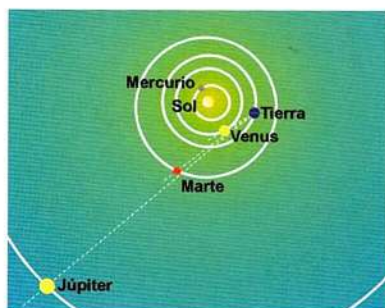
Júpiter y Saturno son también fáciles de localizar. Júpiter, que se aprecia como un astro que brilla más que cualquier estrella, posee un periodo de traslación de 11,9 años. Saturno no es tan brillante pero una vez localizado es muy fácil seguirle la pista, ya que se mueve muy lentamente y lo veremos durante poco más de dos años rondando por la misma constelación.

Movimiento retrógrado de los planetas exteriores

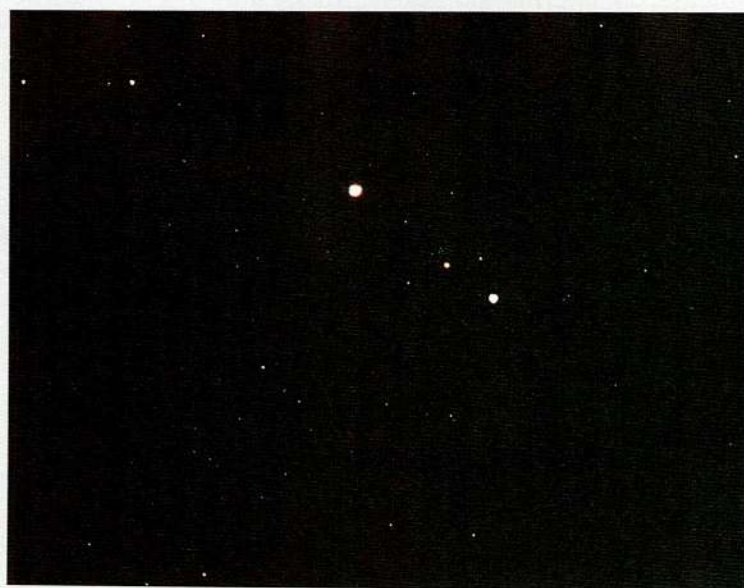
Si sigues la pista de un planeta durante varias semanas consecutivas, verás cómo se mueve entre las estrellas hacia el Este, sentido en que se desplazan todos los planetas, incluida la Tierra. Pero, en



Movimiento retrógrado de Marte correspondiente a la oposición de noviembre de 1990.



Posiciones relativas de los tres planetas protagonistas de la conjunción y la Tierra.



Conjunción Venus, Marte, Júpiter sobre Cáncer: 8/6/91.



Saturno a través de un telescopio no profesional.

la próxima conjunción y haz un seguimiento periódico de ellas, dibujando las posiciones planetarias y la constelación en torno a la que se produce.

Observación con telescopio

Con un telescopio mediano, cuyo objetivo tenga entre 10 y 20 centímetros, podrás observar detalles en los planetas. Realiza un dibujo de cada observación.

Marte: durante una noche próxima a la oposición, trata de identificar algún detalle de su superficie, como los casquetes polares.

Júpiter: realiza observaciones en noches diferentes y dibuja los principales rasgos de su superficie y la evolución de sus lunas.

Saturno: verás los anillos y su satélite Titán. Con buenas condiciones de observación podrás avistar hasta cinco de ellos.

Urano y Neptuno no presentan ningún rasgo destacable a través del telescopio.

Las leyes del movimiento planetario y la unidad astronómica



Uno de los mejores observadores antes del descubrimiento del telescopio fue Tycho Brahe, que conseguía alcanzar precisiones de minutos de arco en sus obser-

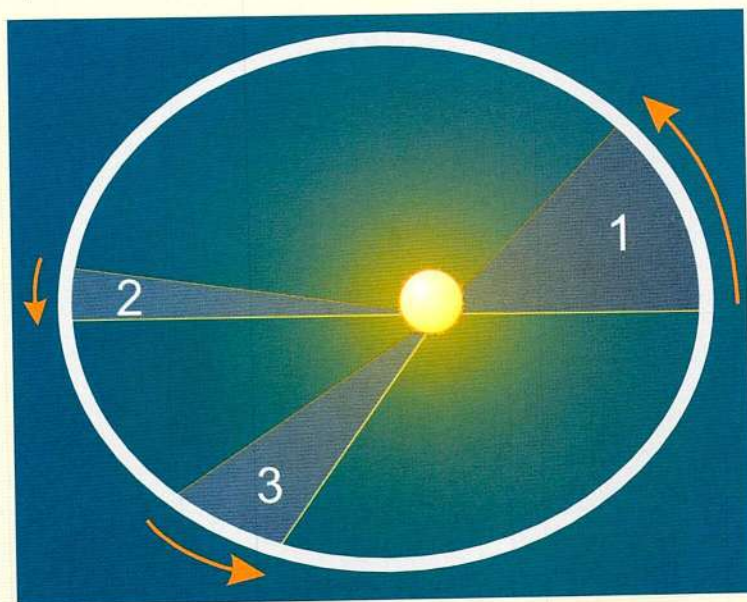


vaciones sobre el movimiento de los planetas. Tycho murió prematuramente, al parecer debido a su vida disipada. Sus cálculos astronómicos sirvieron a su ayudante, en la corte de Praga, el astrónomo Johannes Kepler, para descubrir el secreto de dicho movimiento. Al principio tuvo bastantes problemas al intentar encajar los datos de las observaciones de Tycho sobre el movimiento de Marte en una órbita circular. Pero llegó a la conclusión de que dicha órbita podría ser elíptica. Del estudio de las posiciones planetarias, en especial de Marte, dedujo las tres leyes que llevan su nombre.

1ª Los planetas describen elipses en su movimiento de traslación, en uno de cuyos focos está el Sol.

2ª La línea de unión Planeta - Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

3ª Los cuadrados de los periodos de revolución de los planetas son proporcionales a los cubos de las distancias medias que los separa del Sol.



Las órbitas que describen los diferentes planetas van creciendo en tamaño desde Mercurio hasta Neptuno. Los planetas se desplazan más lentamente cuanto mayor sea su distancia del Sol.

Posteriormente, Isaac Newton dedujo de las dos primeras leyes de Kepler que debe existir una fuerza dirigida hacia el Sol para que se produzca el movimiento de los planetas. De la tercera ley dedujo que dicha fuerza disminuye con el cuadrado de la distancia que los separa del Sol, lo que le llevó a establecer la ley de la gravitación universal.

De la segunda ley se deduce que un determinado planeta, la Tierra por ejemplo, irá algo más deprisa cuando vaya por la parte de la órbita más cercana al Sol.

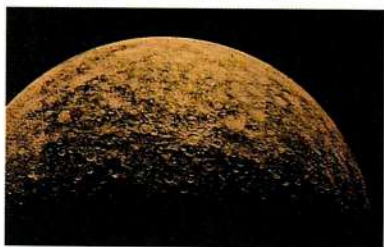


El cociente T^2/R^3 es denominado constante de Kepler. Su valor depende de las unidades en que se expresen los periodos y los radios. Por ejemplo, la constante vale uno si expresamos los periodos en años y las distancias en U.A.: $K = 1 (\text{año}^2/\text{u.a.}^3)$. Compruébalo para la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. Calcula el valor de la constante de Kepler en unidades del Sistema Internacional (seg^2/km^3).



La ley de la gravitación universal dice que entre dos cuerpos de masa M_1 y M_2 , cuyos centros están separados una distancia R , existe una fuerza F que los atrae, siendo su expresión:
 $F = G M_1 M_2 / R^2$. Donde G es una constante universal que vale $G = 6,67 \times 10^{-11}$, expresada en unidades del S.I.





Distancia al Sol: 57,9 millones de km.
Periodo de traslación: 88 días.
Periodo de rotación: 59 días.
Diámetro ecuatorial: 4 892 km.
Masa: 0,053 masas terrestres.

Mercurio

Mercurio es el planeta más cercano al Sol, y el segundo más pequeño de todos los planetas del sistema solar. Su nombre se remonta a la época del imperio romano, y hace honor al mensajero de los dioses, que con sus pies alados parecía moverse más rápido que ningún otro. Su diámetro está comprendido entre el tamaño de la Tierra y el de la Luna.

La superficie de Mercurio está llena de cráteres formados por el constante bombardeo de meteoritos, como ocurre en la Luna, debido a que el planeta no posee una atmósfera como la nuestra que actúe de escudo protector. Esta ausencia de atmósfera hace que el observador situado en la superficie de Mercurio vea todo el cielo negro, aunque el Sol esté sobre el horizonte.

Desde Mercurio destacarían en el cielo, además del Sol, dos astros muy brillantes: uno sería Venus y el otro, de color azul, la Tierra.



Desde Mercurio el Sol parece dos veces y media más grande de lo que se vería desde la Tierra por estar más cerca de él que nuestro planeta.

La mayor información que poseemos del planeta nos proviene de la Mariner 10, que lo visitó entre 1974 y 1975; fotografió gran parte de su superficie y obtuvo importantes datos de su estructura. Mercurio tarda en dar la vuelta al Sol unos 88 días y 59 en dar una vuelta sobre sí mismo con respecto a las estrellas. Entre dos salidas consecutivas de una determinada estrella, por ejemplo Sirio, transcurren 59 días. El periodo de traslación es una vez y media mayor que el de rotación, con lo que un día en Mercurio (el tiem-



po que va de uno al otro amanecer) dura 176 días. Para un mismo punto de su superficie, la mitad de ese tiempo es de día y la otra mitad de noche, provocando que las temperaturas oscilen mucho, de 430°C durante el día a -170°C por la noche, pues, al igual que le ocurre a la Luna, no existe atmósfera que amortigüe esa diferencia.



El movimiento conjunto de rotación y traslación de Mercurio hace que un día en el planeta dure 176 días terrestres.

Venus

El nombre de Venus proviene de la diosa romana de la belleza y del amor, y desde la antigüedad se le conoce como estrella de la mañana o lucero vespertino, dependiendo de cuándo lo veamos. Es el segundo planeta más cercano al Sol y el más brillante observado desde la Tierra. Al ser un planeta interior, presenta fases al igual que Mercurio y la Luna.

Venus, en algunos aspectos, es el planeta más parecido a la Tierra: ambos tienen prácticamente el mismo tamaño, masa, gravedad y densidad.

En la superficie de Venus la presión de la atmósfera es 92 veces mayor que la de la Tierra. Esta alta densidad y la elevada concentración de dióxido de carbono provocan la aparición de lo que se denomina efecto invernadero, con el consiguiente aumento de la temperatura en la superficie, que ronda los 480°C . La atmósfera de Venus es lo más parecido al infierno que podamos imaginar; sus nubes están formadas por partículas de ácido sulfúrico, con fre-



En 1991 se detectó un brillo poco común sobre el polo Norte de Mercurio. Este fenómeno se explica si tenemos en cuenta que su eje de giro es perpendicular a su plano orbital. Esto ocasiona que desde algunos puntos de su polo Norte siempre se vea el Sol debajo del horizonte y que la temperatura oscile en torno a los -160°C . A estas gélidas temperaturas, el agua que surge del interior del planeta en forma de gas, o la procedente de los impactos con los cometas, quedaría atrapada en forma de hielo.

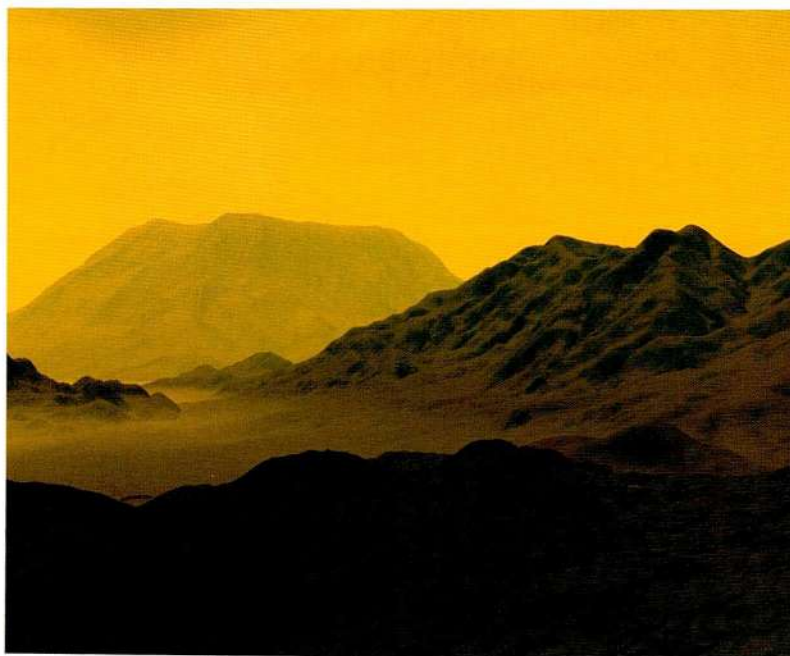


Distancia al Sol: 108,2 millones de km.
Periodo de traslación: 225 días.
Periodo de rotación: 243 días.
Diámetro ecuatorial: 12103 km.
Masa: 0,815 masas terrestres.



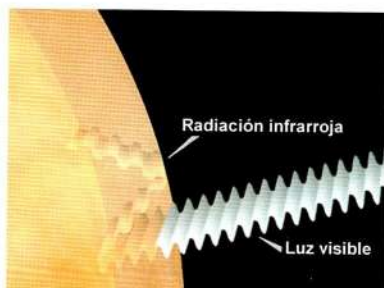
Las misiones soviéticas Venera 15 y 16 y la americana Magallanes

crearon un mapa, mediante el radar, de la superficie de Venus. Incluso llegaron a aterrizar (o avenusar) en la superficie del planeta, aunque las sondas no duraron mucho tiempo debido a las condiciones reinantes.



Venus puede llegar a ser visto en pleno día debido a su elevado

brillo; sólo hay que saber a qué punto del cielo debe mirarse.



La luz solar atraviesa la atmósfera de Venus calentando su superficie. El calor es reflejado de nuevo hacia el exterior pero en forma de radiación infrarroja. Debido a la alta densidad de su atmósfera y a la concentración de dióxido de carbono, esas radiaciones son atrapadas y no pueden escapar hacia el espacio exterior. Esto hace que Venus, aunque esté más lejos del Sol que Mercurio, sea más caliente que éste.

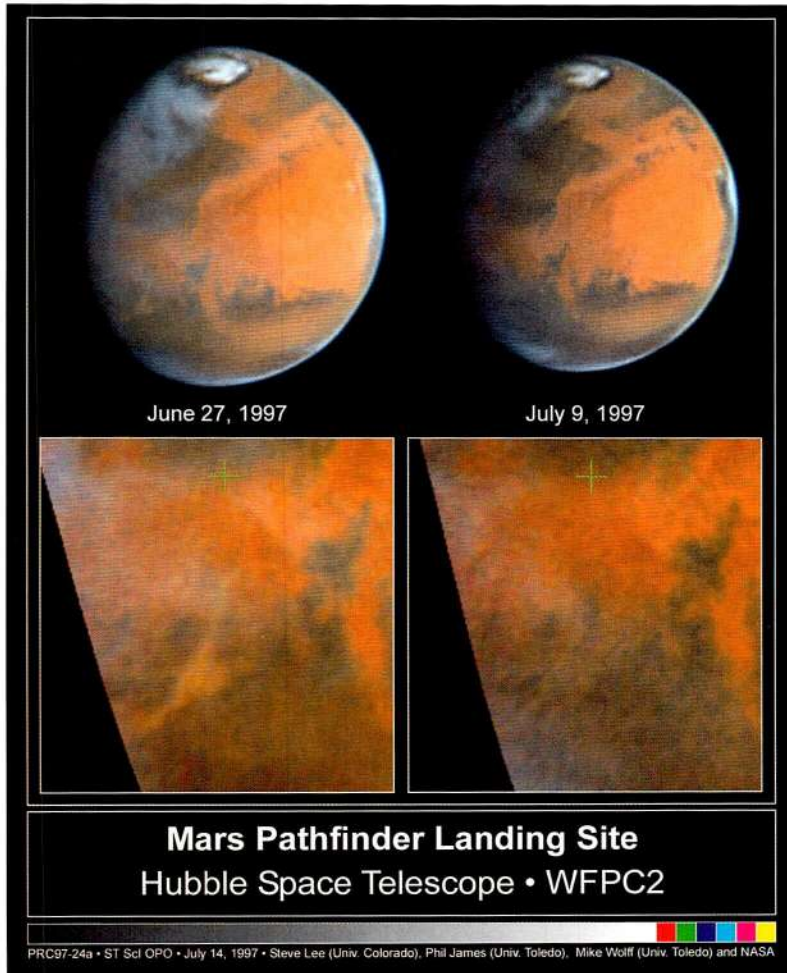
cuentes lluvias de este ácido, tormentas eléctricas y fuertes e intensos huracanes. Las altas temperaturas impiden que el escaso vapor de agua se pueda condensar para formar mares.

La espesa masa de nubes impedía desde hace siglos calcular el periodo de rotación del planeta, pues lo único que podía observarse era la rotación de su atmósfera, que varía desde el ecuador hacia los polos. Actualmente, y gracias al radar, se conoce que su rotación respecto de las estrellas es de 243 días terrestres. Además, ésta es de forma retrógrada, al contrario de lo que ocurre con todos los demás planetas; eso significa que Venus gira del Este hacia el Oeste. El Sol sale por el Oeste, moviéndose lentamente por su cielo (grado y medio por día), y se oculta por el Este. Tiene pocos cráteres pequeños, debido a la espesa atmósfera que hace de importante escudo frente a impactos exteriores. Las imágenes de las sondas nos presentan mesetas con una altura de 2,5 km.

Marte

Marte (el dios de la guerra de los romanos) es el cuarto planeta más cercano al Sol y, por presentarse con un color rojizo, se le suele llamar “el planeta rojo”.

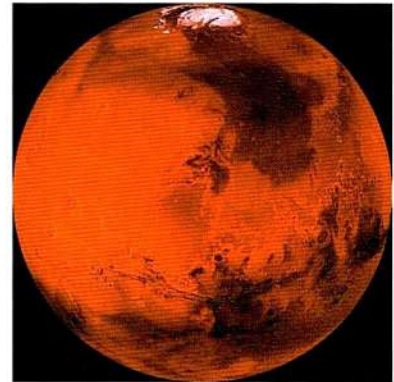
El eje de rotación del planeta está inclinado $25,2^\circ$, lo que produce un ciclo estacional al igual que ocurre en la Tierra. Esto lo podemos comprobar observando cómo a lo largo del año marciano sus dos casquetes van variando de tamaño a medida que transcurren las estaciones.



Los casquetes polares están formados por una capa de dióxido de carbono en forma sólida que se sublima y deja de verse al llegar el verano al hemisferio.

Marte, al igual que la Tierra, también posee una atmósfera aunque difiere bastante de la nuestra. Está compuesta fundamentalmente por dióxido de carbono, además de pequeñas cantidades de otros gases. Tiene una densidad muy inferior a la terrestre, y la presión en la superficie es menor que la centésima parte de la nuestra. El aire de Marte contiene unas mil veces menos cantidad de agua que nuestro aire, pero incluso esta pequeña cantidad puede condensarse, produciendo la formación de nubes que se desplazan por las zonas altas de su atmósfera. Las mañanas marcianas se caracterizan por la formación de bancos de niebla en los valles; por las tardes los vientos soplan con una velocidad de 25 a 30 km/h, llegando incluso a rachas de 60 km/h.

Marte posee dos pequeños satélites, Fobos y Deimos, de 23 y 11,6 km, respectivamente, descubiertos en 1877 por Asaph Hall.



Distancia al Sol: 227,9 millones de km.
Periodo de traslación: 1,881 años.
Periodo de rotación: 24h 37min.
Diámetro ecuatorial: 6794 km.
Masa: 0.107 masas terrestres.



La temperatura máxima diurna en el ecuador del planeta es de unos 20 °C, pero cuando cae la noche esa temperatura descende hasta los -80 °C.



El Gran Cañón Mariner, el mayor del sistema solar, es un enorme barranco de unos 5 000 km de longitud, en el que el Cañón del Colorado de EEUU sería un simple afluente.



Los seis componentes más abundantes en la atmósfera

marciana son:

Dióxido de Carbono (CO_2): 95,3%.

Nitrógeno (N_2): 2,7%.

Argón (Ar): 1,6%.

Oxígeno (O): 0,13%.

Agua (H_2O): 0,03%.

Neón (Ne): 0,00025 %.



Galileo fue el primero que observó Marte por telescopio, pero no pudo observar detalles en su superficie debido a la poca resolución del instrumento. El estudio detallado de Marte no dio comienzo hasta que el astrónomo italiano Giovanni Shiaparelli en 1877 registró en sus dibujos algunas líneas rectas que cruzaban la superficie del planeta. Como utilizó la palabra *canali* para referirse a ellas, fue pronto traducida por “canales”, lo que hizo pensar a la gente en acueductos construidos por seres inteligentes.

En 1938, cuando Orson Wells emitió una novela radiofónica basada en el clásico de ciencia ficción *La Guerra de los Mundos* de H.G.Wells, se produjeron escenas de pánico debido a que el público creyó realmente que los marcianos estaban invadiendo la Tierra. Sólo cuando la nave Mariner 4 y, posteriormente, las Viking 1 y 2 fotografiaron y se posaron en su superficie se desveló el misterio de la posible existencia de vida en Marte. Encontraron un planeta desierto con una superficie llena de cráteres y canales de origen natural pero ninguna evidencia de canales artificiales o de agua en su superficie.

El cinturón de asteroides

Entre las órbitas de Marte y Júpiter, ocupando una franja situada a una distancia del Sol que va de 2,2 a 3,2 U.A., se encuentra el cinturón de asteroides, formado por una serie de pequeños planetas o planetoides que giran alrededor del Sol. Son rocas de mediana densidad y forma irregular. El mayor de los asteroides es Ceres, de mil kilómetros de diámetro. El número total se estima en más de 50 000, aunque catalogados hay unos 7 000. Algunos de ellos, como Eros, tienen órbitas que se aproximan a la de la Tierra. En 1937 el asteroide Hermes, de un kilómetro de diámetro, se acercó tan solo 600 000 kilómetros de nuestro planeta.

Un conjunto importante de asteroides son los denominados troyanos, que describen la misma órbita que Júpiter: un grupo lo precede a unos sesenta grados del planeta y otro lo sigue.



En 1772 el astrónomo Titius estableció una ley empírica que relaciona las distancias al Sol de los seis planetas conocidos entonces, desde Mercurio hasta Saturno. Esta relación fue publicada posteriormente por Bode y se la conoce como ley de Titius - Bode.



En Marte tienen lugar grandes tormentas de polvo, que en pocas horas cubren grandes extensiones de terreno.



Si a cada término de la serie numérica:

0 3 6 12 24 48 96 192 ...

se le suman cuatro unidades quedará transformada en esta otra:

4 7 10 16 28 52 100 196 ...

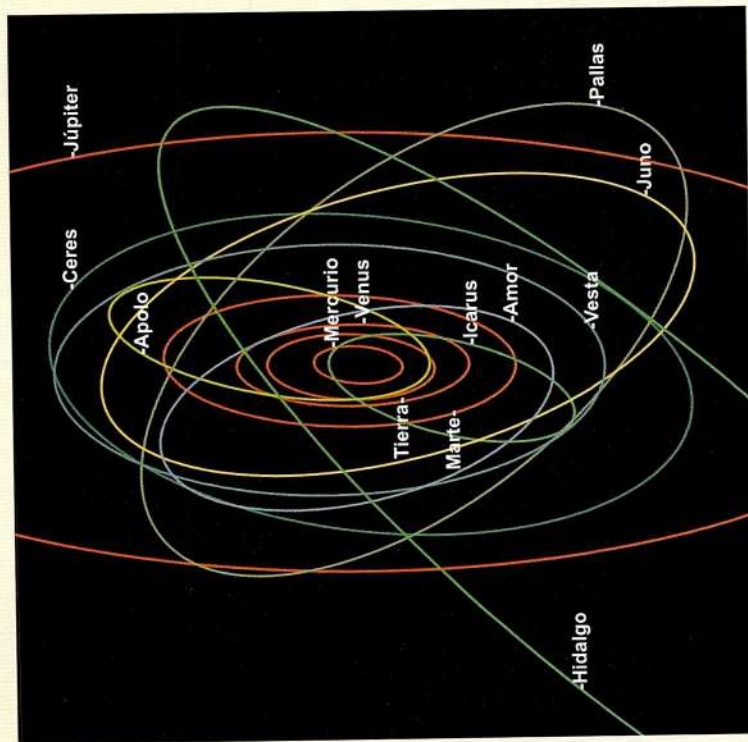
Al dividir por diez cada término nos queda la serie numérica de Titius - Bode:

0,4 0,7 1,0 1,6 2,8 5,2 10,0 19,6 ...

Si ordenamos las distancias del Sol a los planetas, expresadas en Unidades Astronómicas, obtenemos esta otra serie:

Me	V	T	Ma	?	J	S	U
0,39	0,72	1,0	1,52	2,8	5,2	9,5	19,2

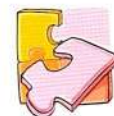
Pocos años después, en 1781, fue descubierto Urano y su distancia encajó perfectamente en dicha serie, que como ves coincide de forma casi exacta con la serie numérica de Titius-Bode. El único problema existente era la ausencia del planeta que debía ocupar la posición 2,8. (Señalado en la tabla con una interrogación). Esto hizo que los astrónomos se emplearan a fondo en la búsqueda de un planeta entre las órbitas de Marte y Júpiter. Ceres fue descubierto la madrugada en que dio comienzo el siglo XIX, la noche de año nuevo de 1801.



Las órbitas de algunos asteroides llegan a cruzar la órbita terrestre.



Los asteroides tienen forma irregular. Ninguno de ellos posee masa suficiente para generar un campo gravitatorio que obligue a los materiales a adquirir una distribución esférica.



Escribe la serie numérica de Titius - Bode, e indica la distancia a la que se encuentra el planeta Júpiter del Sol, expresada en kilómetros. ¿Qué tiempo tarda la luz solar en llegar a ese planeta?



En el interior del planeta, la presión que ejercen las capas de la atmósfera es tan enorme que el hidrógeno adquiere propiedades metálicas. Su núcleo es sólido y tiene un tamaño bastante pequeño comparado con el del planeta.



Distancia al Sol: 778 millones de km.
Periodo de traslación: 11,862 años.
Periodo de rotación: 9h 50min.
Diámetro ecuatorial: 142 796 km.
Masa: 318 masas terrestres.



La mancha roja de Júpiter es un torbellino que no siempre ha tenido el mismo color; a veces ha sido gris, amarillo o incluso blanco. Otras veces ha desaparecido.

Júpiter

Júpiter es el mayor planeta del sistema solar y el quinto más lejano del Sol. Es tan grande que dentro de él cabrían más de mil planetas como la Tierra. Tiene una masa que duplica a la del resto de los planetas del sistema solar juntos.

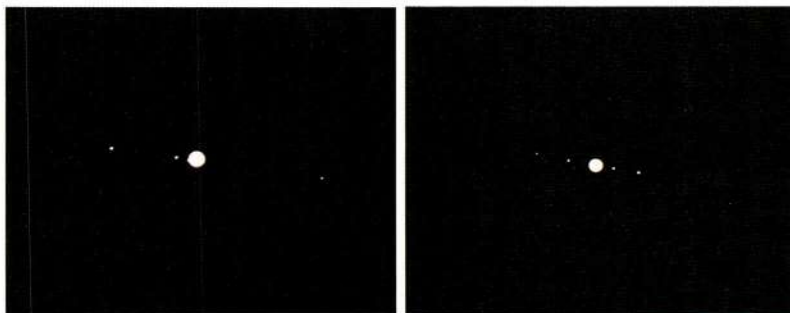
A través de un pequeño telescopio, Júpiter se nos presenta como un disco claramente achatado, debido a la rápida rotación del planeta (inferior a 10 horas). Se pueden apreciar estructuras en forma de bandas que discurren paralelas al ecuador. Estas bandas son formaciones nubosas de una atmósfera densa compuesta principalmente por hidrógeno y helio, además de pequeñas cantidades de amoníaco, metano y otras sustancias a unas temperaturas inferiores a los -145°C .



En la atmósfera de Júpiter, además de bandas, se pueden apreciar también manchas blancas, grises y rojas. Llama la atención una gran mancha roja, en la que cabrían más de tres planetas como la Tierra. Se supone que es un gigantesco torbellino dentro de la atmósfera de Júpiter que gira en sentido antihorario.

El primero en dirigir un telescopio al gigante Júpiter fue Galileo, que en enero de 1610 descubrió que este planeta estaba acompañado de cuatro satélites, girando a su alrededor. Esta fue una prueba de que el sistema geocéntrico estaba equivocado. El descubrimiento de las lunas de Júpiter puso en evidencia que había otros cuerpos que giraban alrededor de un astro que no era la Tierra. Júpiter tiene unos 16 satélites, de los que destacan los cuatro mayores descubiertos por Galileo.

Después de la visita de las naves espaciales a Júpiter, se descubrió que éste posee un anillo, invisible desde la Tierra, que rodea al pla-



Los satélites galileanos están en continuo movimiento. En estas dos fotografías, tomadas en días diferentes, la posición de los satélites no es la misma.

neta, compuesto probablemente por polvo del tamaño de una partícula de humo de tabaco.

A mitad de este siglo, los radioastrónomos observaron que existía una emisión de radio que provenía del planeta, algo realmente extraño. Esto nos indica que Júpiter tiene cinturones de radiación similares a los de la Tierra, sólo que unas 10 000 veces más potentes.

Saturno

Saturno ocupa el sexto lugar en cuanto a la distancia de los planetas respecto del Sol, situado casi 10 veces más lejos de lo que se encuentra la Tierra de nuestra estrella. Es el segundo más grande del sistema solar y, como Júpiter, está achatado por los polos, debido a su rotación. Tarda unos 29,5 años en dar una vuelta alrededor del Sol, por lo que desde que tú naciste, todavía no ha completado una órbita.

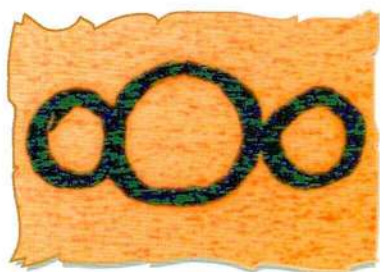
La atmósfera de Saturno está compuesta fundamentalmente por hidrógeno aunque también posee algo de helio y metano. Tiene un color amarillento y, al igual que Júpiter, también posee bandas, pero menos destacadas que las de éste. Las manchas blancas de la atmósfera de Saturno son unos fenómenos no muy frecuentes, aunque se han podido observar esporádicamente con pequeños telescopios. Saturno destaca frente a los demás planetas en dos aspectos: primero, es el único cuya densidad total es inferior a la del agua; y segundo, es el único planeta con anillos visibles a través de pequeños telescopios. En ellos se pueden apreciar zonas oscuras en las que prácticamente no hay materia. La mayor de ellas es la división de Cassini, que separa anillos de diferente brillo. Se cree que los anillos se formaron a partir de los impactos de meteoroides y cometas que sufrieron las lunas de Saturno, ya que esos anillos están compuestos por fragmentos de hielo cuyos tamaños oscilan desde algunos centímetros hasta metros. También existe gran cantidad de polvo y pequeños trozos de rocas.



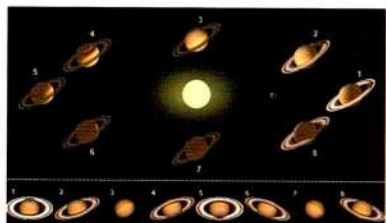
Distancia al Sol: 1 427 millones de km.
Periodo de traslación: 29,458 años.
Periodo de rotación: 10h 14min.
Diámetro ecuatorial: 120 000 km.
Masa: 95,22 masas terrestres.



El ecuador de Saturno está azotado por fortísimos vientos que llegan a alcanzar los 500 metros por segundo. Este planeta es más achatado por los polos que Júpiter.



Galileo fue la primera persona en ver Saturno con un telescopio. No pudo observar con nitidez los anillos a ambos lados del planeta, debido a la baja resolución del instrumento. Pensó que se trataba de dos satélites muy próximos a él, pero que a diferencia de los de Júpiter no giraban en torno al planeta.

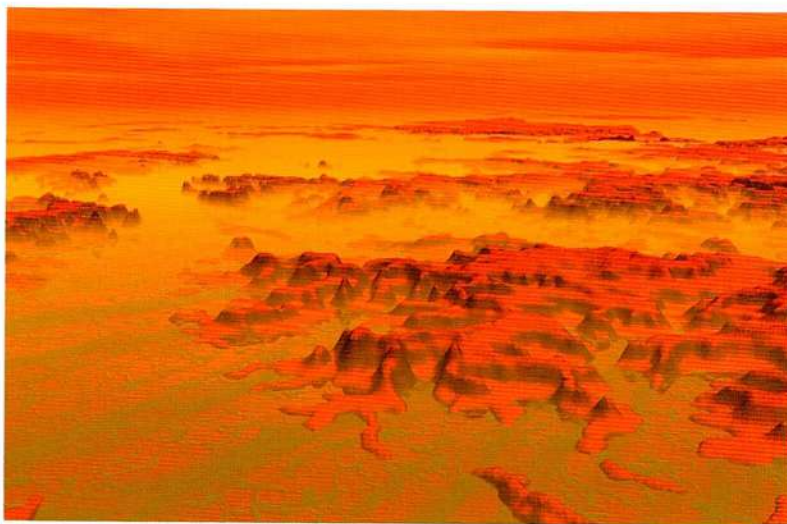


La apariencia que presentan los anillos de Saturno no es siempre la misma. Depende de su inclinación respecto de nosotros el que se vean de una manera u otra, pudiendo incluso desaparecer a la vista en determinadas fechas.



Los anillos de Saturno están formados por pequeñas partículas sólidas, cuyas velocidades varían con la distancia al planeta.

Saturno, al igual que Júpiter, está acompañado de una gran cantidad de satélites, de los que por ahora se han descubierto 18, aunque posiblemente tenga más, siendo el mayor de ellos Titán, el único satélite del sistema solar con atmósfera.



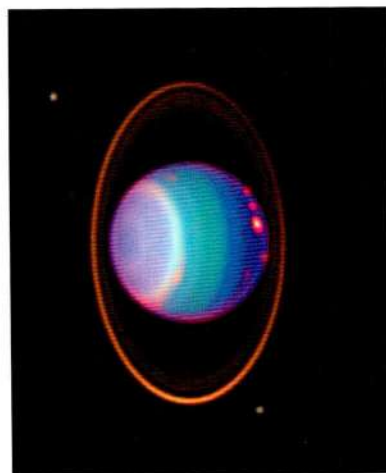
Titán es un satélite cuya superficie se supone está cubierta de un océano de etano, cosa que tratará de averiguar la sonda Cassini.



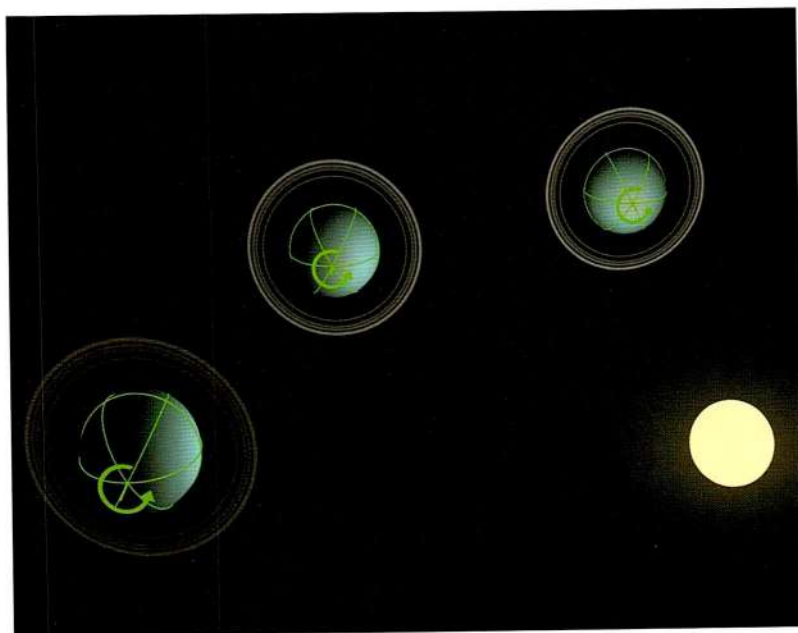
Urano

Urano ocupa el séptimo lugar en razón de su distancia al Sol y es el tercero del sistema solar en cuanto a tamaño. Fue descubierto en 1781 por William Herschel. Tiene un diámetro ecuatorial unas cuatro veces el de la Tierra y su año se completa en 84 años terrestres, es decir, aproximadamente la vida de una persona.

La principal particularidad de Urano es que su eje de rotación está inclinado casi 90° . Esto provoca que las estaciones tengan un periodo de unos 21 años de promedio y que la duración del día dependa de su posición en la órbita, llegando a ser de 42 años en el caso extremo de los polos. Estos 42 años de luz ininterrumpida (el verano de Urano) no son suficientes para que la temperatura suba de los -170°C , debido a lo lejos que se encuentra del Sol.



Distancia al Sol: 2870 millones de km.
Periodo de traslación: 84,015 años.
Periodo de rotación: 17h 14min.
Diámetro ecuatorial: 51 800 km.
Masa: 14,55 masas terrestres.



La inclinación del eje de rotación de Urano, próxima a 90° , pudo deberse al choque con un cuerpo del sistema solar durante su periodo de formación.

La atmósfera de Urano está compuesta principalmente por hidrógeno en un 83%, y por metano en un 2%, además de pequeñas cantidades de acetileno y de otros hidrocarburos. El metano, situado en la parte alta de la atmósfera, absorbe la luz roja, dando a Urano el color verde - azulado que lo caracteriza.

A principios de 1977 se publicó la existencia de anillos alrededor del planeta, que no eran visibles directamente con el telescopio. Su existencia se dedujo por la disminución de brillo observada en una estrella mientras pasaba por detrás de Urano. La ocultación y la posterior reaparición debían haber sido instantáneas. Pero en lugar

En la atmósfera de Urano podemos encontrar vientos que alcanzan velocidades de 40 a 160 metros por segundo.



Urano tiene al menos 15 lunas girando a su alrededor. Las dos más grandes, Titania y Oberón, fueron descubiertas por William Herschel en 1787.

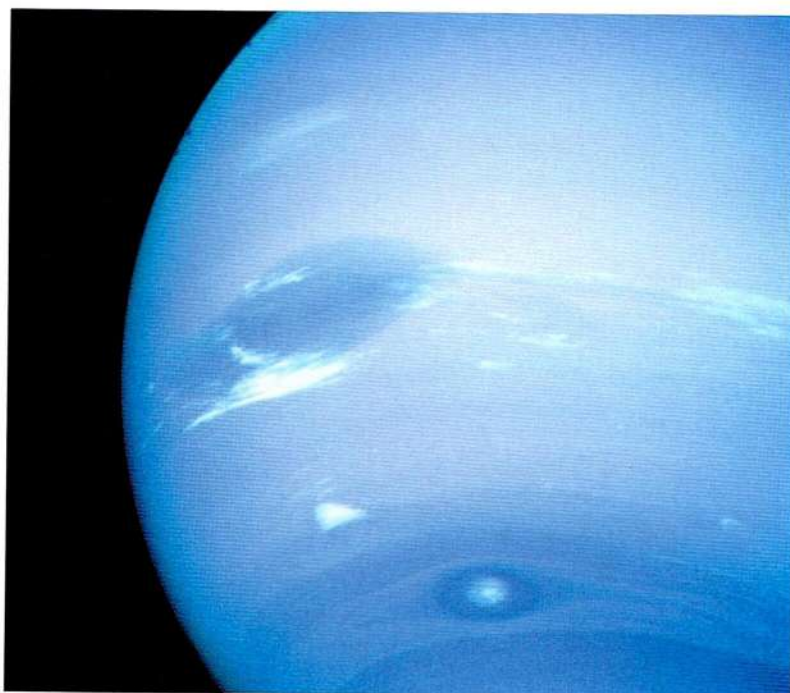


de esto, la estrella desapareció y volvió a aparecer cinco veces, antes y después de que la ocultara el planeta, lo que hizo suponer que éste tenía a su alrededor un sistema de anillos.

Neptuno

Neptuno es el octavo planeta más alejado del Sol, y a veces el más alejado del sistema solar. Fue descubierto basándose en las perturbaciones orbitales que se observaron en Urano. Lo descubrió J.G. Galle, del Observatorio de Berlín, el 23 de septiembre de 1846, al calcular la órbita de un posible nuevo planeta más allá de Urano que producía esas perturbaciones.

*Distancia al Sol: 4 496 millones de km.
Periodo de traslación: 164,788 años.
Periodo de rotación: 16h 6,7min.
Diámetro ecuatorial: 49 500 km.
Masa: 17,23 masas terrestres.*



Los vientos de Neptuno llegan a alcanzar 2 000 km por hora. Son los más fuertes que se conocen en el sistema solar.

El interior de Neptuno está compuesto por una mezcla de roca fundida, amoníaco, agua y metano líquidos. La parte más externa es una mezcla de gases calientes compuestos por hidrógeno, agua, helio y metano. El metano es lo que da a las nubes de Neptuno su particular color azul.

Neptuno es un planeta gaseoso con varias manchas de diferentes tamaños muy parecidas a las tormentas de Júpiter. La mayor de ellas, conocida como la Gran Mancha Oscura, tiene un tamaño parecido al de la Tierra y es similar a la Gran Mancha Roja de Júpiter.

Tiene ocho satélites, de los que Tritón y Nereida fueron descubiertos desde la Tierra, y el resto por la nave Voyager. También, al



igual que Urano, posee un conjunto de pequeños anillos compuestos por partículas de polvo, que podrían provenir de los choques de meteoritos con las lunas de Neptuno. Como en el caso de Júpiter, estos anillos tampoco son visibles desde la Tierra.

Plutón

Plutón es el último planeta encontrado en el sistema solar, descubierto el 18 de febrero de 1930 mediante métodos fotográficos. Está generalmente más lejos del Sol que cualquiera de los otros planetas. Sin embargo, debido a la excentricidad de su órbita, está más cerca que Neptuno durante 20 de los 249 años que dura su órbita. Además la órbita de Plutón es la más inclinada del sistema solar, con un valor de 17 grados respecto de la eclíptica o plano orbital de la Tierra.



Algunas observaciones señalan que la superficie de Plutón está cubierta con hielo de metano y que existe una fina atmósfera que podría congelarse y caer sobre la superficie a medida que el planeta se aleja del Sol, pues la temperatura desciende hasta los -230°C .

Debido a las notables diferencias de su órbita en relación con las demás, se piensa que Plutón no es exactamente un planeta, sino que puede tratarse de un cuerpo capturado por el Sol.

Plutón tiene un satélite llamado Caronte, de unos 800 km de diámetro, descubierto en 1978. Caronte y Plutón se muestran el uno al otro la misma cara de forma continua (rotación sincrónica). El periodo de rotación del sistema respecto del centro de gravedad es de unos 6 días y 9,3 horas.

La NASA proyecta lanzar una nave espacial, la Plutón Express, en el año 2001, lo que permitirá a los investigadores estudiar el planeta y su satélite antes de que la atmósfera se congele.



*Distancia al Sol: 5 946 millones de km.
Periodo de traslación: 247,7 años.
Periodo de rotación: 6,39 días.
Diámetro ecuatorial: 3 500 km.
Masa: 0,003 masas terrestres.*

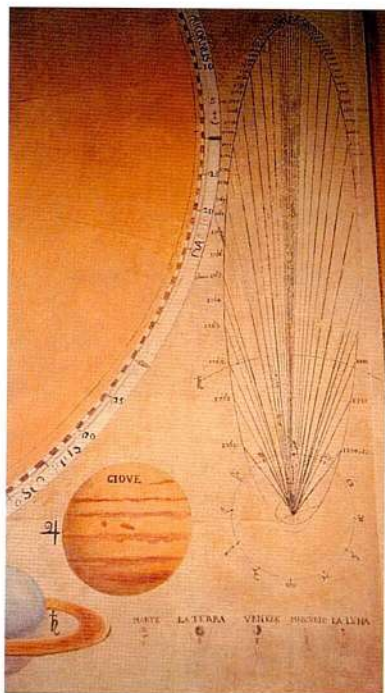
Plutón estuvo más cerca del Sol que Neptuno desde 1979 hasta el 14 de Marzo de 1999, cuando volvió a ser el planeta más alejado del sistema solar.



Los cometas

Más allá de la órbita de Plutón, a una distancia comprendida entre 10 000 y 40 000 U.A., hay una región del sistema solar en la que se encuentran millones de cuerpos celestes llamados cometas.

Los cometas son pequeños cuerpos frágiles de formas irregulares, compuestos por una mezcla de diminutas partículas no volátiles y gases congelados. Al penetrar en el interior del sistema solar pueden tomar una trayectoria parabólica que los alejaría para siempre del Sol o una trayectoria elíptica que da lugar a los llamados cometas periódicos, como por ejemplo el Halley. Las órbitas elípticas determinan que se acerquen al Sol durante un tiempo y permanezcan muy alejados del astro solar durante la mayor parte de su recorrido, frecuentemente más allá de la órbita de Plutón.

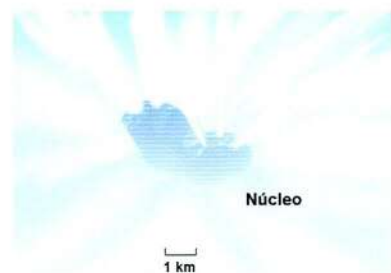


Esquema de la órbita del Halley



El núcleo del cometa Halley pudo ser fotografiado y medido por la nave Giotto, cuando se acercó a él en 1986, descubriendo que tenía forma de papa, con un tamaño de 9 x 4,5 km.

Cuando un cometa se encuentra lejos del interior del sistema solar tendrá su núcleo congelado, y sólo podemos detectar su presencia por la luz que refleja del Sol. Pero al irse acercando, a pocas U.A. de nuestra estrella, su superficie comienza a calentarse y los materiales volátiles se evaporan; las moléculas evaporadas se desprenden y arrastran con ellas pequeñas partículas sólidas formando la coma o cabellera del cometa, compuesta de gas y polvo. Este núcleo y la cabellera, menos brillante, constituyen la cabeza del cometa. El tamaño del núcleo suele ser de unos pocos kilómetros, y sólo en los grandes cometas este tamaño sobrepasa la decena.



En un cometa se pueden diferenciar dos partes: la cola y la cabeza; en esta última encontramos el núcleo y la cabellera.

Se conocen cometas que se han roto en pedazos, como es el caso del cometa Biela, que dejó de verse por un tiempo y, al reaparecer en 1845, estaba fragmentado en dos trozos, probablemente porque había pasado cerca del masivo planeta Júpiter. El caso más reciente de cometa fragmentado es el del Shoemaker-Levy 9, que se rompió en múltiples fragmentos al pasar por las proximidades de Júpiter para terminar chocando contra él en mayo de 1994.

Los cometas, en la mayoría de las ocasiones, desarrollan colas de material luminoso que se extienden a millones de kilómetros desde la cabeza, alejándose en dirección opuesta al Sol.

Esta cola se forma como consecuencia del aumento de presión de la radiación solar, haciendo que los vientos solares arrastren los materiales de la cabeza del cometa y los alejen a grandes distancias. Dicho arrastre no se efectúa de manera igual en todos los componentes de la cabellera, pues según sean el tamaño y la masa de los materiales se pueden formar dos colas visibles: la cola iónica y la cola de polvo. La primera, formada por plasma o moléculas ionizadas, es arrastrada con un mayor empuje, mostrándose como una línea casi recta que se extiende desde el cometa en sentido opuesto al Sol. La cola de polvo, un poco más masiva, es atraída por el propio cometa, con lo que tiende a curvarse. No todos los cometas desarrollan ambas colas, como se puede apreciar en las fotografías del Hale - Bopp y del Hyakutake.



Según las últimas teorías, los cometas provienen de una nube de cometas que rodea al sistema solar, denominada nube de Oort. De esta nube se desprenden fragmentos que son atraídos hacia las cercanías del Sol.

Cuando los cometas están lejos del Sol, su núcleo está muy frío y el material está congelado, recibiendo a veces el nombre de "bola de nieve sucia".





La cola de un cometa apunta siempre en dirección opuesta al Sol.

Muchos aficionados dedican parte de su tiempo a la búsqueda de cometas, y normalmente son descubiertos cuando aún están formando su cabellera. Cuando se hacen visibles a simple vista, ya han sido observados durante semanas o meses. La persona que descubra un nuevo cometa tiene el privilegio de bautizarlo con su apellido.



A su paso, en 1997, se pudo apreciar a simple vista la cola iónica de color azulado del cometa Hale-Bopp, formada por plasma y gas. La otra, más ancha y curvada, está compuesta por partículas microscópicas de polvo. El Hyakutake, en 1996, solamente desarrolló la cola iónica.



En su recorrido por las cercanías del sistema solar, los cometas pierden parte de su materia volátil, reduciendo por tanto su vida poco a poco. Los científicos aprovechan el paso de estos objetos estelares por las proximidades de la Tierra para estudiar la composición de la cabeza de los cometas. Se han encontrado materias volátiles como cianuro, anhídrido carbónico ionizado y agua. En el Hale-Bopp se descubrió la presencia de sodio durante su perihelio en 1997, según estudios realizados desde el observatorio del Teide. Se cree que algunos asteroides son los núcleos de cometas extinguidos, que ya han perdido todos sus compuestos volátiles, convirtiéndose de esa manera en una masa rocosa.



En tiempo de los antiguos griegos, los cometas y los meteoros eran considerados como objetos de la atmósfera superior, de ahí el origen de la palabra meteor. Se creía que los cielos eran eternos e inmutables; por consiguiente, cualquier cosa que apareciese sólo temporalmente no podía ser celeste, como lo son el viento, las nubes o la lluvia. Se equivocaron con los cometas pero acertaron con los meteoros.

El más famoso de todos los cometas es el Halley. En la antigüedad, tanto el Halley como los demás cometas, fueron mirados con miedo, porque la gente creía que los cielos profetizaban el futuro. Un cometa resultaba ser un presagio de calamidades, pues con su larga cola, brillante y reluciente cabeza, parecía una llamarada de vapor caliente. En consecuencia, la gente esperaba que fuera seguido de condiciones de mucho calor y sequía, y en una época en la que no había mucha higiene, eso se traducía en horribles temporadas de plagas o epidemias.

En noviembre de 1577 apareció un cometa que despertó gran interés por su gran brillo y cola extremadamente larga. Uno de los que lo vieron fue Tycho Brahe, quien cuidadosamente observó la posición del cometa con sus precisos instrumentos. Se dio cuenta de que su cola apuntaba siempre en dirección opuesta al Sol. Después de que desapareciera el cometa, Brahe comparó sus observaciones con las realizadas por astrónomos de otros países, comprobando que el cometa no tenía paralaje apreciable. Eso significaba que se encontraba mucho más lejos que la Luna (que sí presenta paralaje), lo cual fue un descubrimiento bastante importante porque se probaba con ello que era falsa la vieja idea de que los cometas eran un fenómeno que ocurría en la atmósfera superior.



Como habrás observado, se suele representar la estrella de Belén como un cometa, aunque no se sabe con certeza si esa estrella que ves en los "nacimientos" fue un cometa o una conjunción de planetas brillantes.

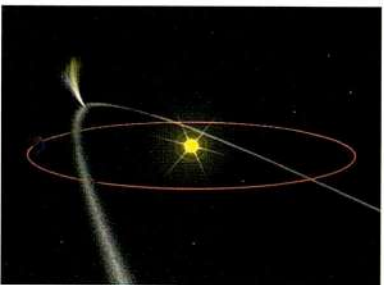
Meteoros, meteoroides y meteoritos



Una "estrella fugaz" no es más que un meteorito. Este fenómeno se produce en la atmósfera, a unos noventa kilómetros de altura, cuando una partícula del tamaño de un grano de arena penetra en ella a una velocidad por lo general superior a los 30 km/s. ¿Cómo crees que podemos ver algo tan pequeño y lejano?



Los meteoritos son meteoroides que después de producir un meteoro atmosférico llegan a la superficie de la Tierra.



Cuando la Tierra atraviesa la órbita de un cometa, es posible que se produzca una lluvia de estrellas fugaces, como consecuencia de las partículas del cometa dejadas a su paso.

La palabra *meteoro* proviene del griego *meteoron*, que significa fenómeno en el cielo. Es utilizada para describir el destello luminoso producido por la caída de la materia que existe en el sistema solar sobre la atmósfera terrestre, produciéndose una incandescencia, resultado de la fricción atmosférica, que dura apenas unos segundos o menos. Esta fricción se produce generalmente a alturas entre 80 y 120 kilómetros sobre la superficie de la Tierra.

La palabra *meteoroides* se utiliza cuando nos referimos a la propia partícula sin ninguna relación con el fenómeno que produce al entrar en la atmósfera de la Tierra. Un meteoroides es materia que gira alrededor del Sol o cualquier objeto del espacio interplanetario que es demasiado pequeño para ser considerado como un asteroide o como un cometa. Las partículas que son más pequeñas todavía reciben el nombre de micrometeoroides o granos de polvo estelar.

Un *meteorito* es un meteoroides que alcanza la superficie de la Tierra sin que se haya vaporizado completamente.

Uno de los principales objetivos del estudio de los meteoritos es determinar la historia y origen de sus cuerpos progenitores. Se ha demostrado concluyentemente que algunos meteoritos recogidos en la Antártida desde 1981 proceden de la Luna, basándose en el parecido que tiene su composición con la de las rocas obtenidas durante las misiones Apollo entre 1969 y 1972. Se supone que muchos de los meteoritos se han originado en asteroides o cometas. Los meteoritos son difíciles de clasificar, pero se pueden establecer tres grandes grupos: rocosos, ferrosos de tipo rocoso y ferrosos. La datación radiométrica de los meteoritos les ha asignado una edad de 4 550 millones de años, que es aproximadamente la edad del sistema solar. Están considerados como buenos ejemplos de la materia primitiva del sistema solar, aunque en muchos casos sus propiedades han sido modificadas por el metamorfismo térmico o alterados por congelación.

Se piensa que la mayor parte de las corrientes de meteoroides está formada por la desintegración del núcleo de algún cometa y consecuentemente se distribuyen alrededor de su órbita original.

Durante una "lluvia de estrellas" los meteoros parecen salir de un punto en el cielo denominado radiante, que recibe el nombre de la constelación donde esté situado. La divergencia con que los vemos caer es un efecto óptico debido a la perspectiva. Un ejemplo de lluvia famosa son las Perseidas (con el radiante situado en Perseo), que se repite cada año en torno al 12 de Agosto; se la conoce popularmente como "lágrimas de San Lorenzo".

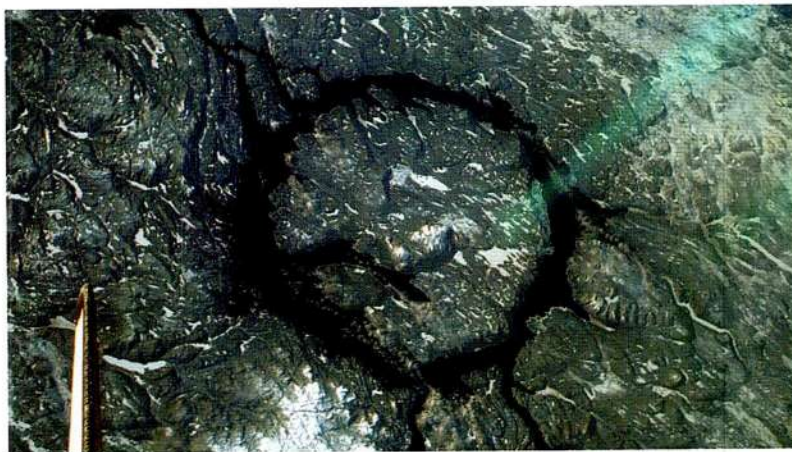
Las "lluvias de estrellas" suelen continuar durante varios días. Si la lluvia es particularmente intensa recibe el nombre de tormenta de meteoros.



Las líneas paralelas parecen converger en la lejanía.



Cuando los meteoritos que llegan al suelo son de un tamaño y peso considerables pueden causar estragos. Si un meteorito grande cae a la Tierra, los gases calientes que arrastra serán la causa de que excave un cráter mucho mayor que él mismo. El cráter más famoso de esta naturaleza es el Barringer, en Arizona. Se formó hace unos 20 000 años y su diámetro es de 1,2 km. La mayor parte del meteorito está sepultada debajo de la superficie del cráter. En época histórica el impacto más famoso es el que se produjo en 1908 cerca del río Tunguska, en Siberia. Fue debido a la entrada y desintegración de un cometa en la atmósfera. Esto provocó que se arrasaran los bosques en un radio de 30 km alrededor del punto del choque. Se supone que el impacto de un meteorito de unos 2 km pudo ser el culpable de la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años.



Cráter de 100 km de diámetro producido hace 212 millones de años por el impacto de un meteorito.

La procedencia de otros meteoritos todavía es desconocida, aunque se sospecha que algunos de los encontrados podrían proceder de Marte. Estos meteoritos contienen gases atmosféricos atrapados en los minerales fundidos, cuya composición coincide con la de la atmósfera marciana tal como fue medida por las sondas Viking en 1976.



El mejor momento para observar una lluvia de meteoros es un rato antes del amanecer, pues estás viendo el camino por el que va a pasar la Tierra encontrándote a los meteoros frente a ti.

Si vas en un coche un día de lluvia verás que golpean más gotas sobre el cristal delantero que sobre el trasero. Intenta relacionar este hecho con lo descrito en el párrafo anterior.



La corriente meteórica puede ser alterada de manera apreciable por la influencia de los campos gravitatorios de los grandes planetas: Júpiter y Saturno.



Podrás encontrar información de las lluvias de meteoros más importantes del año, en las **Tablas y Efemérides** al final del libro.

Los meteoros caen paralelos entre sí y sin embargo nos parece que siguen líneas divergentes. Pon un ejemplo de la vida ordinaria en el que se aprecie el mismo efecto.





TALLER

Reproducción a escala del sistema solar

Objetivo: En este taller vas a reproducir un sistema solar a escala, que situarás en las instalaciones del propio centro escolar.

Material: Cinta métrica
Calculadora
Papel y tijeras

Construcción: Usando la distancia entre los planetas y el Sol, que podrás obtener en **Tablas y Efemérides**, intentarás reproducir a escala nuestro propio sistema solar. Previamente en clase deberás estimar cuál es la escala más apropiada para representar las distancias al Sol en función del espacio de que vayas a disponer. Así, por ejemplo, si se decide que una U.A. equivale a un metro, tendrás que pasar todas las distancias que encuentres en las tablas a unidades astronómicas. Repite lo mismo pero esta vez con el tamaño relativo de los planetas; tendrá que ser a otra escala, esta vez mayor que la utilizada para representar las distancias, pues de lo contrario el tamaño de los planetas quedaría muy pequeño, o el sistema solar no te cabría dentro del colegio o instituto.

Una vez obtenidas las medidas, tanto del diámetro de los planetas como de sus órbitas, recorta círculos de papel que representen el tamaño de cada planeta; escribe en ellos sus nombres correspondientes, y a continuación elige un punto de tu centro escolar donde colocarás el Sol; por ejemplo al comienzo de un pasillo, en la portería del campo de fútbol, etc. A partir de ese punto comienza a colocar los círculos de papel a la distancia correspondiente a cada uno, hasta terminar con Plutón; si no cabe en el Centro es que no has usado una escala adecuada y deberás reducirla hasta el tamaño apropiado.

Utilización: Observa ahora tu pequeño sistema solar, ¿qué consecuencias sacas de él?, ¿te parece grande o pequeño?, ¿lleno o vacío? A la escala a la que hiciste los planetas ¿qué tamaño tendría el Sol? Situándote en la posición de nuestra estrella, puedes ver el último planeta del sistema solar (recuerda que en realidad se vería mucho más pequeño, pues has usado una escala mayor para los tamaños que para las distancias).

Grabando los sonidos de Júpiter

Júpiter, además de luz visible e infrarroja, emite también ondas de radio que un receptor puede captar.

Objetivo: Con un sencillo experimento y algo de paciencia intentarás escuchar los sonidos que emite el mayor planeta del sistema solar.

Material: Radio con grabadora. Dos advertencias: es necesario que la radio tenga Onda Corta (SW) y que su dial alcance los 22 MHz de frecuencia.

Utilización: Sintoniza la radio en la frecuencia de 21 MHz, procurando que no se oiga sonido de fondo; si es necesario desplaza un poco el dial de esa posición. Como las emisiones no se producen de forma continua sino que los chorros de emisión giran con el planeta, hay que esperar a que estén activos y dirigidos hacia la Tierra. Cuando captes su emisión, comienza a grabar: escucharás unos pequeños zumbidos a intervalos algo inferiores a medio segundo, durante unos minutos, aumentando de intensidad y volviendo a disminuir. Debes tener paciencia, pues raramente se consigue a la primera. Cuando lo logres apunta la hora a la que se produce e inténtalo de nuevo unas 10 horas después, que es el periodo de rotación del planeta con respecto a la Tierra.

La emisión de ondas de radio por parte de Júpiter tiene varios orígenes: una, muy débil, es



debida a la temperatura del planeta; otra es emitida por electrones almacenados en el intenso campo magnético de Júpiter y acelerados a grandes velocidades; y la tercera, que es la más intensa, está localizada en regiones muy específicas (una en la Mancha Roja) y se debe a descargas eléctricas que emiten chorros de corta duración. Éstos últimos muestran además una sincronización temporal con el periodo de revolución de algunos satélites como Ío, con el cual se supone que interaccionan estas radiaciones.

Trayectoria de un cometa

Normalmente asociamos el sentido del rastro que deja un objeto en movimiento con la trayectoria recorrida por éste. Por ejemplo, el rastro que suele dejar el sujeto que huye en los dibujos animados.

Objetivo: Con este sencillo taller comprenderás mejor por qué la cola de los cometas no coincide necesariamente con su trayectoria.

Material: Una bola o pelota pequeña, pegamento, cintas delgadas de papel y un ventilador giratorio.

Construcción: Pega las cintas alrededor de la bola o pelota. Sitúa el ventilador en el centro de la habitación y conéctalo en posición fija.

Utilización: Acerca la pelota lentamente hacia el ventilador; cuando esté lo suficientemente próxima notarás que las cintas se orientan en sentido contrario debido al aire que expulsa. Haz girar el ventilador a la vez que desplazas la pelota a su alrededor de forma sincrónica describiendo un arco de circunferencia; observarás que las cintas se mantienen orientadas en sentido contrario (radial) al ventilador y no en el sentido de la trayectoria de la pelota. Vuelve a fijar el ventilador y aleja la pelota lentamente; comprobarás que las cintas preceden a la pelota en su movimiento.

En el modelo que has empleado, el ventilador representa al Sol; el aire impulsado por éste figura ser el viento solar. La pelota es la cabeza del cometa y las cintas de papel, movidas según la dirección del aire, representan la cola del cometa, orientada ésta por el soplido del viento solar.



En estas dos fotografías tomadas los días 7 y 9 de abril de 1997, puedes apreciar cómo el sentido de la cola del Hale Bopp no coincide con el desplazamiento del cometa. En esos días se encontraba el Hale Bopp en la constelación de Perseo, acercándose a las estrellas Algol (β Persei) y a la anaranjada ρ Persei.



PARA SABER MÁS

El Hubble encuentra un posible planeta fugitivo

El equipo dirigido por Susan Terebey (*Extrasolar Research Corporation*) ha descubierto un posible planeta, con una masa estimada entre dos a tres veces la de Júpiter, que ha sido expulsado de un sistema estelar doble. De confirmarse la noticia, se trataría del primer planeta fuera de nuestro sistema solar en ser observado directamente. Hasta ahora, los planetas encontrados lo han sido por métodos indirectos. Uno de ellos consiste en comprobar la oscilación inducida por el planeta sobre la estrella al orbitar en torno a ella.

La investigación se encuentra sin embargo en sus primeras etapas y aún habrá que realizar observaciones espectrales para confirmar si se trata de un protoplaneta.

(La fuente documental es de *Extrasolar Research Corp.* y de la *NASA*).

Buscando la escala del sistema solar

Las observaciones de Kepler relativas a las distancias de los planetas tenían de particular que todas estaban consideradas según la distancia Sol-Tierra, que se toma como unidad y que corresponde a 1 U.A. (Unidad Astronómica). Hacía falta, por tanto, conocer el valor de esa distancia y así averiguar las de los demás planetas con ayuda de la tercera ley de Kepler. Esta ley permite calcular la distancia de un planeta al Sol a partir de su periodo de revolución, lo cual es fácil de medir.

Para averiguar esta distancia, había que tantear primero la correspondiente a cuerpos cercanos. El primer intento basado en el paralaje fue realizado en 1671 usando telescopios desde

diferentes lugares de la Tierra para determinar el paralaje del planeta Marte. Una vez obtenida esta medida se pudo aplicar la tercera ley de Kepler al resto de los planetas y conocer así su distancia aproximada al Sol. Con este método también se puede determinar la distancia a los cuerpos más cercanos, como por ejemplo el asteroide Eros, que puede aproximarse hasta unos 22 millones de km de nuestro planeta.

Distancia de la Tierra a Venus cuando está en su máxima elongación: soluciones gráfica y analítica. Teorema de Pitágoras



Puedes suponer (sin cometer por esto mucho error) que las órbitas de Venus y de la Tierra son circunferencias de radios de 108 y 150 millones de kilómetros, respectivamente. Dibújalas a escala, marca las posiciones del Sol y de ambos planetas (de forma que Venus se encuentre en su máxima elongación) y comprueba que forman un triángulo rectángulo. ¿Qué cuerpo ocupa el vértice del ángulo recto? Aplica el teorema de Pitágoras y calcula la distancia que nos separa entonces de Venus. Compara el resultado con el que obtengas gráficamente.

Relación entre periodos orbitales de los satélites de Júpiter y sus distancias al planeta. Comprobación de la tercera ley de Kepler: proporciones

Los cuatro satélites de Júpiter que puedes observar con prismáticos o telescopio son Io, Europa, Ganimedes y Calixto.

Kepler enunció las leyes para los movimientos de los planetas alrededor del Sol. Comprueba si su tercera ley se cumple también para los periodos orbitales de los satélites de Júpiter.



DATOS DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER

Nombre	Dist. a Júpiter	Periodo orbital (año)
Io	422 000Km	1,77 días
Europa	671 000Km	3,5 días
Ganimedes	1 070 400Km	7,15 días
Calixto	1 882 000Km	16,69 días

Haciendo uso de los resultados obtenidos indica el valor de la constante de Kepler para Júpiter. Comprueba que es diferente a la obtenida para el Sol.

Observar satélites artificiales



Desde que a finales de los años 50 se lanzó el primer satélite al espacio, más de 6 000 objetos han sido enviados fuera de nuestra atmósfera para estudiar tanto nuestro planeta como los demás cuerpos que pueblan nuestro sistema solar. Pero seguro que no has pensado que muchos de esos satélites son visibles a simple vista desde la Tierra; por supuesto, sólo aquellos que giran alrededor de la Tierra en una órbita baja (unos cientos de km). Estos artefactos reflejan la luz del Sol al igual que lo hacen todos los objetos del sistema solar, en mayor o menor medida, y su brillo es fácilmente visible sin utilizar ningún instrumento óptico. Para lograrlo debes realizar el siguiente experimento.

Túmbate en el suelo y observa las proximidades del cenit unos 45 minutos después de que el Sol se haya ocultado tras el horizonte. Seguramente percibirás a lo largo de una media hora cómo hay unos puntos más o menos luminosos que se desplazan en el cielo en línea recta. Para cerciorarte de que lo que estás viendo es un satélite, sigue observándolo hasta que desaparezca. Seguramente verás que desaparece en tan solo unos segundos antes de que

llegue al horizonte; eso es debido a que está penetrando en la sombra de la Tierra.

Muchos de ellos giran sobre sí mismo, por lo que la luz del Sol incide en diferentes partes del satélite, haciendo que su luz varíe de intensidad y se produzcan periódicamente destellos máximos ya que tienen partes que reflejan mejor la luz que otras. Cuando observes un satélite que cambia de brillo, puedes averiguar cuál es su periodo de rotación; sólo tienes que cronometrar el tiempo transcurrido entre dos destellos consecutivos.

Con lo aprendido aquí, intenta ahora deducir la respuesta a estas preguntas:

¿Podrías observar un satélite a medianoche desde España? ¿Por qué?

¿Desde qué sitios del Planeta se puede avistar y en qué época del año?



El sistema solar está representado en Internet en *Vistas del Sistema Solar*, un sitio ameno e interesante en español. El Laboratorio de Propulsión a Chorro del Instituto Tecnológico de California ha sido el principal responsable de la mayoría de las misiones de exploración no tripuladas.

Por último, averigua, a través de Internet, en qué noche puede hacerse visible algún satélite artificial e intenta verlo. Entre los satélites más brillantes están el Hubble Space Telescope (HST), las lanzaderas espaciales y la International Space Station (ISS).

DIRECCIONES DE INTERÉS

Vistas del Sistema Solar

<http://bang.lanl.gov/solarsys/spanish/>

Jet Propulsion Laboratory

<http://www.jpl.nasa.gov/>

Satellite Tracking Pass Predictions

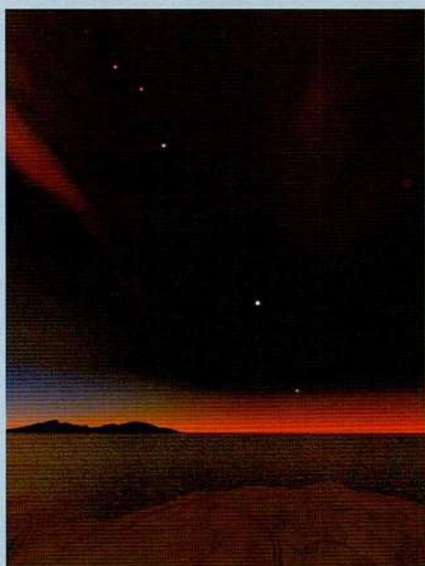
<http://acsprod1.acs.ncsu.edu/scripts/HamRadio/sattrack>



AUTOEVALUACIÓN

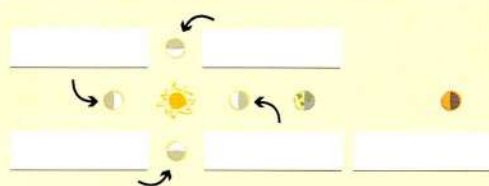
Rellena las fichas con estos datos:

Distancia (millones de km): 4496, 778, 108, 58, 150, 5946, 1427, 228, 2870
 Traslación (años): 84 - 0,62 - 1,9 - 29,5 - 247,7 - 0,24 - 1 - 11,9 - 164,8
 Diámetro: 3500, 4892, 6794, 12103, 12750, 49500, 51800, 120000, 142796
 Satélites: 0, 0, 1, 1, 2, 8, 15, 16, 18



El atardecer de la figura muestra una situación no excesivamente frecuente, cinco planetas visibles a simple vista al mismo tiempo. ¿Te atreves a identificarlos usando la lógica?

Solución: Los tres más alejados deben ser exteriores, (los interiores no llegan tan lejos del Sol). De ellos el más brillante es Júpiter, los otros dos son Saturno (el amarillo) y Marte (el rojo). Venus destaca por ser el más brillante de todos y Mercurio, muy bajo en el horizonte, apenas se distingue.



Rellena los huecos con estas palabras:

Conjunción inferior, conjunción superior, máxima elongación este, máxima elongación oeste, oposición.



Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____

Nombre: _____
 Distancia: _____
 Traslación: _____
 Diámetro: _____
 Satélites: _____



- Los astros que vemos con mayor brillo son el Sol y la Luna. ¿Sabes cuál es el tercero en brillo?
- Mercurio y Venus son planetas interiores, giran en órbitas más próximas al Sol que nosotros. ¿Podrás observar Mercurio o Venus a media noche? ¿Cuándo sería posible verlos?
- Venus es conocido como el Lucero del Alba. ¿Por qué?
- Considerando las órbitas circulares ¿a qué distancia se encuentra Venus de la Tierra cuando está en conjunción superior? ¿Y durante la conjunción inferior?
- Explica si tendría sentido hablar de periodo sinódico y periodo sidéreo de la Tierra al observarla desde el planeta Marte. ¿Cuál de los dos tendría más duración?
- ¿A qué crees que se debe la dificultad que tienen los astrofísicos para encontrar planetas alrededor de otras estrellas?
- ¿Por qué no podemos ver planetas como Mercurio o Venus en oposición respecto del Sol?
- ¿En qué consiste el movimiento retrógrado de los planetas?
- ¿Por qué no podemos hablar de conjunciones superior e inferior en algunos planetas como Marte o Saturno?

- Busca los datos necesarios en esta unidad y calcula la velocidad de traslación en km/seg de Júpiter y de Saturno. Para simplificar puedes suponer que las órbitas son circulares.
- Con un telescopio pequeño, podemos ver fases en Venus similares a las de la Luna. Razona si será posible ver fases en Júpiter o Saturno.
- ¿Qué es una conjunción planetaria? ¿Por qué se ven alineados los planetas en conjunción?
- ¿Se cumplirá la tercera ley de Kepler entre los satélites de Júpiter? ¿Y entre los de Saturno?
- Si calculas el valor de la constante de Kepler verás que no es igual para los satélites de Júpiter que para los planetas respecto del Sol ¿De qué crees que depende?
- Sabiendo que el periodo de traslación de Júpiter es de 11,9 años, calcula su distancia media al Sol. Utiliza la tercera ley de Kepler y toma como valores de referencia la duración del periodo terrestre y su distancia media al Sol.
- ¿Por qué los asteroides tienen forma irregular y no esférica?
- Explica la diferencia entre meteoro, meteorito y meteorioide.

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:

Albedo, asteroide, cometa, conjunción, efecto invernadero, elongación, meteorito, meteoro, meteorioide, nube de Oort, oposición, retrógrado.

BIBLIOGRAFÍA

FRED H., *Iniciación a la Astronomía*. Hermann. Blume, Madrid, 1984.

ROTH G.D., *Guía de las estrellas y de los planetas*. Omega, Barcelona, 1989.

WILLIAM K. WITH JOE C., *Craters*. National Science Teacher Association (NTSA), USA, 1995.



LAS ESTRELLAS Y LAS GALAXIAS



Los innumerables átomos que hoy constituyen tu cuerpo se originaron hace mucho más de cinco mil millones de años en algún cataclismo estelar. Cada uno de ellos tiene su propia historia, ha formado parte de múltiples sustancias y contribuirá a construir otras después de ti. ¡Son tantos que algunos tal vez hayan pertenecido a personajes históricos!

Pero lo importante es que *ahora* están organizados, dando vida a un ser único como tú; un ser preparado para razonar e investigar sobre el propio Universo del que procede.

En esta fracción de segundo cósmico que te ha tocado vivir no hay lugar, ni motivo, para la apatía.

Asumé el afortunado reto de ser humano.



Las estrellas se pueden extinguir de forma lenta y discreta, como le ocurrirá a nuestro Sol, o de manera explosiva si la masa estelar es suficientemente grande. En el primer caso, el resto que dejan al morir da lugar a una estrella llamada enana blanca y, en el segundo, a una estrella de neutrones o, tal vez, a un agujero negro:

La observación sistemática de las galaxias, comunidades constituidas por cientos de miles de millones de estrellas, ha hecho posible obtener información sobre la edad y evolución del Universo.

¿Sabes a qué se debe que haya estrellas de diferentes brillos?

Trata de recordar si has visto estrellas con distintos colores. Pon algunos ejemplos.

¿Cómo es posible que haya una teoría aceptable sobre la evolución de las estrellas si ninguna ha podido ser observada desde su nacimiento hasta su extinción?

¿Por qué razón las galaxias parecen “huir” de la Tierra?

¿Cómo crees que se puede saber la edad del Universo?

Estamos en un universo que viene de un pasado luminoso y caliente y que se expande hacia la oscuridad, el frío y el vacío.

H. Reeves. Astrofísico.

Como ya sabes, las estrellas son cuerpos celestes que poseen luz propia generada en un proceso similar al que ocurre en el Sol. Algunas propiedades como el brillo y el color varían de unas a otras: en unas dominan las tonalidades azules, otras son blancas, y también las hay amarillas, rojizas y anaranjadas.



Cualquier zona del cielo que observes está poblada de estrellas cuyos aspectos diferentes dependen de su distancia, tamaño y edad.



En las observaciones realizadas durante el curso has aprendido a localizar muchas estrellas, a distinguirlas de los planetas y a conocer algunas de sus características, como el brillo y el color.

En la segunda unidad aprendiste que el brillo que presenta un astro, visto desde la Tierra, se mide mediante la escala de magnitudes aparentes. Recuerda que cuanto más brillante vemos una estrella más pequeña es la cifra que representa su magnitud.

El brillo de las estrellas: magnitudes estelares

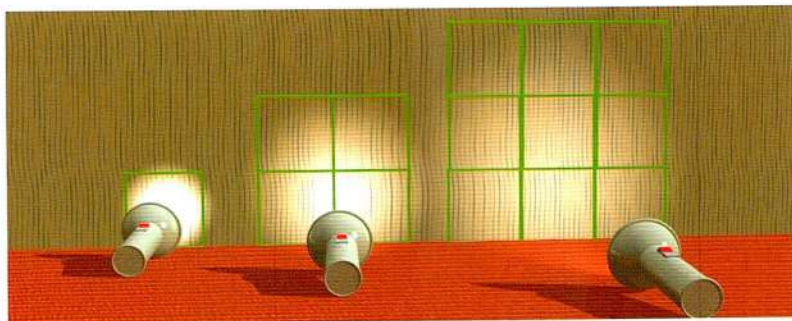
El brillo de las estrellas aumenta con el tamaño y con su temperatura y disminuye con la distancia a la que se encuentran. Se puede obtener información sobre la distancia a la que se encuentra una estrella mediante la *escala de magnitudes aparentes*. Como sabes, según esta escala, si vemos una estrella 2,5 veces más brillante que otra, la magnitud aparente de la primera es una unidad inferior a la de la segunda. Puede ser que ésta sea más luminosa, pero que se encuentre mucho más lejos que la primera.

Con la finalidad de precisar el brillo de las estrellas, independientemente de la distancia a la que se encuentren, se introduce la *escala de magnitudes absolutas*, que mide el brillo intrínseco de una estrella. Se define magnitud absoluta al brillo que tendría el astro si estuviera situado a diez parsec, o sea, a 32,6 años luz de la Tierra.

El brillo disminuye con el cuadrado de la distancia, por lo que una estrella que tenga el mismo brillo intrínseco que otra y esté situada al doble de distancia de nosotros se verá cuatro veces más débil; si está al triple de distancia se verá nueve veces más débil.

Consulta en **Tablas y Efemérides** la **Relación de las estrellas más brillantes hasta magnitud 2,5**

A pesar de que el brillo de las estrellas disminuye con el cuadrado de la distancia, no debes pensar que las estrellas más brillantes son siempre las más cercanas. Por ejemplo, Rigel, en la constelación de Orión, se ve muy brillante: su magnitud aparente es 0,1 y, sin embargo, está a 910 años luz de la Tierra. Por el contrario, Próxima Centauri sólo está a 4,2 años luz de la Tierra y su magnitud aparente es 11.



Si un foco de luz se separa el doble de su distancia inicial, no iluminará el doble de superficie sino cuatro veces más; al separar el triple, iluminará una superficie nueve veces mayor; y así sucesivamente. La cantidad de luz que llega a cada punto disminuye proporcionalmente con el cuadrado de la distancia.



Calcula la magnitud visual de una estrella

Consulta en el apartado **Tablas y Efemérides la Relación de las estrellas más brillantes hasta magnitud 2,5** y elige cuatro de ellas de magnitudes diferentes (desde magnitud negativa hasta algo mayor de dos) que sean visibles en esta época del año; anota sus nombres y sus magnitudes aparentes.

Escoge varias, cinco o seis, que puedas localizar también en esta fecha usando la misma tabla, anota sus nombres, pero no anotes sus magnitudes, y trata de estimarlas por observación directa, comparándolas con las que tomaste de referencia.

Esta experiencia debe repetirse con diferentes personas de tu entorno (familiares y amistades) tomando como muestra las mismas estrellas. Anota los resultados obtenidos por tus colaboradores para las diferentes estrellas incógnitas. Calcula el valor medio de las magnitudes obtenidas para cada una y compáralo ahora con el que se da en las tablas; podrás comprobar que es muy aproximado.



- ¿Qué es más brillante: la luz de una farola o la de una vela?
- ¿Qué ves más brillante: la vela a diez centímetros de tus ojos o la farola a cien metros?
- ¿Comprendes la diferencia entre magnitud absoluta y aparente?

Si consultas en una tabla de magnitudes estelares y compruebas que una estrella tiene una magnitud absoluta 2,0 y una magnitud aparente 7,3, ¿estará a una distancia de nosotros mayor o menor a diez parsecs?



El desarrollo de la fotografía astronómica en la segunda mitad del siglo XIX supuso un enorme avance en la elaboración de catálogos de estrellas. El holandés Jacobus Cornelius Kapteyn (1851-1922) usó esta técnica para determinar las magnitudes estelares y comprobó la posición de casi medio millón de estrellas utilizando placas fotográficas. Elaboró así un completo catálogo de las estrellas del hemisferio Sur.

Colores y tipos de estrellas



En la cuarta unidad estudiaste la naturaleza de la luz. Se vio que el color de los cuerpos no incandescentes es consecuencia de las longitudes de ondas (procedentes de cuerpos incandescentes) que absorben y reflejan su superficie. Imaginate ahora un cuerpo en plena oscuridad al que vamos a ir calentando progresivamente. Cuando empiece a presentar color será debido, exclusivamente, a las ondas que genera a causa de su temperatura. Como verás más adelante, el color de las estrellas responde a un mecanismo similar al del cuerpo negro.



Clasifica en orden decreciente de longitudes de onda los siguientes tipos de radiaciones: infrarrojo, rayos X, visible, ultravioleta, microondas, ondas de radio.



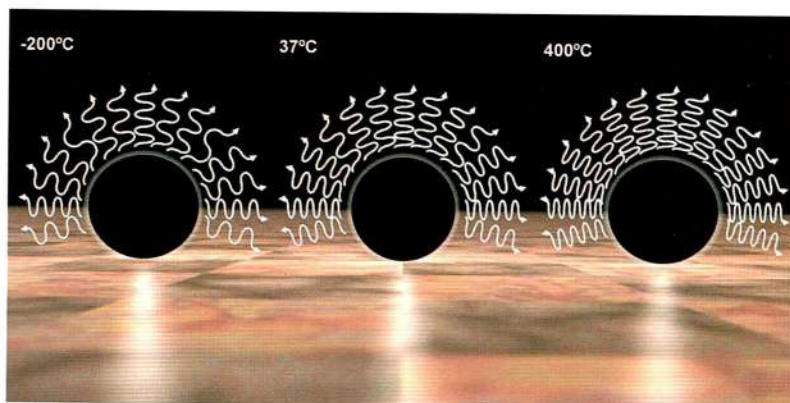
Una primera aproximación al color emitido por el cuerpo negro al aumentar la temperatura podría ser el color que va adquiriendo un clavo al ser calentado progresivamente.



Por encima de los 550 °C los cuerpos emiten luz propia.

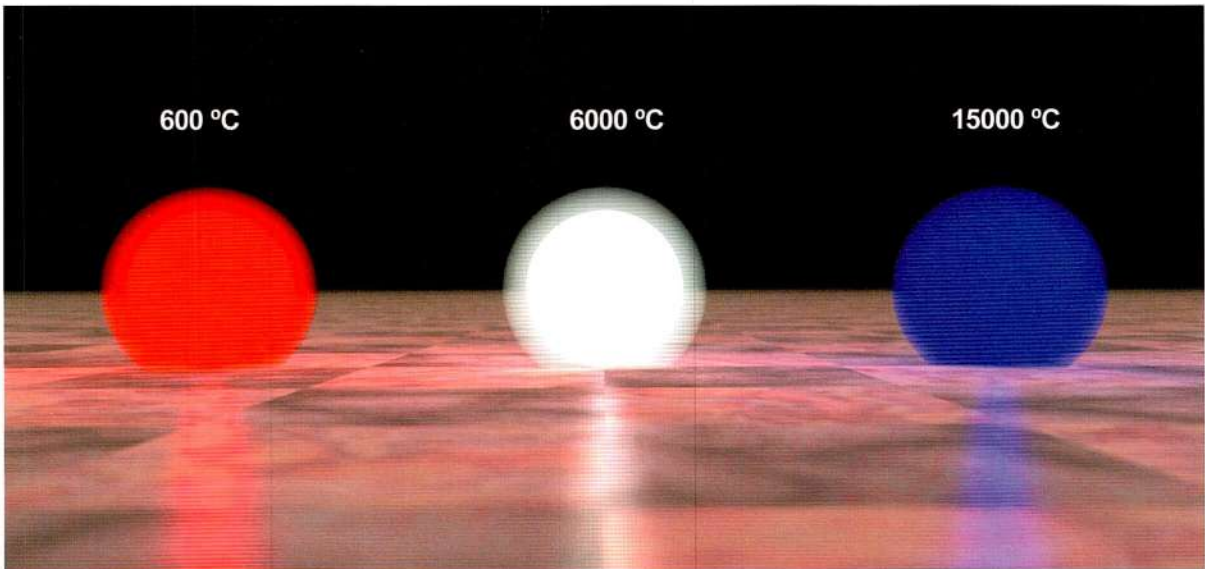
El cuerpo negro

Todos los cuerpos por encima de -273°C , cero absoluto de temperaturas, emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Se llama *cuerpo negro* a un cuerpo ideal capaz de absorber todas las radiaciones que llegan a su superficie; como no refleja ninguna, el color que pueda presentar va a depender exclusivamente de su temperatura. Si la temperatura del cuerpo negro es muy baja, emite sólo radiaciones de longitudes de onda larga: infrarrojas, microondas y ondas de radio, con lo que al no emitir luz visible lo veremos negro. Al aumentar la temperatura, emitirá mayor cantidad de energía, y disminuirá la longitud media de las ondas, aumentando por tanto su frecuencia. Por ejemplo, cuando llegamos a la temperatura del cuerpo humano, las radiaciones más abundantes son las infrarrojas, acompañadas, en menor cantidad, de unas radiaciones de longitud más alta y, en mucha menor proporción, de otras de longitud más baja.



En la imagen vemos cómo la longitud de onda más abundante emitida por el cuerpo negro disminuye con la temperatura. Ese cuerpo no llega a emitir ondas visibles en ninguna de las temperaturas representadas.

Entre 550 y 600 grados centígrados, comenzamos a ver las radiaciones emitidas por un cuerpo: emisión de color. A esa temperatura la radiación más abundante corresponde todavía al infrarrojo (que como sabes no es visible por el ojo humano), pero lo acompañan en menor proporción “fotones rojos”, con lo que el cuerpo empieza a verse de ese color. A $1\,000^{\circ}\text{C}$ la emisión más abundante sigue siendo no visible, pero aumenta el número de rayos visibles: rojos, naranjas y amarillos, lo que da como resultado el color naranja. A $2\,000^{\circ}\text{C}$ el color resultante es el amarillo. Al aproximarnos a los $6\,000^{\circ}$, que es la temperatura a la que se encuentra la superficie del Sol, el máximo de emisión se sitúa en el amarillo, llegando hasta nosotros grandes cantidades de radiaciones, desde el violeta hasta el rojo; el resultado es la luz blanca. Los cuerpos a



temperaturas aún mayores emiten luz visible en toda la gama de longitudes de onda, pero el máximo se desplaza hacia el azul.

Leyes de Stefan - Boltzman y de Wien

Como ya se comentó, al elevar la temperatura de un sólido aumenta mucho la energía que irradia. Según la ley de Stefan - Boltzman, la cantidad de energía emitida por unidad de superficie en cada segundo por el cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura.

También has visto que a una determinada temperatura T la energía se emite en forma de ondas de diferentes longitudes, pero la longitud de onda de los fotones más abundantes λ_m disminuye al aumentar la temperatura del cuerpo, cumpliéndose la relación: $\lambda_m T = K$. (La constante $K = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m } ^\circ\text{K}$). Puedes comprobar de forma cualitativa estas leyes en el **Taller** titulado **Relación entre la temperatura y el color de un sólido incandescente**.

Colores y tipos espectrales de las estrellas

Las estrellas pueden comportarse de forma semejante a como lo hace el cuerpo negro. En ellas también existe una dependencia entre el color y la temperatura. Su color, al igual que en el cuerpo negro, podrá variar desde el rojo hasta el azul, pasando por naranja, amarillo y blanco. Sometiendo la luz de las estrellas a análisis espectral, se ha comprobado que las que tienen un espectro de absorción parecido, poseen temperaturas similares. El color, la temperatura y el tipo espectral de una estrella están por tanto íntimamente relacionados.

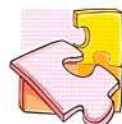
A las tres temperaturas representadas, el cuerpo emite luz visible: a 600°C el máximo está en el infrarrojo, pero emite fotones del rojo y lo percibimos de ese color. A 6000°C el cuerpo emite toda la gama de longitudes de onda del visible: "luz blanca". A temperaturas más elevadas, el máximo de emisión corresponde a radiaciones ultravioletas, que no son visibles, pero el cuerpo irradia también fotones azules.

La expresión matemática de la ley de Stefan-Boltzman es $E = \sigma T^4$, que nos da la energía radiante emitida por cada metro cuadrado de un cuerpo en la unidad de tiempo ($\sigma = 5,673 \times 10^{-8} \text{ w vatios/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$).





Como ya viste al estudiar el Sol, la incidencia simultánea de toda la gama de longitudes de onda, desde el violeta hasta el rojo, nos da la sensación de blanco: así es la luz solar.



La temperatura de la superficie del Sol es de unos 6 000°K.
¿Cuál será la longitud de onda de los fotones que emite más abundantemente?
¿A qué color corresponde esa longitud de onda?



Al ir calentando un clavo ¿llegará a ponerse al "verde vivo"?

Los diferentes tipos de espectros que producen las estrellas dan origen a una clasificación que, en orden decreciente de temperaturas, es ésta: O, B, A, F, G, K, M.

Tipo	T °K	Color
O	>30 000	Azul fuerte
B	10 000 – 30 000	Azul
A	7 500 – 10 000	Blanco
F	6 000 – 7 500	Blanco amarillento
G	5 000 – 6 000	Amarillo
K	3 500 – 5 000	Anaranjado
M	< 3 500	Rojo

La ley de Stefan-Boltzman dice que en un cuerpo negro la luz emitida por unidad de superficie en cada segundo depende de la temperatura. Según esto, todas las estrellas calientes (azules) deberían emitir mucha luz, y las frías (rojas) tendrían que ser tenues, pero en las estrellas no siempre ocurre así. Efectivamente, algunas estrellas rojas son poco luminosas, pero otras emiten mucha luz, como por ejemplo Mirach, en la constelación de Andrómeda, o Betelgeuse, en Orión, que es miles de veces más luminosa que el Sol.

Herzsprung justificó en 1905 esta aparente contradicción suponiendo que aquellas estrellas rojas que, como Antares, emiten mucha luz, a pesar de su baja temperatura superficial, deben tener enormes superficies de emisión, es decir, son muy grandes. Por eso las llamó *gigantes rojas*.

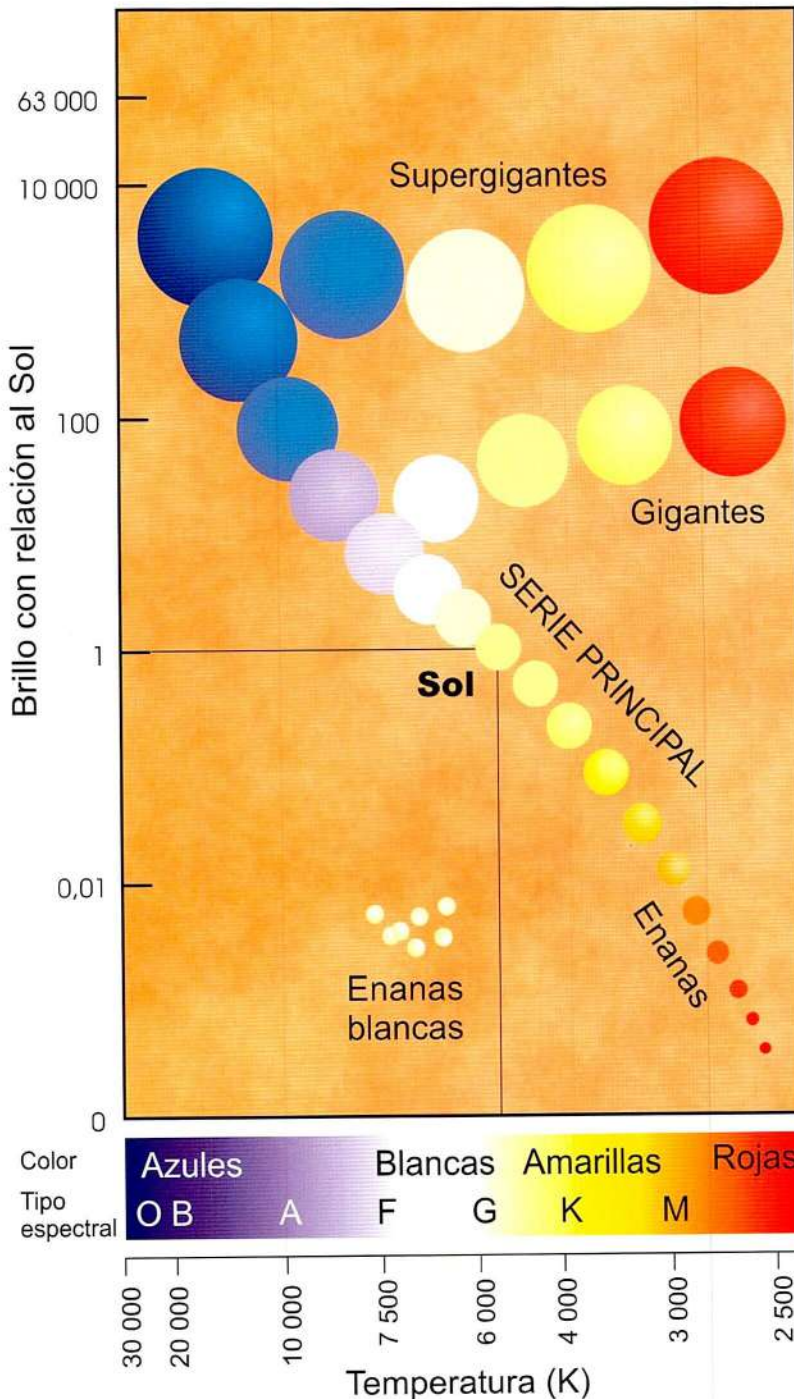
Esta suposición fue confirmada en 1920 de forma experimental. Se comprobó que Betelgeuse tiene un diámetro más de trescientas veces superior al del Sol y su superficie, por tanto, es cien mil veces mayor. Por consiguiente, si el Sol fuese una estrella gigante roja similar a Betelgeuse, su radio llegaría hasta el lugar que ocupa el cinturón de asteroides.

Diagrama H-R

Russell elaboró en 1913 un gráfico (diagrama Hertzsprung-Russell) en el que situó los tipos espectrales (o la temperatura) en el eje de abscisas, empezando por la correspondiente a la mayor temperatura, y el brillo (o la magnitud absoluta) en el de ordenadas. Cada estrella se representa por un punto en el diagrama H-R, que se obtiene a través de su brillo y de su tipo espectral. En la mayor parte de las estrellas existe una correspondencia directa entre temperatura y brillo, con lo que se aprecia una distribución diagonal en el diagrama, que va de la zona superior izquierda a la inferior derecha, a la que se denomina *secuencia principal*.



Las líneas espectrales que se obtienen al hacer pasar la luz de una estrella a través de un espectroscopio sirven como termómetro para medir la temperatura de la superficie estelar.



Busca en **Tablas y Efemérides** varias estrellas que sean rojas y emitan mucha luz. Para lo primero, fíjate en el tipo de espectro que representa (O, B, ... K, M). ¿En qué columna te fijarás para buscar lo segundo? Intenta observar alguna de ellas que sea visible en ésta época del año; estarás viendo una gigante roja.



Si sacamos una fotografía de un lugar donde haya grupos representativos de personas de todas las edades, podríamos tener idea de la evolución de un ser humano a lo largo de su vida. En este sentido, se puede considerar el diagrama H-R como una fotografía que representa la evolución de las estrellas.

Al representar el brillo y el color (o tipo espectral) de una estrella se obtiene un punto en el diagrama. Cuando se representa un conjunto de ellas resulta, básicamente, una distribución diagonal de puntos en la que se aprecia una relación entre la temperatura y el brillo. Las estrellas representadas dentro de esa diagonal se dice que están en la secuencia principal. Pero, como puedes observar, existen dos tipos de estrellas que no se ajustan a esa distribución: las gigantes rojas y las enanas blancas.



Una de las causas que motiva la condensación de las nubes de gas es la relacionada con las potentes explosiones de supernovas. La poderosa onda de choque proyectada a altas velocidades comprime el gas, creando lugares donde la densidad es mayor.



Científicos del IAC han descubierto en las Pléyades una enana marrón, que es un tipo especial de estrella de baja masa. Ésta ha sido bautizada con el nombre de Teide I.

El nacimiento de las estrellas.

El proceso de nacimiento de las estrellas a partir de una nebulosa es en general muy parecido al del Sol, cuyo estudio ya se trató en el primer epígrafe de la cuarta unidad.

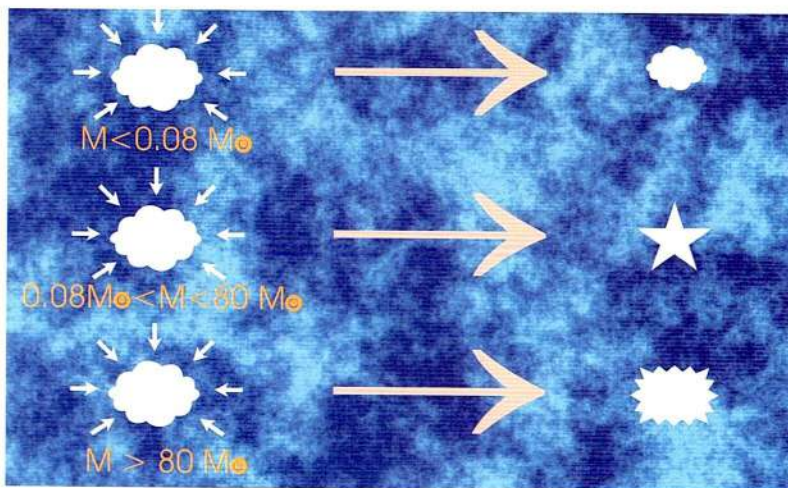


En el interior de nebulosas como la de Orión podemos encontrar estrellas recién nacidas.



Las estrellas con poca masa no han tenido tiempo aún de agotar su combustible, por lo que todavía no se ha podido comprobar experimentalmente qué es lo que les ocurre cuando mueren.

Pero no todas las nebulosas pueden generar estrellas. Si la nube es pequeña y la protoestrella que se genera en su interior tiene una masa inferior a 0,08 masas solares, entonces la presión de la contracción debida a la gravedad no puede generar la temperatura necesaria para que los núcleos de hidrógeno se fusionen. En el extremo contrario, si la protoestrella tiene una masa superior a



La masa de la protoestrella determina si va a constituir una estrella o no.



El núcleo de hidrógeno tiene un protón y el de helio dos. Para que se fusionen dos núcleos atómicos es preciso vencer la fuerza de repulsión de sus protones. ¿Qué proceso necesitará más temperatura: la fusión del helio o la del hidrógeno?



unas 80 veces la del Sol, la temperatura en el interior de la nube será tan grande que la presión de la radiación impedirá que ésta termine de condensarse. Ese es el motivo por el cual no se encuentran en el Universo estrellas con cientos de masas solares.

Cuando la masa es 0,08 veces mayor que la del Sol, la temperatura en el núcleo supera el millón de grados, suficiente para comenzar la fusión del hidrógeno de forma similar a como ocurre en el Sol.

Vida de una estrella: la búsqueda del equilibrio

Después de que una estrella se haya formado como tal, mantendrá durante la etapa estable de su vida un doble equilibrio: el térmico y el hidrostático; ambos están íntimamente relacionados. Para que se establezca el primero debe ocurrir que la energía producida en su interior sea igual a la irradiada hacia el exterior. En el segundo, la presión en el interior de la estrella debe compensar el peso de las capas superiores. Mientras una estrella se limite a transformar el hidrógeno en helio, decimos que se encuentra en una fase “tranquila” de su vida, y al representarla en un diagrama H-R observamos que se sitúa en la secuencia principal.

El equilibrio de la estrella se mantiene a lo largo de millones de años y de él depende su volumen, rompiéndose cuando el combustible comienza a agotarse. A medida que pasa el tiempo, su núcleo es cada vez más rico en helio y más pobre en hidrógeno, con lo que la emisión de energía nuclear disminuye, y con ello la temperatura y la presión. Posteriormente se rompe el equilibrio y el peso de las capas de gas genera una contracción de la estrella con los consiguientes aumentos de presión y temperatura, lo cual hace posible que comience la fusión del helio y se restablezca temporalmente el equilibrio.

Tenemos entonces una estrella que fusiona helio en su núcleo e hidrógeno en una capa a su alrededor. Esta nueva fuente de energía hace que la presión de radiación sea mayor que el peso de las capas superiores, con lo que la estrella comienza a expandirse, convirtiéndose en una gigante roja. Un ejemplo de esto lo tendremos en nuestra estrella, el Sol, que acabará sus días agotando las reservas de hidrógeno y aumentará tanto de tamaño, que llegará incluso a tragarse nuestro planeta. Puedes estar tranquilo pues esto no ocurrirá hasta dentro de unos 5 000 millones de años.

La fusión del helio produce carbono. Posteriormente, si la masa estelar es suficientemente grande, reiteradas fusiones producirán oxígeno, neón, magnesio y, por último, hierro. La fusión del hierro no libera energía; como consecuencia se rompe el equilibrio debido a que la fuerza de atracción gravitatoria no se ve contrarrestada, por lo que la estrella se colapsa, hundiéndose sobre sí misma.

El tiempo que tarda una estrella en agotar el hidrógeno en su núcleo depende de su masa. De esta manera, una estrella de gran masa (por ejemplo, de unas diez masas solares) será diez mil veces más brillante que el Sol y tardará unos cien millones de años en agotar sus reservas. La que tiene poca masa, por ejemplo, la décima parte de la del Sol, tendrá un brillo diez mil veces menor que nuestra estrella y necesitará un billón de años para consumir su combustible, es decir, más años que la vida del Universo.

Para fusionar el helio se requiere más temperatura que para el hidrógeno, pues la repulsión eléctrica es mayor. La fusión de tres núcleos de helio genera carbono.



La mayor parte de las estrellas que ves en el cielo están en una fase tranquila de su evolución, lo cual no es casualidad, pues corresponde al periodo más duradero de sus vidas.



Al tener una nueva fuente de energía, la estrella se hincha, aumenta su superficie y disminuye su temperatura, con lo que el color que emite es rojizo. Se transforma en gigante roja y sale de la secuencia principal.



El tenue brillo de la nebulosa planetaria se debe a que la estrella contenida en su interior, la enana blanca, emite radiación ultravioleta, lo que produce la incandescencia de la nebulosa.

La muerte de una estrella

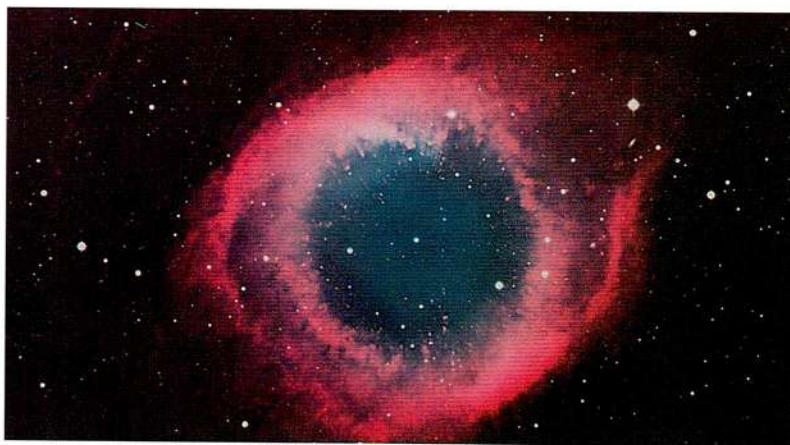
Has visto que la agonía de una estrella comienza cuando pasa por la fase de gigante roja, abandonando la secuencia principal del diagrama H-R. Pero la verdadera muerte ocurre después. Su final dependerá fundamentalmente de la masa que posea. Una estrella puede acabar sus días de una manera tranquila, convirtiéndose en una enana blanca. Pero si su masa es superior, explotará como supernova, pudiendo dar lugar a una estrella de neutrones o a un agujero negro.

Enanas Blancas

Cuando una estrella de poca masa, como el Sol, pasa la etapa de gigante roja, su región central se contrae y emite hacia afuera las capas externas, escapando de su atracción gravitatoria. A esta nebulosidad, que encontramos en forma de halo en torno a la estrella, se le denomina *nebulosa planetaria*. La estrella que queda en su interior es la enana blanca, que tiene un tamaño semejante al de nuestro planeta pero una masa como la del Sol, haciendo que su densidad aumente de tal manera que una cucharada de ese material pesaría varias toneladas. La estrella se irá enfriando lentamente.



Durante la explosión de una supernova se dan las condiciones para que se formen todos los elementos químicos con masas atómicas superiores a la del hierro. Éstos son arrojados al espacio, junto con las regiones exteriores de la estrella. Con el tiempo pueden contribuir a formar nuevas generaciones estelares (y planetas como la Tierra) que contendrán esos elementos.



Nebulosa Planetaria "Helix".

Estrellas de Neutrones

En las estrellas con masa mayor de 1,4 masas solares, el colapso no se detiene como ocurre en las enanas blancas, sino que continúa hasta que rebota y explota destruyéndose parte de ella. A esa explosión se la denomina supernova. La luz de esta estrella es tan brillante como la de todas las de la galaxia juntas.

La materia que forma el residuo de la estrella tras la explosión se comprime mucho más que en el caso de una enana blanca, de tal



manera que los electrones chocan con los protones y forman neutrones. Así, toda la estrella quedará formada por esas partículas; de ahí su nombre. El tamaño de dicha estrella sería como el de una gran ciudad, por lo que su densidad es enorme: una cucharada pesaría millones de toneladas.

La estrella, al contraerse a tan pequeño tamaño, comienza a girar a una gran velocidad, emitiendo una gran cantidad de señales de radio periódicamente. A este tipo de faro cósmico se le denomina *púlsar*.

Nuestro cuerpo está hecho de materiales que previamente han sido sintetizados en el interior de una estrella que se extinguió antes de que el Sol naciera. Con estos materiales se formó posteriormente el sistema solar.



Antes y después de la supernova 1987A, que estalló en la Gran Nube de Magallanes.

Agujeros negros

Si la estrella original tiene una masa superior a las 3 masas solares no hay nada que pueda detener la implosión, colapsa sobre sí misma, la materia se concentra mucho y la gravedad resultante hace que ni siquiera la luz puede escapar de ella. Por ese motivo se le denomina agujero negro, que sólo se puede detectar gracias a las perturbaciones que produce en otros cuerpos cercanos.

Si el Sol pudiera convertirse en un agujero negro (imposible debido a su poca masa) tendría un tamaño inferior a 3 km.



La densidad dentro de un agujero negro es descomunal; una cucharada de él tendría más masa que todo el planeta Tierra.



Algunas estrellas que aparentan ser dobles no lo son en realidad.

Las vemos cercanas entre sí debido a que están próximas en nuestra línea de visión.

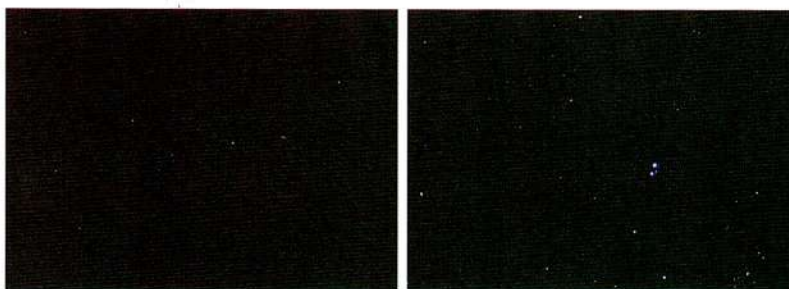


Usando telescopio o prismáticos se pueden apreciar muchos sistemas dobles. Algunos de ellos se distinguen a simple vista, lo que es posible cuando el par de estrellas está cercano a la Tierra y sus componentes suficientemente alejados entre sí. En este caso se le denomina sistema binario visual.

Sistemas estelares múltiples

Normalmente las estrellas cuando nacen no lo hacen en solitario sino en grupos de dos o más componentes, formando sistemas múltiples cuyo estudio es de gran importancia en astronomía. Los componentes giran alrededor del centro de gravedad del sistema, en periodos que oscilan desde unos días hasta miles de años.

Como ya has visto anteriormente, la estrella más cercana a nosotros, α Centauri, es realmente un sistema formado por tres estrellas, de las que podemos distinguir a dos de ellas con instrumentos ópticos. La más pequeña y cercana a nosotros, Proxima Centauri, es demasiado débil para observarla con telescopios no profesionales. Puede parecer que dos estrellas forman un sistema doble, a pesar de que no estén relacionadas y se encuentren muy distantes entre sí. Esto ocurre cuando están casi alineadas con la Tierra y por ello las vemos juntas; en este caso no forman un sistema binario y son denominadas dobles ópticas.



Junto a Mizar hay una estrella menos brillante, Alcor, situada a 11,7 minutos de arco, con la que forma el sistema binario visual más conocido. Al aproximarnos a estos astros (fotografía de la derecha), vemos que realmente se trata de un sistema múltiple formado por Mizar, Alcor y la Estrella de Ludovico, de magnitudes 2, 4 y 8, respectivamente.

Estrellas variables

La mayoría de las estrellas presentan un brillo constante, pero hay algunas cuyo brillo cambia periódicamente. A éstas se les llama *estrellas variables*.

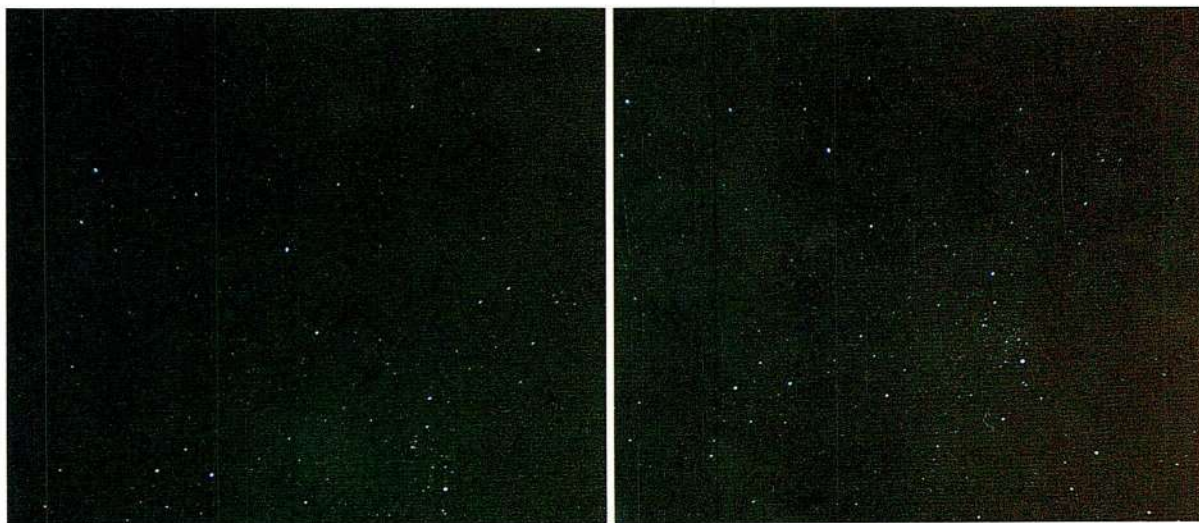
Algunos sistemas binarios nos presentan sus componentes casi de perfil. En este caso, las dos estrellas se eclipsarán entre sí total o parcialmente. La luz de tales estrellas, denominadas *binarias eclipsantes*, presentará variaciones en su intensidad, convirtiéndose en un tipo de estrella variable. El prototipo de esta clase de variables es la estrella Algol (del árabe Ra's al-gul, *cabeza del ogro*), también denominada la *estrella del demonio*. Está situada en la constelación de Perseo y se ve a simple vista.

Otras cambian de brillo por razones propias de la estrella, como ocurre con las *estrellas variables intrínsecas*. Éstas se encuentran en una fase crítica de su evolución, algo inestable, y presentan conti-



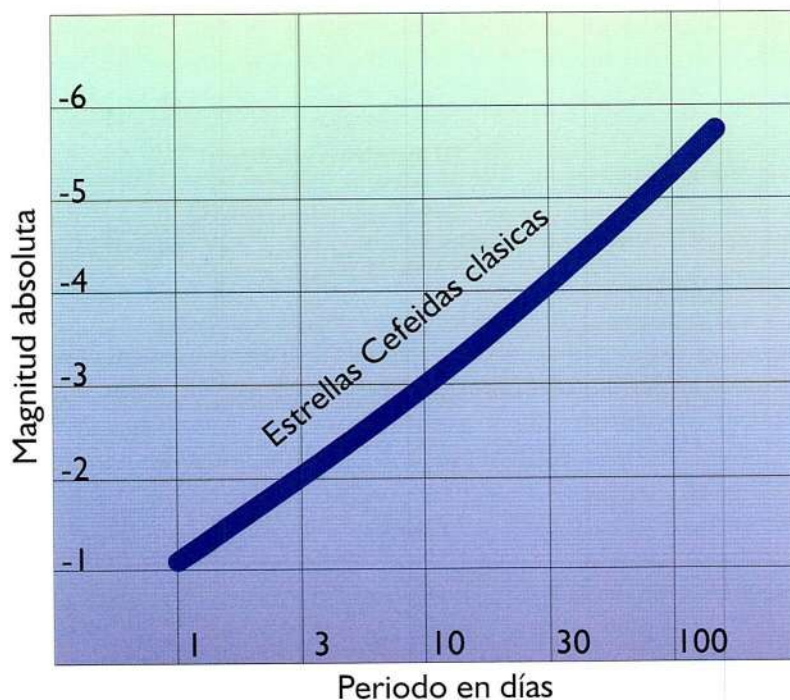
Las falsas estrellas dobles se denominan dobles ópticas.

Un ejemplo lo constituyen las estrellas Lesath y Shaula, correspondientes al aguijón de Escorpión. Hay una fotografía en la tercera unidad de este libro en que aparecen ambas estrellas; búscala.



Algol es una binaria eclipsante cuyo mínimo se sucede cada 2 días 20 horas y 29 minutos.

nuas palpitaciones que se traducen en cambios de luminosidad e incluso de color. Un ejemplo sobresaliente de este tipo de estrellas variables son las *Cefeidas*, denominadas así porque la primera en ser descubierta fue δ Cephei. Tienen una propiedad muy particular, y es que el periodo de variación de brillo está relacionado con la luminosidad de la estrella. Cuanto mayor sea el periodo, mayor es su



La luminosidad de una cefeida está estrechamente vinculada con su periodo de oscilación.

Otro ejemplar de variable eclipsante es β Lyrae, que varía entre las magnitudes 3,3 y 4,1 en 13 días. Este tiempo corresponde al periodo de translación de los componentes alrededor de su centro de gravedad.



Si una Cefeida tiene un periodo de un día y otra de diez, la segunda es 6,3 veces más brillante que la primera, o sea, es dos magnitudes más brillante.





El periodo de oscilación de las Cefeidas varía entre unos días y algunos meses.

luminosidad. Esto es de vital importancia, pues nos proporciona una herramienta para calcular distancias en el Universo. Simplemente hay que medir el tiempo de oscilación de la estrella para conocer de esa manera su magnitud absoluta. Como también es posible determinar la magnitud aparente de la estrella vista desde la Tierra, se puede hallar aproximadamente la distancia que nos separa de ella.

Las variables tipo Mira o variables de periodo largo son consecuencia de un cambio en el tamaño de la estrella. Su prototipo es la estrella Mira, llamada “la maravillosa” por sus llamativos cambios de brillo. Situada en la constelación de la Ballena, Mira (o Ceti) fue la primera variable descubierta, hecho ocurrido en 1596. Esta estrella, a veces, es la más brillante de dicha constelación y en otras ocasiones no es visible ni siquiera con prismáticos. Las variables de este tipo tienen periodos que oscilan desde 120 hasta poco más de 400 días, es decir, son variables de largo periodo. Realmente son gigantes rojas que se encuentran viviendo sus últimos instantes.

Con escasa frecuencia aparecen estrellas nuevas en el cielo que, después de unos días o semanas, se debilitan y desaparecen. Son las denominadas *novas*, estrellas dobles, formadas por una enana blanca y una gigante roja. Ésta se desprende de parte de su atmósfera estelar y cae sobre la enana blanca, con lo que aumenta la cantidad de hidrógeno en su superficie. La presión provocada por el choque produce la fusión del hidrógeno, no en el núcleo sino en la propia superficie de la enana blanca, con lo que se origina una explosión que dura varias horas.



Es conveniente realizar una fotografía de la constelación de Perseo cada noche de observación, lo que te ayudará a estimar el cambio de magnitud de la estrella Algol. Para hacer las fotografías recuerda lo dicho en el **Taller Retratando Constelaciones** de la segunda unidad de este libro.



El mínimo de Algol

Consulta en **Tablas y Efemérides** las **Fechas de los primeros mínimos de Algol para cada mes.**

Si vas a observar la variación de brillo de Algol en otra fecha que no sea la que aparece en la tabla, simplemente tienes que sumar al periodo de variación de brillo, 2 días 20 horas y 29 minutos, hasta obtener la fecha más próxima a tu observación. Deberás mirar la estrella una o dos noches antes del mínimo, en tanto esté con su magnitud normal. La noche del mínimo, observa a Algol y trata de calcular la magnitud que adquiere mientras es eclipsada.

Debes tener en cuenta que el eclipse dura casi unas 10 horas, por lo que durante unas 5 horas aproximadamente verás el brillo de Algol decaer y durante las siguientes 5 horas observarás que vuelve a recuperar su brillo original.



Denominación de las variables

Históricamente se designa con la letra *R* la primera estrella variable descubierta en cada constelación. A continuación de la *R* se pone la forma del genitivo latino del nombre de la constelación, por ejemplo, *R Lyrae*, *R Cygni* o *R Coronae Borealis*. La segunda estrella descubierta se designa con la letra *S*; por ejemplo, *S Boötis*. A la tercera variable de una constelación se le asigna la *T*, y así hasta la *Z*. A las siguientes variables descubiertas se les van asignando letras dobles según esta secuencia: *RR* hasta la *RZ*. *SS* hasta *SZ*. *TT* hasta *TZ*, y así hasta *ZZ*. Para nombrar a las estrellas descubiertas con posterioridad a la *ZZ* se comienza con *AA* hasta llegar a *QZ*.

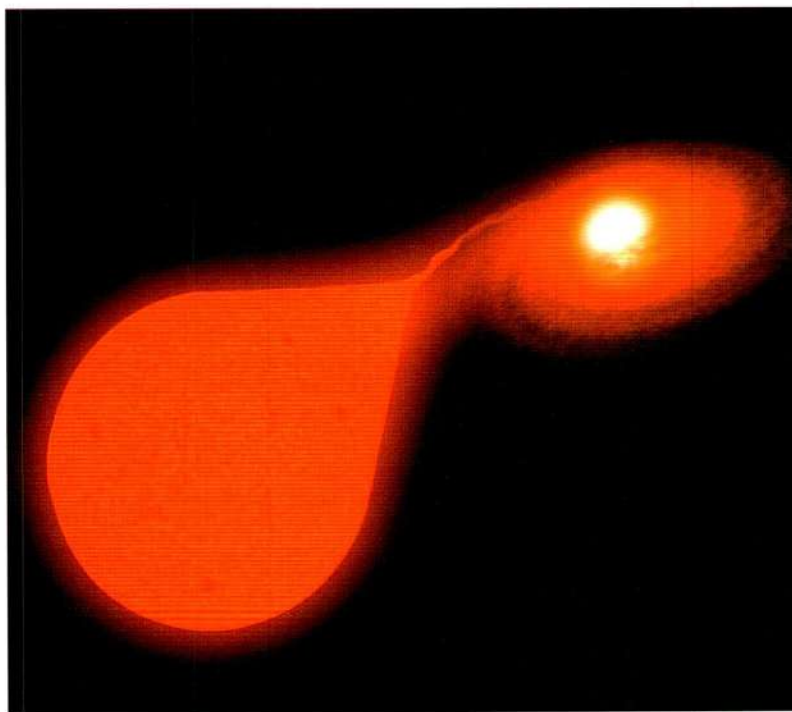
No se aplica la denominación expuesta anteriormente a las estrellas variables que tienen asignadas letras griegas como, por ejemplo, α Orionis (Betelgeuse).

Algunas estrellas “variables” fueron visibles pero ya no lo son; se trata de supernovas cuyo brillo decrece rápidamente. Un ejemplo es *S Andromedae*, que fue visible en 1885 pero que ahora no lo es.



En la denominación de las estrellas variables que existen en una constelación se sigue un criterio similar al que se usa en las matrículas de los vehículos.

Ejemplos: *U Monocerotis*; *UX Draconis*; *BU Geminorum*.



Las novas o estrellas nuevas son simples explosiones que se producen en una enana blanca, debido al intercambio de materia procedente de una gigante roja, con la que forma un sistema doble.



A lo largo del curso se han estudiado los principales datos relativos a la Vía Láctea. Seguramente has observado sus diversos tramos que se pueden apreciar durante la noche desde la Tierra.



Fotografía de campo amplio: la Vía Láctea. Centro de la Galaxia.

La Vía Láctea

En una noche oscura se puede ver a simple vista una banda de luz que cruza el cielo; se trata de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, cuyo nombre latino quiere decir *camino de leche*. El término galaxia procede de la palabra *galax*, que significa leche en griego. Según la mitología, Hermes fue enviado por Zeus para que llevase a Hércules a que la diosa Hera lo amamantara. Succionó con tanta fuerza que, al ser separado, roció el cielo con un chorro de leche. Si utilizas unos prismáticos, comprobarás que esa banda está llena de estrellas, la mayoría de las cuales son demasiado débiles, de manera que percibimos la combinación de la luz de millones de ellas en un tenue brillo. De la primera observación que hizo Galileo de la Vía Láctea se desprende que sus componentes más representativos son los *cúmulos abiertos*. Así se expresó cuando dirigió su telescopio hacia la zona de Sagitario: [...] *no es nada más que una masa de innumerables estrellas agrupadas en cúmulos*.



Mediante técnicas infrarrojas y radiométricas se ha determinado que el centro de la Vía Láctea está situado en la constelación de Sagitario. Se halla exactamente en las coordenadas AR: 17h42.4m y Dec: -28°55'.

Cúmulos abiertos y nebulosas

En algunas zonas de la Vía Láctea se pueden ver agrupaciones de estrellas, formadas por cientos o miles de ellas, conocidas como cúmulos abiertos. Estos cúmulos son grupos de estrellas jóvenes, que aún permanecen próximas, nacidas de la misma nube de gas y polvo, es decir, de la misma *nebulosa*.

Estas nebulosas presentes en la galaxia son nubes de gas con una densidad ínfima (billones de veces más pequeña que la del aire). Son visibles debido a que en su interior existen estrellas muy calientes, que iluminan el gas con luz ultravioleta. El gas de la nebulosa absorbe esta luz y se ioniza, emitiendo el brillo que las caracteriza.



Los cúmulos abiertos están formados por estrellas jóvenes. En algunos se aprecian todavía restos de la nebulosa de la cual nacieron.

Cúmulos globulares

Si nos alejamos del plano de la Vía Láctea, encontramos grupos de estrellas de hasta un millón de componentes, distribuidos de forma esférica denominados cúmulos globulares. Éstos se encuentran entre los objetos más antiguos de nuestra galaxia, con aproximadamente unos 15 mil millones de años y de un tamaño que oscila entre los 10 y 30 años luz de diámetro.

Los cúmulos globulares se sitúan dentro de un volumen esférico denominado *halo galáctico*, que rodea el disco de la Vía Láctea, y giran alrededor de su centro. Las estrellas que forman estos cúmulos prácticamente no tienen elementos pesados en su composición, lo que indica que son objetos antiguos, constituidos con el material original con el que se formó la galaxia.



En la Vía Láctea se conocen más de 150 cúmulos globulares.

Es frecuente confundir el cúmulo de Las Pléyades con la Osa Menor. Las Pléyades están situadas en la constelación de Tauro; se pueden percibir 6 o 7 de sus estrellas a simple vista y casi un centenar con unos binoculares.



Trata de localizar en la imagen de amplio campo de la página anterior los objetos contenidos en estas dos fotografías.



Fotografía realizada usando un teleobjetivo. Nebulosa del Águila M16 (arriba) y Nebulosa de Omega (M17). Cúmulos abiertos M24 (derecha) y M25. También se aprecian dos nebulosas de absorción (manchas oscuras).



Nebulosas Laguna (M8) y Trífida (M20) fotografiadas con teleobjetivo.



Los movimientos de los cúmulos globulares permiten a los astrónomos calcular la cantidad de masa en la Galaxia. Algunas estimaciones recientes revelan que la Galaxia contiene unas 500 000 millones de veces la masa del Sol. Esta cantidad es mayor que la masa que se supone suman las estrellas y las nebulosas visibles, por lo que debe haber una gran cantidad de materia oscura que todavía no ha sido detectada.



Edwin Hubble estableció la primera clasificación de las galaxias. Fue el primero en probar, en 1924, que las entonces denominadas nebulosas espirales no eran nubes de gas, sino otras galaxias que estaban fuera de la nuestra.



Las Pléyades

El más notable de los cúmulos abiertos es sin duda alguna el de las Pléyades, observado desde Florencia por Galileo, quien veía a simple vista seis de sus componentes, aunque con el anteojo detectó 36. El nombre de las Pléyades viene de una leyenda griega que habla de la existencia de siete hermanas, Alción, Electra, Celena, Maya, Merope, Asterope y Taigete, hijas de Atlas, quien sostenía los pilares del cielo. Orión las persiguió durante cinco años por las montañas, pero cuando las iba a capturar, Zeus las transformó en palomas y las inmortalizó en el cielo.

Cúmulos globulares

H. Shapley estudió en 1918 su distribución en el cielo y midió la distancia de los cúmulos globulares, deduciendo su localización con respecto al centro de la galaxia. Edwin P. Hubble descubrió en 1930 cúmulos globulares en la Galaxia de Andrómeda y desde esa fecha se han detectado algunos más rodeando muchas otras galaxias. El cúmulo globular mayor y más fácilmente visible desde Canarias es el de ω Centauri que se puede observar durante la primavera.

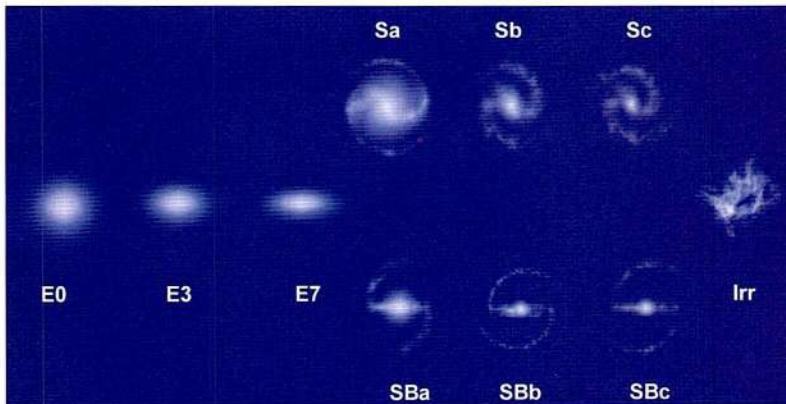
Tipos de galaxias

Según sea su forma, podemos clasificar las galaxias en tres tipos principales: espirales, elípticas e irregulares.

Las *galaxias espirales* son galaxias como la nuestra. Toman la forma de discos relativamente poco gruesos que despliegan brazos formados por estrellas jóvenes y gas. Estos brazos parecen salir en forma de espiral desde el bulbo central de la galaxia. Cerca del 30% de las galaxias tienen brazos espirales. En unas, las del tipo S, los brazos salen directamente desde el núcleo, mientras que otras, las del tipo SB tienen una especie de barra central simétrica de la cual salen los brazos espirales, por lo que se denominan *galaxias espirales barradas*.

Dependiendo de la posición de la galaxia respecto de nosotros (de frente o de perfil), podemos observar, en el primer caso, los brazos espirales y, en el segundo, la gran cantidad de polvo oscuro que impide el paso de la luz. Esto último se ve en la Vía Láctea, sobre todo si miramos hacia el centro de la galaxia, donde la gran cantidad de polvo y materia oscura nos impide ver su núcleo.

Los tipos de galaxias S y SB se subdividen en: Sa, que son las que presentan los brazos sin desplegar; Sb, que los presentan a medio desplegar, como son los casos de la nuestra o la de Andrómeda; y Sc, que tienen los brazos totalmente desplegados.



Clasificación y tipología de las galaxias.

Las *galaxias elípticas* tienen forma de elipsoide. Por lo general no contienen nubes de gas y polvo, ni tampoco estrellas azules jóvenes. La mayor parte de sus estrellas son bastante viejas y se concentran en el centro de la galaxia. Estas galaxias, denominadas *tipo E*, presentan tamaños muy diferentes; pueden ser desde un poco más grandes que un cúmulo globular, hasta las mayores que se conocen con masas cercanas al millón de millones de veces la del Sol.



La galaxia de Andrómeda vista de frente debe presentar una distribución de brazos espectacular, pero estamos condenados a no verla jamás en esa posición.



La galaxia gigante M87 es un claro ejemplo de galaxia elíptica.



En las galaxias espirales barradas, los brazos parten de un bulbo central alargado.



Galaxia irregular formada por la colisión de dos de ellas.

Las *galaxias irregulares* son aquellas que no tienen una forma definida, ni son espirales ni son elípticas. Estas galaxias denominadas *tipo I* son más pequeñas que las espirales; tienen estrellas viejas y jóvenes, y gran cantidad de polvo y nubes. Algunos son objetos que han sido distorsionados gravitatoriamente por otro cuerpo similar. Ejemplos de ellas los tenemos en las dos galaxias más cercanas a la Vía Láctea: las nubes de Magallanes

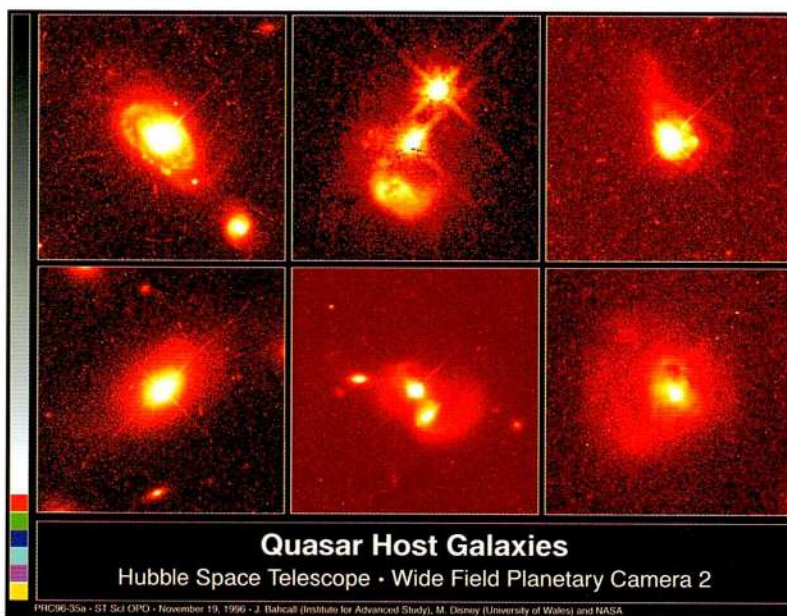


Galaxias activas o quásares

Existen galaxias que generan inmensas cantidades de energía en el interior de sus núcleos y originan una fuerte emisión en longitudes de ondas de radio. Otras tienen un núcleo tan energético que sólo éste se puede apreciar, y no la galaxia a la que pertenece. Deben su nombre a que aparecen como objetos casi-estelares: *quásar*. Son los objetos más brillantes del universo conocido. No es extraño pensar, por tanto, que son también los más lejanos; algunos de ellos se hallan tan distantes que la luz que observamos en la actualidad debió iniciar su recorrido cuando el Universo era aún muy joven.



El Grupo Local está compuesto por tres subgrupos. Nuestra galaxia, las dos nubes de Magallanes y algunas galaxias enanas forman un subgrupo. A dos millones de años luz existe otro subgrupo formado por la galaxia de Andrómeda, sus dos galaxias satélites, M33 (la galaxia del Triángulo) y algunas elípticas pequeñas. Un tercer subgrupo está formado por pequeñas elípticas que se hallan en las constelaciones del Horno y del Escultor.



Se ha sugerido la presencia de un agujero negro gigante en el centro de los Quásares para poder explicar la enorme emisión de energía que parte de ellos.

El Grupo Local y los cúmulos de galaxias

Nuestra Vía Láctea pertenece a un grupo de galaxias cercanas que se denomina Grupo Local, compuesto por una treintena de ellas en un radio de 3 millones de años luz. A él pertenecen Andrómeda (la mayor del grupo) y las nubes de Magallanes.

Hay gran cantidad de cúmulos de galaxias. Algunos de ellos, los más cercanos, pueden ser vistos con pequeños telescopios en las constelaciones de Virgo y Coma Berenice, donde las galaxias se cuentan por centenares. En el centro de los cúmulos suele haber una o varias gigantes elípticas y se supone que éstas son el resultado de la colisión de varias que se han unido.

Los cúmulos están agrupados entre sí formando supercúmulos que albergan miles y miles de galaxias.

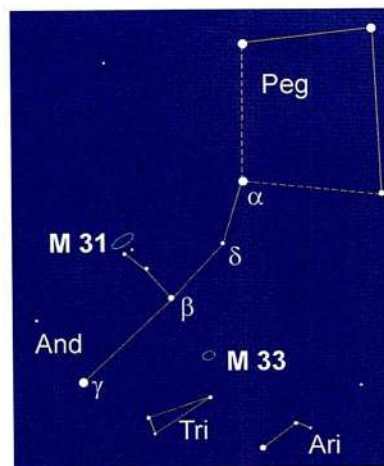


Grupo Local al que pertenece la Vía Láctea.

Existe una enorme cantidad de gas entre las galaxias de un cúmulo, pero este gas detectado no es suficiente para explicar el motivo por el cual las galaxias de un cúmulo permanecen juntas. Esta es una de las grandes incógnitas de la Astrofísica.



Las galaxias del cúmulo de Virgo se encuentran a una distancia de 65 millones de años luz, y ocupa una extensión de 6 grados en el cielo.



La galaxia de Andrómeda (M31)

Vas a tratar de encontrar el objeto más lejano que puede ser observado a simple vista. Está a 2,3 millones de años luz y es relativamente fácil de localizar. Para ello deberás elegir una noche en la que sea visible el cuadrado de Pegaso: toma como referencia su estrella más nororiental, α Andromedae. Puedes guiarte valiéndote del dibujo y de la fotografía. En ésta se aprecia además la Galaxia del Triángulo M33.

M31, M33 y la Vía Láctea son tres galaxias espirales del Grupo Local. Intenta localizar M31 a simple vista y luego utilizando prismáticos. No podrás observar M33 a simple vista, pero sí a través de prismáticos.

El Universo y la teoría del Big Bang



¿Qué es el efecto Doppler?

Cuando otro coche se cruza con el tuyo a alta velocidad y toca la pita de forma continua, oyes su sonido distorsionado. Éste se hace más agudo a medida que se acerca el coche y más grave cuando se va alejando. La velocidad altera la onda sonora: efecto Doppler. (La velocidad del sonido es de sólo 340 m/seg y éste se ve deformado por la velocidad relativa entre el coche que la emite y tú, que la recibes).

La constante de Hubble

Al analizar la luz de las galaxias con un espectroscopio, se obtiene su espectro de absorción que está caracterizado por una serie de líneas oscuras. A principios del siglo XX se midieron las posiciones de las líneas espectrales de varias galaxias y se descubrió un hecho bastante curioso: todas las galaxias estudiadas (pertenecientes a diferentes cúmulos galácticos) presentaban desplazamientos de sus líneas de absorción hacia la zona roja del espectro o corrimiento al rojo, debido al denominado efecto Doppler.

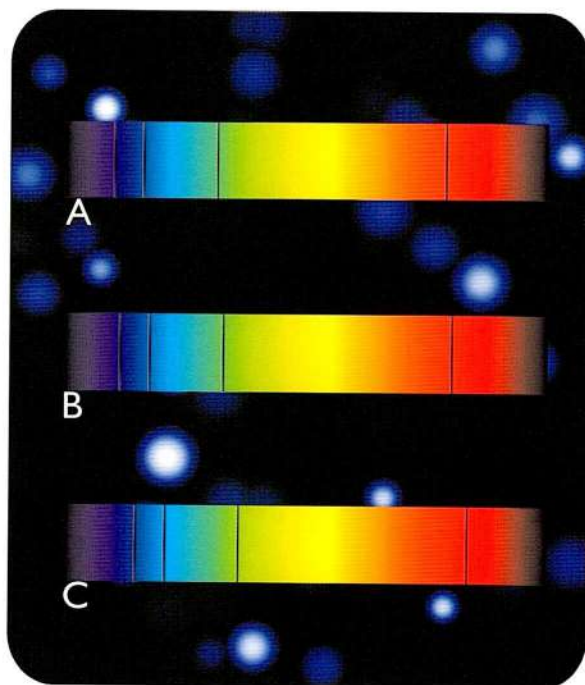
Una línea oscura del espectro de absorción, por ejemplo, la correspondiente al calcio, presenta una longitud de 3 968 Å cuando la fuente luminosa está en reposo. Sin embargo, en el espectro de una galaxia se presentará a 3 973 Å y en el de otra menos brillante (más distante) a 3 982 Å.

El corrimiento al rojo es tanto más notable cuanto más deprisa se aleja una galaxia; y se aleja a más velocidad cuanto más distante está.



El efecto Doppler en la luz de las galaxias

Las ondas luminosas pueden ser distorsionadas, pero, dada su gran velocidad de propagación, se nota solamente cuando el foco que las emite posee una velocidad muy grande. Esta distorsión consiste en una disminución de la longitud de las ondas emitidas cuando el foco se acerca y en un aumento (corrimiento al rojo) cuando se aleja. Las galaxias lejanas se distancian de la nuestra a gran velocidad, pues ponen de manifiesto el efecto Doppler mediante un corrimiento al rojo de las líneas espectrales.



Líneas de absorción correspondientes al espectro del hidrógeno: la primera procede de un foco en reposo; la segunda, de una galaxia; y la tercera proviene de una galaxia mucho más distante



Se estima en la actualidad que el valor de la constante de Hubble, H_0 , está comprendido entre 50 y 75 km/seg por cada megaparsec.

La ley de Hubble estableció en 1929 que cuanto más distante está una galaxia, más deprisa se aleja de la Tierra. La velocidad con que se aleja una galaxia, o velocidad de recesión, es directamente proporcional a su distancia de la Tierra: $V = H_0 \cdot d$. La velocidad V se expresa en km/seg y la distancia d en megaparsec (un parsec son



Si tomas como valor de la constante de Hubble $H_0 = 64$ km/seg por megaparsec, ¿a qué distancia estará una galaxia cuyo espectro nos indica que se aleja a una velocidad de 60 000 km/seg?. Expresa el valor en megaparsec, años luz y kilómetros. Recuerda: Un año luz son 9,47 billones de kilómetros y un parsec 3,26 años luz

3,26 años luz). El valor numérico de la constante de Hubble, H_0 , nos indica la diferencia de velocidad (en km/seg) entre dos galaxias, una de las cuales está situada un millón de parsecs más lejos que la otra. Este valor está comprendido entre 50 y 75 km/seg por megaparsec. En consecuencia, por cada millón de parsecs que se aleje una galaxia aumenta su velocidad entre 50 y 75 km/seg. Sin embargo, la obtención del verdadero valor de la constante de Hubble (H_0) es muy complicada, pues se requieren dos mediciones. La primera consiste en calcular la velocidad con la que se alejan las galaxias, mediante observaciones espectroscópicas. Con la segunda, y más difícil aún, se trata de medir la distancia a la que se encuentran dichas galaxias, usando estrellas variables o supernovas situadas en ellas.



Uno de los principales cometidos del telescopio espacial Hubble consiste en definir con mayor exactitud el valor real de H_0 . De esta forma, se obtiene un valor más fiable de las distancias a las que se encuentran las galaxias y, por tanto, del tamaño del Universo observable.



El astrónomo americano Edwin Hubble descubrió en 1929 que las galaxias parecían estar alejándose de nosotros en todas las direcciones. Este fenóme-



La teoría del Big Bang recibió un cierto apoyo experimental cuando se descubrió que existía una radiación de fondo proveniente de todas partes del cielo a donde se dirigía el detector. Esta radiación puede ser un remanente de la gran explosión que originó el Universo. Investigaciones más recientes acerca de la distribución de esa radiación de fondo, como el Experimento Tenerife, apuntan hacia la validez de la teoría del Big Bang. La imagen que aparece en la cabecera de cada una de las páginas de esta unidad representa el detector de radiación cósmica de fondo utilizado en el Experimento Tenerife.

no fue observado como un desplazamiento de las líneas espectrales conocidas de una galaxia hacia el extremo rojo del espectro (cuando se comparan con las mismas líneas espectrales de una fuente situada en la Tierra). Este corrimiento hacia el rojo parecía ser mayor en el caso de galaxias tenues, presumiblemente más lejanas. Por lo tanto, cuanto más distante se encuentre un cúmulo de galaxias, más rápidamente se están alejando éstas de la Tierra.

El valor inicial de la constante de Hubble, obtenido por él mismo, se aproximaba a 500 km/seg/mpc, y desde entonces ha sido radicalmente revisado, debido al mejor conocimiento de las distancias a estos cuerpos.

La teoría del Big Bang

La única interpretación válida que explica el desplazamiento de las líneas espectrales de las galaxias consiste en que éstas se alejan de nosotros. Eso significa que en algún momento del pasado estuvieron todas juntas. Con el fin de ofrecer una explicación a este hecho, se enunció la teoría del Big Bang, que es la más aceptada. Esta teoría supone que hace unos 15 o 20 mil millones de años, toda la materia existente en el Universo se encontraba acumulada en un volumen mucho más pequeño, con una enorme concentración de energía y una temperatura increíblemente alta. Al comenzar la expansión del Universo, tras una enorme explosión, su temperatura comenzó a disminuir. Cuando la temperatura bajó hasta los 4 000 millones de grados, permitió que las partículas atómicas comenzaran a formar elementos muy simples, hidrógeno fundamentalmente.

¿Cómo será el final del Universo?

Existen varias posibilidades: una puede ser que el Universo siga en expansión indefinidamente, con lo que las estrellas terminarían apagándose. La expansión haría imposible que hubiese zonas con concentración suficiente como para que se formaran nuevas estrellas. Todo acabaría con un Universo frío y muerto.

Otra posibilidad es que la masa del Universo fuese lo suficientemente grande como para que la atracción gravitatoria detuviera la expansión y se iniciase una contracción que concluiría con una tremenda implosión o Big Crunch. Al producirse esa implosión, la materia se reagruparía de nuevo para luego, posiblemente, ocasionar un nuevo Big Bang y así abrir otro ciclo. La materia formada por las galaxias y las estrellas no llega ni al 2% de la masa necesaria para detener la expansión, pero todavía existe mucha materia



Cuando sintonizas un televisor en un canal vacío, apreciarás que la imagen está llena de lluvia. Más o menos la décima parte de los puntos que observas en la pantalla proceden de la radiación de fondo.



El origen del Universo conocido comenzó hace unos 15 o 20 mil millones de años.

oscura que no se ha detectado, como la de las nubes oscuras en las galaxias, la de los agujeros negros, la de las estrellas de neutrones, la de la materia entre las galaxias, la de la masa de los neutrinos, etc. Aún así, recientes investigaciones que han evaluado la cantidad de materia oscura afirman que ésta no es lo suficientemente grande como para detener el proceso de expansión.

Otra posible alternativa es el llamado Estado Estacionario. Según esta teoría, el Universo no cambia, se encuentra en una expansión continua que se ve equilibrada por la formación de hidrógeno en los espacios intergalácticos. Se trataría de un Universo estacionario, esto es, sin comienzo ni final.

El ser humano, que es un singular producto de este Universo, ha realizado precisos descubrimientos, impensables hace pocos años, a través de la apasionante aventura de la ciencia. Y cada nuevo descubrimiento genera, por suerte, nuevos interrogantes que nos permiten avanzar más en nuestra investigación y dar una respuesta cada vez más apropiada a la eterna pregunta de la Humanidad: ¿Qué somos? ¿Adónde vamos? Sin duda por buen camino.

¿Por qué se suele decir que un telescopio es una máquina del tiempo?



En la actualidad no se tienen suficientes conocimientos para determinar qué modelo cosmológico es el que mejor se ajusta a la realidad. Por tanto, seguir insistiendo en esto sería caer en tentaciones especulativas más o menos ingeniosas.





Relación entre la temperatura y el color de un sólido incandescente

Se sabe que si un cuerpo se calienta emite energía radiante.

Objetivo: Vas a comprobar que la cantidad de energía emitida por una lámpara incandescente depende de su temperatura. Asimismo, constatarás que la temperatura también produce un cambio cualitativo en la radiación, el cual se manifiesta con una modificación del color.

Material: Lámpara y portalámparas

Fuente de alimentación de tensión variable

Construcción: Conecta la lámpara a la fuente de alimentación.

Utilización: Al ir aumentando el voltaje que se suministra a la bombilla, irá aumentando la temperatura del filamento y la cantidad de energía emitida en la unidad de tiempo (potencia). Verás cómo, simultáneamente, el color va pasando por diferentes tonalidades, de rojizo a blanco. Al ir disminuyendo la tensión, el filamento no sólo emite menos luz, sino que además el tono de la emitida es más rojizo.

Disminución de la luminosidad con la distancia

Objetivo: Comprobar que la luminosidad de una estrella disminuye con el cuadrado de la distancia que nos separa de ella.

Material: Una linterna

Una regla

Papel cuadriculado

Soporte de laboratorio y pinzas

Construcción: Coge una pequeña linterna y colócale delante una máscara opaca, hecha de papel o de cartulina, con un orificio cuadrado,

de tal manera que cuando enciendas la luz, la imagen que proyecte sea la de un cuadrado (mira la ilustración que aparece en esta unidad).

Utilización: Coloca la hoja cuadriculada sobre la mesa, y la linterna a unos 10 cm de ella (mide esa distancia con la regla), unida al soporte mediante las pinzas. Cuenta los centímetros que mide el lado del cuadrado iluminado sobre el papel cuadriculado. A continuación duplica la distancia a la hoja, es decir, 20 cm, y cuenta ahora el cuadrado iluminado.

Notarás que al doblar la distancia, también aumenta el doble el lado del cuadrado iluminado, pero no así su superficie, que es cuatro veces mayor; repartiéndose la misma cantidad de luz en ella.

Razonando con lo experimentado, ¿cuántas veces aumentará la superficie iluminada si volvemos a duplicar la distancia?

La expansión del Universo

Edwin Hubble descubrió que todas las galaxias observables se alejan de nosotros. ¿Pero si esto fuese así, no significaría que estamos en el centro del Universo? La respuesta es que no. Para demostrarlo vas a realizar un sencillo experimento casero.

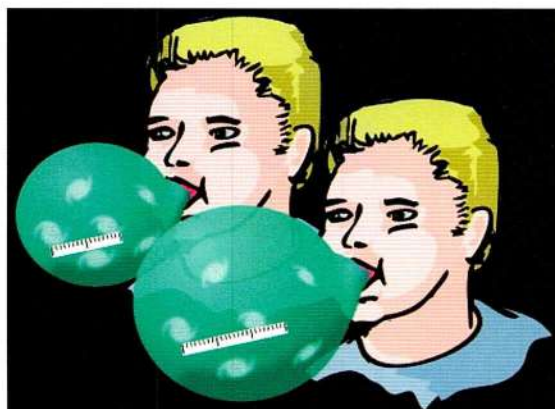
Objetivo: Conseguir una representación intuitiva de la expansión del Universo.

Material: Un globo

Un rotulador

Construcción: Infla un poco el globo, dibuja algunas galaxias en su superficie, separándolas unos centímetros entre sí, y marca una como la Vía Láctea.

Utilización: Continúa inflando el globo. A medida que se va llenando de aire, notarás que todas las galaxias se alejan entre sí, sin que ninguna esté en el centro. La conclusión principal que obtienes con este experimento es que las galaxias se alejan y que la Vía Láctea no tiene que ocupar el centro del Universo.



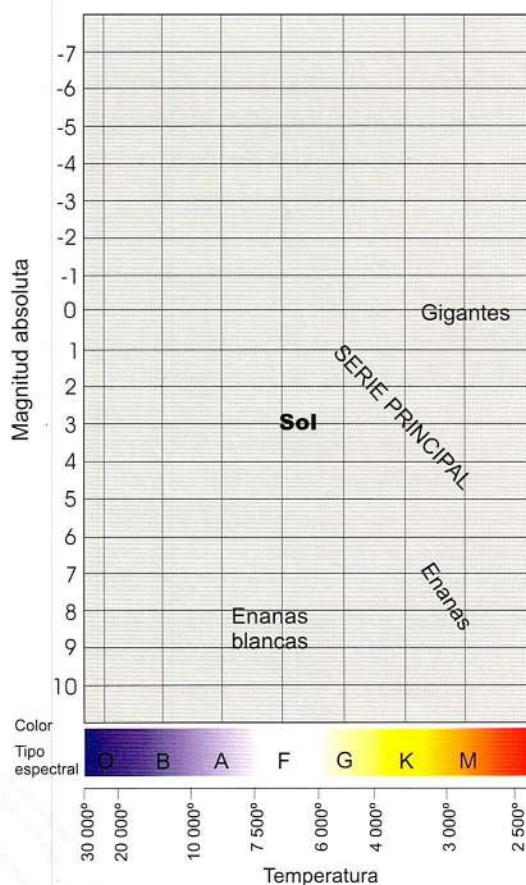
Construcción de un diagrama H-R

Objetivo: Familiarizarte con las técnicas astrofísicas, construyendo para ello un diagrama color-magnitud.

Material: Papel milimetrado
Bolígrafo y regla

Construcción: Para poder construir un diagrama H-R, debes consultar la **Tabla de las estrellas más brillantes** al final del libro y elegir las 25 estrellas mas cercanas al Sol. Representa en el eje de ordenadas sus magnitudes absolutas y en el de abscisas sus tipos espectrales (O, B,...K, M). Dibuja la posición de cada una de ellas en el diagrama.

Utilización: Observarás que en él aparece la mayor parte de las estrellas alineadas, en la denominada secuencia principal, y que algunas



se desplazan de esta línea determinando la zona de las gigante rojas.

Repita el diagrama, pero en esta ocasión, en vez de usar las 25 más cercanas al Sol, emplea las 25 más brillantes. ¿Qué diferencia encuentras con respecto al anterior? ¿Existen muchas estrellas gigantes rojas en las inmediaciones del Sol? ¿Y gigantes azules?



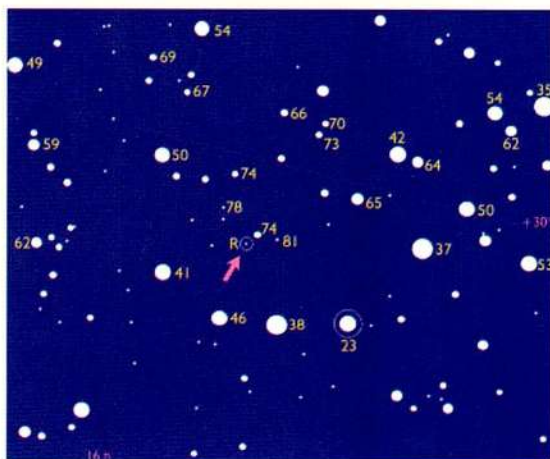
PARA SABER MÁS

Determinación de la magnitud de una estrella variable por el método de Argelander: Interpolación



Te proponemos que observes y determines la magnitud aparente de una estrella variable: R Coronae Borealis. Esta estrella puede observarse a horas prudenciales durante el último trimestre del curso escolar y en el verano. Tiene un periodo variable, mostrando durante muchos meses magnitud 5,7 y bajando repentinamente a magnitud 11 o incluso a veces hasta magnitud 14. Por todo esto deberás usar prismáticos para su observación, aunque cuando llegue al mínimo no será visible con ese instrumento óptico.

Para determinar la magnitud aparente de una estrella variable en un momento dado, hemos de compararla con dos estrellas de magnitudes conocidas. Debes tener una carta de la zona donde esté la variable y las estrellas próximas con sus magnitudes indicadas.



Parte de observación de la variable R Coronae Borealis. Las cifras que figuran junto a las estrellas de referencia son sus magnitudes. Ejemplo $\delta=46$ significa que la estrella δ Coronae Borealis tiene una magnitud de 4,6.

El método que debe seguirse para determinar su magnitud es el mismo que para cualquier estrella variable, denominado método de Argelander. Se basa en el concepto matemático de interpolación. Debes elegir dos estrellas de referencia que tengan magnitudes similares, pero una de ellas, la estrella A, debe ser más brillante que la variable y la otra, B, menos brillante; las diferencias de brillo entre las estrellas de referencia y la variable no han de ser superiores a 0,5 magnitudes. Anota sus magnitudes M_A y M_B . Ahora obsérvalas, compáralas con el brillo de la variable y asígnale un valor, G_A y G_B , comprendido entre 1 y 5, a cada una de ellas, según el siguiente criterio: 1 Si siempre las ves iguales, pero en algunos momentos parecen diferentes. 2 Si parecen iguales pero enseguida se aprecia una ligera diferencia. 3 Si desde el primer momento las ves diferentes. 4 Si la diferencia es notable siempre. 5 Si la diferencia de brillo es enorme. Una vez asignados los valores, puedes calcular por interpolación la magnitud de la variable haciendo uso de la expresión: $M_V = M_A + [G_A (M_B - M_A) / (G_A + G_B)]$

Ejemplo: Supongamos que has elegido como estrella más brillante una de magnitud 5,4 y como menos brillante otra de 6,2. Obviamente, entre esos dos valores tiene que estar la magnitud de la estrella variable. A la primera le has dado un valor $G_A=2$ porque te ha parecido muy similar y a la segunda le has asignado un valor $G_B=4$, ya que te ha parecido claramente diferente. Comprueba ahora, aplicando la ecuación de interpolación, que la magnitud estimada de la variable es de 5,7.

Estrellas dobles



Además de las comentadas en el apartado correspondiente de esta unidad, puedes intentar encontrar otros sistemas dobles

con ayuda de unos prismáticos o de un telescopio pequeño. Éstos son algunos de ellos:

α Capricorni. Es un sistema doble que se puede resolver a simple vista; la separación angular es de unos seis minutos de arco.

γ Adromedae. Con telescopio pequeño.

θ^1 El Trapecio, sistema múltiple en la nebulosa de Orión. Con telescopio.

α Herculis. Con telescopio. Las magnitudes son 3 y 6 y están separadas 4,5" de arco.

γ Draconis. Cada componente tiene magnitud 4,9. Visibles con prismáticos.

ϵ Lyrae. Este par de magnitudes 4,7 y 5,1 presenta una separación algo mayor a los tres minutos de arco. Se resuelve bien con prismáticos; hay quien puede resolverlo a simple vista.

β Cygni, Albireo. Es la estrella doble más bonita del firmamento. Un componente tiene color dorado y el otro, azul. Visible con telescopio.



• Si consultas en una tabla de magnitudes estelares y resulta que una estrella tiene una magnitud absoluta de 3,5 y una magnitud aparente de 4,3 ¿qué podemos decir acerca de su distancia a la Tierra?

• El valor de la constante de Stefan-Boltzman es $\sigma = 5,673 \times 10^{-8}$ watios/m² °K⁴. Calcula la energía que emite el Sol en un segundo.

Ayuda: El diámetro del Sol es 1 390 000 Km, su temperatura en la superficie es de 6 000 ° Kelvin y la superficie de una esfera es $4\pi R^2$.

• Consulta el valor de la constante de la Ley de Wien y calcula cuál será la longitud de onda predominante en la emisión de un cuerpo negro que está a una temperatura de 3 500° Kelvin. Expresa el resultado en metros y en Angströms. ¿En qué zona del espectro está el máximo? ¿Emitirá luz visible?

• Un astrofísico calcula, a través del estudio del espectro de una galaxia del cúmulo de Virgo, que ésta se aleja de nosotros con una velocidad de recesión de 1 500 Km/s. Si toma como valor de la constante de Hubble $H_0 = 70$ Km/s/Mpc ¿cuál será la distancia que la separa de nosotros? Expresa el resultado en años luz.



En el siguiente listado de direcciones web podrás encontrar sucinta información sobre la situación de muchas estrellas variables y noticias astronómicas de última hora, así como espléndidas imágenes del telescopio espacial Hubble o del Instituto de Astrofísica de Canarias.

ESTRELLAS VARIABLES Y NOTICIAS ASTRONÓMICAS

Asociación de variabilistas

<http://www.aavso.org>

Esp@cio: página en castellano sobre las últimas noticias astronómicas

<http://www.redestb.es>

Astrofísica y cosmología

<http://www.civila.com>

CAI: Club Astronómico del Instituto San Hermenegildo

<http://www.educa.rcanaria.es/usr/cai/index.htm>

IMÁGENES DE OBJETOS DE CIELO PROFUNDO

Telescopio espacial Hubble

<http://www.stsci.edu/EDU/Pictures.html>

IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias)

<http://www.iac.es>

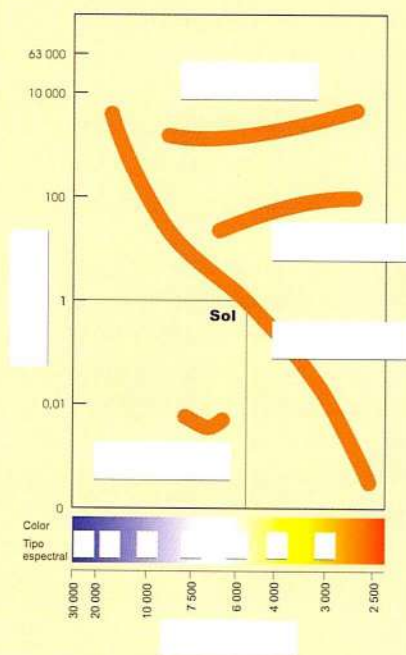
NASA

<http://www.jpl.nasa.gov/>

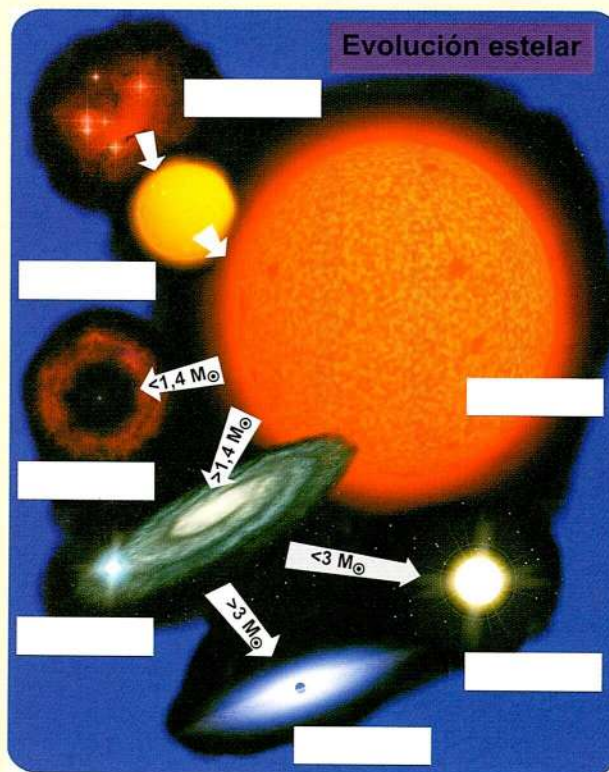


AUTOEVALUACIÓN

Diagrama H-R



Evolución estelar



Rellena los huecos con estas palabras:

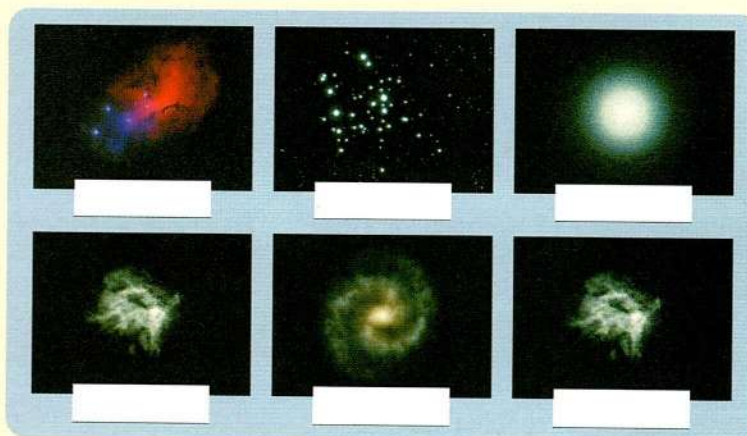
A
B
Enanas blancas
F
G
Gigantes
K
M

Luminosidad
O
Secuencia principal
Supergigantes
Temperatura

Agujero negro
Enana blanca
Estrella de neutrones
Gigante roja
Protoestrella
Est. secuencia principal
Supernova

Rellena los huecos con estas palabras:

Cúmulo abierto
Cúmulo globular
Nebulosa
Galaxia elíptica
Galaxia espiral
Galaxia irregular





Las masas estelares oscilan entre:

- a) 10 y 1 000 veces la masa de la Tierra
- b) 0,08 y 80 veces la masa del Sol
- c) 0,9992 y 17,2326 la masa del Sol

Las estrellas que más viven son aquellas que:

- a) Tienen poca masa
- b) Tienen mucha masa
- c) No tienen masa

Cuando se rompe el equilibrio de una estrella se va convirtiendo en:

- a) Estrella de neutrones
- b) Agujero negro
- c) Gigante roja

Un Púlsar es:

- a) Una estrella de neutrones
- b) Una enana blanca
- c) Un agujero negro

Las Pléyades son:

- a) Un cúmulo globular
- b) Una nebulosa
- c) Un cúmulo abierto

En los cúmulos globulares hay:

- a) Estrellas jóvenes

b) Estrellas muy viejas

c) Nebulosas en fase de formación

La Vía Láctea tiene un radio de:

- a) 100 000 años-luz
- b) 100 000 U.A.
- c) 50 000 años-luz

La Vía Láctea tiene unos:

- a) 1 000 millones de estrellas
- b) 200 000 millones de estrellas
- c) 200 000 billones de estrellas

La Vía Láctea se encuentra en:

- a) Cúmulo de Virgo
- b) Grupo Local
- c) Nubes de Magallanes

Las galaxias con estrellas más viejas son:

- a) Las espirales
- b) Las elípticas
- c) Las irregulares

En el interior de un Quásar se supone que hay un:

- a) Un púlsar
- b) Un agujero negro
- c) Una nebulosa

VOCABULARIO

Busca en el **Glosario** el significado de las siguientes palabras:

Agujero negro, Big Bang, diagrama HR, enana blanca, estrella variable, expansión del Universo, gigante roja, grupo local de galaxias, magnitud absoluta, nebulosa planetaria, protoestrella, púlsar, radiación de fondo cósmico, secuencia principal, supernova, Vía Láctea.

BIBLIOGRAFÍA

CHAISSON E, *El amanecer cósmico*. Salvat, Barcelona, 1986.

KIPPENHAHN R, *Cien mil millones de soles*. Salvat, Barcelona, 1986.

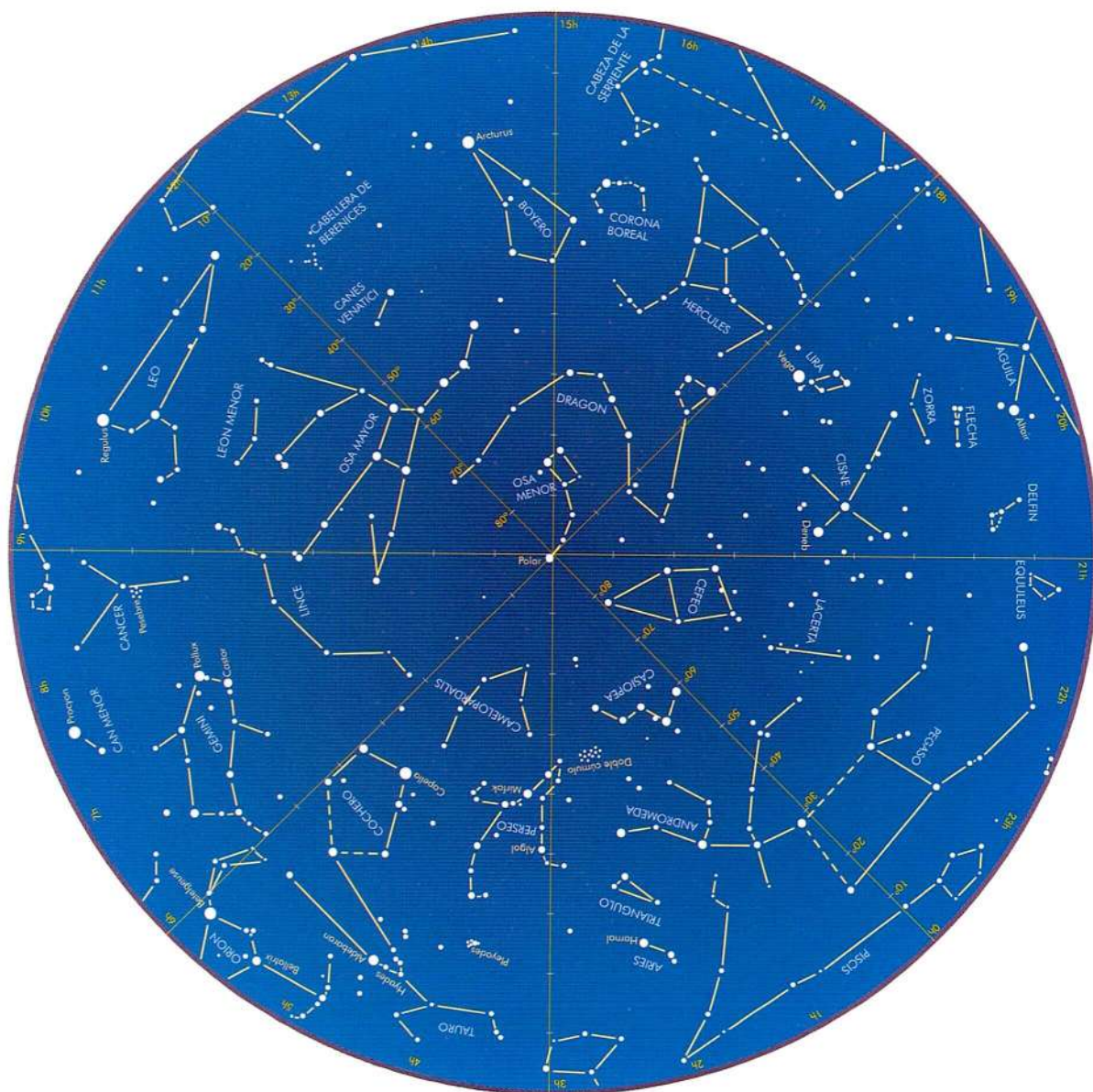
MEADOWS A.J, *Evolución estelar*. Ed. Reverté, Barcelona, 1986.

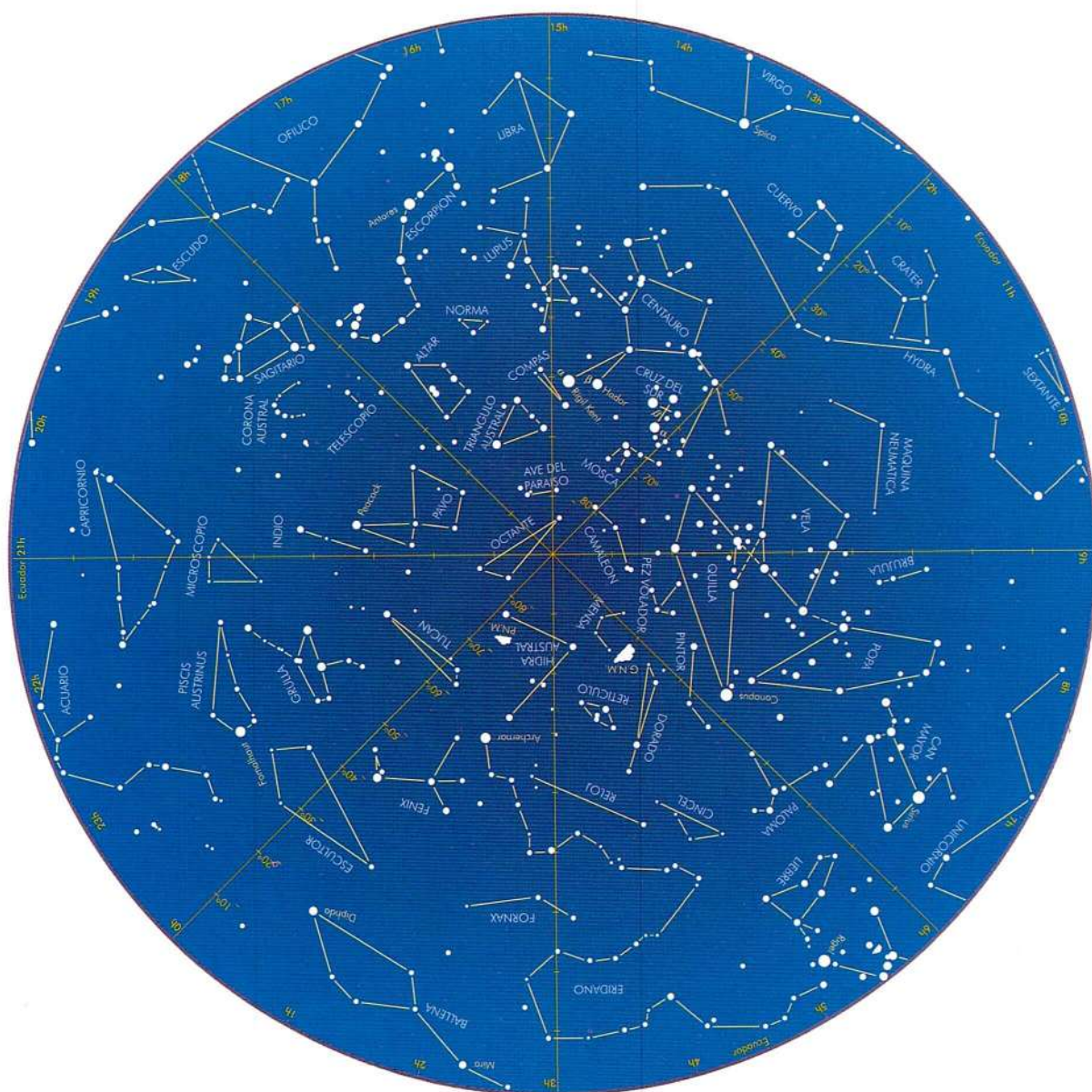
VARIOS AUTORES, *Astronomía*. Ed. Orbis. Fabbri, Barcelona, 1992.

WAGONER / GOLDSMITH, *Horizontes cósmicos*. Labor S.A., Barcelona, 1985.



Guía de las constelaciones





213

Abreviatura	Nombre latino	Genitivo	Castellano/Común
And	Andromeda	Andromedae	Andrómeda
Ant	Antlia	Antliae	Bomba Pneumática
Aps	Apus	Apodis	Ave del Paraíso
Aqr	Aquarius	Aquarii	Acuario
Aql	Aquila	Aquilae	Águila
Ara	Ara	Arae	Altar
Ari	Aries	Arietis	Carnero
Aur	Auriga	Aurigae	Cochero
Boo	Boötes	Boötis	Boyero
Cae	Caelum	Caeli	Cinzel
Cam	Camelopardalis	Camelopardalis	Jirafa
Cnc	Cancer	Cancrī	Cangrejo o Cáncer
CVn	Canes Venatici	Canum Venaticorum	sPerros de caza
CMA	Canis Major	Canis Majoris	Can Mayor
CMI	Canis Minor	Canis Minoris	Can Menor
Cap	Capricornus	Capricorni	Cabra o Capricornio
Car	Carina	Carinae	Quilla
Cas	Cassiopeia	Cassiopeiae	Casiopea
Cen	Centaurus	Centauri	Centauero
Cep	Cepheus	Cephei	Cefeo
Cet	Cetus	Ceti	Ballena
Cha	Chamaeleon	Chamaeleontis	Camaleón
Cir	Circinus	Circini	Compás
Col	Columba	Columbae	Paloma
Com	Coma Berenices	Comae Berenices	Cabellera de Berenice
CrA	Corona Australis	Coronae Australis	Corona Austral
CrB	Corona Borealis	Coronae Borealis	Corona Boreal
Crv	Corvus	Corvi	Cuervo
Crt	Crater	Crateris	Copa de Baco
Cru	Crux	Crucis	Cruz del Sur
Cyg	Cygnus	Cygni	Cisne
Del	Delphinus	Delphini	Delfín
Dor	Dorado	Doradus	Carpa Dorada
Dra	Draco	Draconis	Dragón
Equ	Equuleus	Equulei	Caballito
Eri	Eridanus	Eridani	Eridano
For	Fornax	Fornacis	Horno
Gem	Gemini	Geminarum	Gemelos o Géminis
Gru	Grus	Gruis	Grulla
Her	Hercules	Herculis	Hércules
Hor	Horologium	Horologii	Reloj
Hay	Hydra	Hydrae	Hidra
Hyi	Hydrus	Hydri	Serpiente de Agua
Ind	Indus	Indi	Indio
Lac	Lacerta	Lacertae	Lagarto
Leo	Leo	Leonis	León
Lmi	Leo Minor	Leonis Minoris	León Menor
Lep	Lepus	Leporis	Liebre
Lib	Libra	Librae	Balanza
Lup	Lupus	Lupi	Lobo
Lyn	Lynx	Lyncis	Lince
Lyr	Lyra	Lyrae	Lince
Men	Mensa	Mensae	Lira
Mic	Microscopium	Microscopii	Mesa
Mon	Monoceros	Monocerotis	Microscopio
Mus	Musca	Muscae	Mosca
Nor	Norma	Normae	Nivel
Oct	Octans	Octantis	Octante
Oph	Ophiuchus	Ophiuchi	Ofluco
Ori	Orion	Orionis	Orión

Pav	Pavo	Pavonis	Pavo Real
Peg	Pegasus	Pegasi	Pegasus o Pegaso
Per	Perseus	Persei	Perseo
Phe	Phoenix	Phoenicis	Fénix
Pic	Pictor	Pictoris	Caballero de Pintor
Psc	Pisces	Piscium	Peces o Piscis
PsA	Piscis Austrinus	Piscis Austrini	Pez del Sur
Pup	Puppis	Puppis	Popa
Pyx	Pyxis	Pyxidis	Brújula
Ret	Reticulum	Reticuli	Retrícula
Sge	Sagitta	Sagittae	Flecha o Sagita
Sgr	Sagittarius	Sagittarii	Sagitario
Sco	Scorpius	Scorpii	Escorpión
Scl	Sculptor	Sculptoris	Escultor
Sct	Scutum	Scuti	Escudo
Ser	Serpens	Serpentis	Serpiente
Sex	Sextans	Sextantis	Sextante
Tau	Taurus	Tauri	Toro o Tauro
Tel	Telescopium	Telescopii	Telescopio
Tri	Triangulum	Trianguli	Triángulo
TrA	Triangulum	Trianguli	Triángulo Austral
Tuc	Tucana	Tucanae	Tucán
Uma	Ursa Major	Ursae Majoris	Osa Mayor
UMi	Ursa Minor	Ursae Minoris	Osa Menor
Vel	Vela	Velorum	Vela
Vir	Virgo	Virginis	Virgen
Vol	Volans	Volantis	Pez Volador
Vul	Vulpecula	Vulpeculae	Zorra

En la tabla anterior se indica, para cada constelación, el nombre abreviado, el nombre latino, el genitivo y el nombre castellano. Además, en algunos casos que se indican se emplea también el nombre latino castellano.

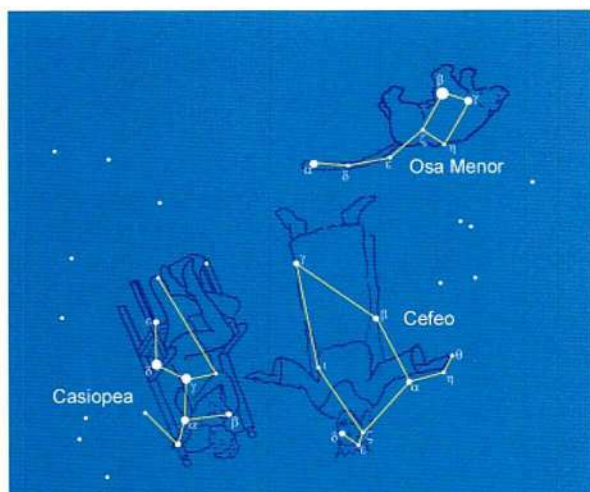
Se describe en esta **Guía de las Constelaciones** un representativo grupo de constelaciones visibles desde nuestra latitud. Se han agrupado en bloques trimestrales para facilitar su observación.

Las constelaciones visibles en una determinada época del año van a depender de la hora a la que las observemos. Para esta distribución estamos suponiendo que las observaciones se realizan a primeras horas de la noche. De todas formas, si estando en el primer trimestre queremos observar las constelaciones que aquí figuran en el segundo, podremos hacerlo seis horas más tarde del horario recomendado.

Octubre, noviembre, diciembre

Osa Menor

La estrella Polar (α Ursae Minoris) parece permanecer siempre en el mismo punto del cielo y sirve para indicar el punto cardinal Norte. Esto se debe a que se encuentra muy próxima (a unos $0,8^\circ$) al polo Norte Celeste, único punto del cielo que no se desplaza aparentemente debido a la rotación terrestre. Por tanto



es una magnífica referencia para identificar los cuatro puntos cardinales y deberás buscarla como se explicó en la Unidad 2 antes de pasar al resto de constelaciones. La mejor forma de identificar la estrella Polar es a partir de los punteros de la polar (α y β de la Osa Mayor), aunque éstos no están bien posicionados en el cielo hasta el siguiente trimestre; mientras tanto, puedes usar a Casiopea.

Como su nombre indica, la Osa Menor parece una versión reducida del asterismo del Gran Carro, sólo que sus estrellas, excepto β y γ , son bastante más débiles y su forma está invertida como en un espejo. Se extiende desde α hacia las mulas del carro, por lo que durante estos meses está baja en el horizonte.

Según la mitología, la Osa Menor representa a Arcas, hijo de la ninfa Calisto, a quienes Zeus convirtió en osos. Véase **Osa Mayor**.

Casiopea

Casiopea, constelación cuya forma nos recuerda una W, ocupa una situación diametralmente opuesta al Carro con respecto de la Polar. Por eso, cuando el Carro no esté visible podremos buscar a la Polar valiéndonos de Casiopea. Se localiza a unos 35° al norte de α Cassiopeiae, siguiendo la línea que pasa a un tercio del camino entre γ y β . El astrónomo danés Tycho Brahe observó en 1572 la aparición una nueva estrella cerca de κ , una supernova. La supernova, visible durante seis meses y rivalizando al principio en brillo con Venus, contribuyó a cambiar la idea clásica de que los cielos eran perfectos.

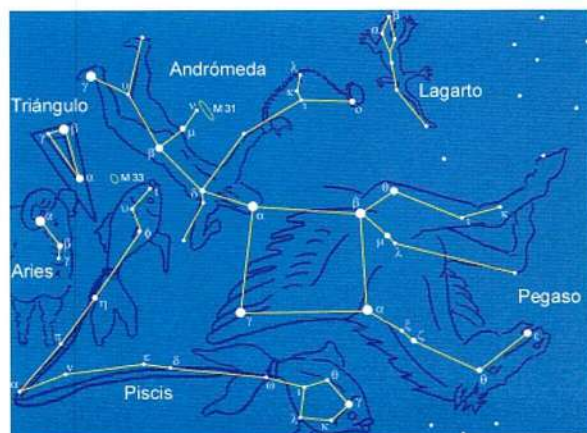
Según la mitología, Casiopea, que era una mujer de gran belleza, esposa de Cefeo, rey de Etiopía, iba a ser castigada por Neptuno debido a su vanidad. Etiopía sería arrasada por una ola gigantesca producida por una

enorme ballena. Consultado el oráculo, el país sería indultado a cambio de ofrecer a la princesa Andrómeda, hija de Cefeo y Casiopea, para ser devorada por la ballena. Cuando estaba encadenada y a punto de ser engullida por el cetáceo, entró en escena Perseo, quien cortó la cabeza a la Medusa Gorgona utilizando un escudo de bronce como espejo; de su sangre surgiría Pegaso (el caballo volador). Perseo mostró la cabeza de la Gorgona a la ballena, quedando petrificada como todo el que osara mirar a tan horrible monstruo marino. Tras rescatar a Andrómeda la desposó.

Cefeo

El asterismo principal de esta constelación, un pentágono, recuerda a una casita de las que pintan los niños, con el tejado apuntando aproximadamente hacia el polo. Sus estrellas, con magnitudes entre 3 y 4, no son muy llamativas. Para localizar la base de la casa podemos prolongar unas cuatro veces la línea que une α y β de Casiopea. Merece la pena echar un vistazo, un poco al Sur, a μ Cephei, una de las estrellas más rojas que pueden apreciarse a simple vista. μ varía irregularmente de brillo entre la magnitud 3 y 5. Otra estrella variable es δ Cephei, que forma un curioso triángulito agudo con ϵ y ζ . Las estrellas llamadas cefeidas, que varían de brillo de forma similar, son importantísimas para los astrónomos porque permiten saber a qué distancia se encuentran midiendo el periodo de sus variaciones.

Cefeo era rey de Etiopía y esposo de Casiopea.



Pégaso

La constelación de Pégaso, el Caballo Alado, está caracterizada por un asterismo, el Gran Cuadrado de Pégaso, formado por cuatro estrellas con la disposición geométrica de un cuadrado ligeramente distorsionado. Las dos diagonales abarcan el mismo ángulo, 20° . Está si-

tuado al Suroeste de Casiopea, ya próximo al ecuador celeste (línea que resulta de proyectar el ecuador terrestre sobre la bóveda celeste). Las magnitudes de las cuatro estrellas son muy similares, estando comprendidas entre 2,1 y 2,9. La de mayor brillo de este asterismo, α *Andromedae*, no es asignada actualmente a Pegaso, aunque hace frontera con esta constelación; pertenece a Andrómeda. β *Pegasi*, llamada *Sheat*, es una gigante roja con un color naranja bastante evidente en fotografías.

Pegaso era el caballo alado que surgió cuando la sangre de la Medusa tocó el suelo.

Andrómeda

Andrómeda es una constelación sin una forma muy definida. Se puede considerar una rama que sale del cuadrado de Pegaso en dirección a Perseo. Sus tres estrellas principales α , β , y γ *Andromedae* son de magnitudes muy parecidas. δ *Andromedae* es algo más débil. β , γ , y δ son de color naranja.

Dentro de esta constelación podemos apreciar sutilmente el objeto más lejano que el ser humano puede ver a simple vista. Se trata de nuestra vecina la Galaxia de Andrómeda, situada a más de dos millones de años luz (2 200 000 a.l.). Aunque sólo sea por eso, merece la pena intentar localizarla en una noche con buenas condiciones para la observación. Debemos buscar el cuadrado de Pegaso, partiendo de su estrella más nororiental, α *Andromedae*. Nos vamos introduciendo en Andrómeda, pasamos a la anaranjada δ y, de ésta, a la también naranja β . Una vez en ésta, tomamos una ramita perpendicular a la rama principal formada por dos estrellas algo más débiles, μ y ν , que se dirigen hacia el Noroeste. Muy cerca de esta última se encuentra la Galaxia de Andrómeda. Estarás contemplando la tenue luz emitida antes de que el ser humano como tal poblara nuestro planeta. La Galaxia de Andrómeda es parecida a nuestra Vía Láctea. Desde la Tierra la vemos casi de perfil. Si se pudiera ver de frente, se presentaría aun más majestuosa. Tiene unos ciento cincuenta mil años luz de diámetro y se calcula que tiene unos doscientos mil millones de estrellas. Es conocida por M 31 según el catálogo Messier¹.

Andrómeda, según hemos dicho, iba a ser devorada por la ballena a causa de la vanidad de su madre, cuando fue salvada por Perseo.

¹ Charles Messier, cazador de cometas, cansado de confundir otros objetos difusos, indeseables para él, con posibles cometas, dio a conocer en 1784 una lista de objetos del cielo profundo que lo hizo célebre. Esta lista, completada con algunos más, es conocida como el catálogo Messier.

Aries

Aries, el *Carnero*, es una constelación zodiacal. El Sol transita por delante de ella entre el 20 de abril y el 14 de mayo aproximadamente. El asterismo más significativo de la constelación de Aries recuerda una carambola de billar de las que le ponían a Fernando VII. α *Arietis* se encuentra en el firmamento a 4° de β y ésta a un grado y medio de γ . A pocos grados al Norte del asterismo descrito se encuentra la constelación no zodiacal de Triángulo.

Según la mitología griega, Aries era el animal de pelo de oro que salvó a los dos príncipes de Tebas, Friso y Hele, de la madrastra Ino, que quería matarlos; cuando el animal partía con sus jinetes, un accidente hizo que Hele cayera de su grupa y se ahogara en las aguas del estrecho de Dardanelos, que luego sería calificado como el *Helesponto* en su memoria. Cuando Friso llegó a su destino, hizo sacrificar a Aries y puso su piel (o *vellocino*) a la custodia de un dragón y de un grupo de toros que soblaban fuego.

Triángulo

Está justo a medio camino entre Aries y Andrómeda. Es un asterismo que está distribuido en forma de triángulo rectángulo y con uno de los catetos bastante más corto que el otro. Su *hipotenusa* es de poco más de seis grados.

Se trata de una de las pocas constelaciones tradicionales que no representa a un ser vivo. En ella destaca una galaxia muy bella que se presenta de frente a nosotros. La *galaxia del Triángulo*, M 33, está al alcance de unos prismáticos desde un lugar con cielo oscuro. No es difícil de localizar ya que guarda simetría con la galaxia de Andrómeda respecto de la estrella β de la constelación de Andrómeda.

Piscis

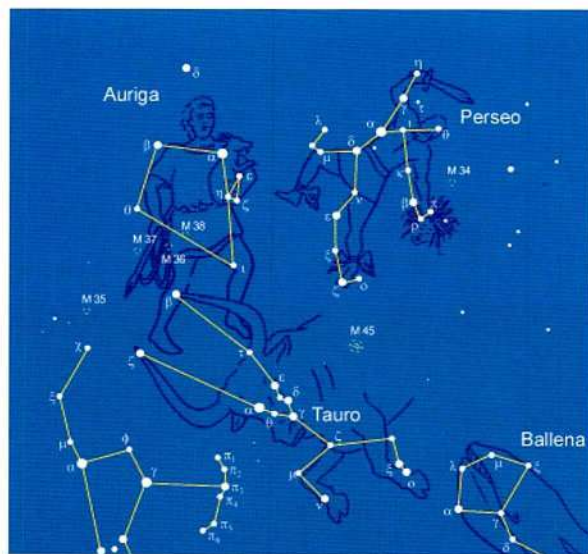
Desde el 13 de marzo hasta el 20 de abril el Sol está pasando por la constelación zodiacal de Piscis, es por lo tanto con el Sol en esta constelación cuando se produce el equinoccio vernal o de primavera, pues el 21 de marzo el astro rey atraviesa el ecuador en su tránsito del hemisferio austral al hemisferio boreal. Al igual que ocurre en el equinoccio de otoño, en la fecha del tránsito la noche y el día tienen igual duración.

La constelación tiene forma de V muy amplia, que comienza en una distribución de estrellas poligonal (pentágono u octágono, según la agudeza visual del observador) que forma la parte más fácil de localizar de Piscis. El citado polígono lo podemos observar en otoño-invierno encontrándose entre el cuadrado de



Pegaso y Acuario. La línea de estrellas que parte de él se prolonga 40° hasta α Piscium, estrella poco brillante que forma el vértice de la uve. La otra línea que configura esta uve parte de α , pasa por la más brillante de las estrellas de Piscis, que es η Piscium (3,6), y termina al Este de Pegaso, junto a Andrómeda.

Según la mitología griega, los dos peces representan a Afrodita (Venus) y a su hijo Eros (Cupido), que habían sido transformados en animales para escapar del gigante Tifón que los perseguía mientras nadaban en las aguas del Éufrates. Para no perderse en la corriente, decidieron atarse con una cuerda.



Perseo

Extendiéndose en un arco curvado entre Casiopea y Tauro, se encuentra la constelación de Perseo. De dimensiones bastante amplias, cabe justamente en el campo de un objetivo fotográfico de 50 mm. Las estrellas más significativas son α Persei, de magnitud 1,8, y β Persei (Algol), cuya magnitud varía entre 2,1 y 3,6.

Algol es una variable del tipo eclipsante, debido a que orbita a su alrededor otra estrella más débil, que al pasar por delante de ella hace que el brillo decaiga, esto ocurre cada 2,8 días pasando de una magnitud 2,1 a 3,6 en pocos minutos, se estabiliza en esta magnitud durante unas cinco horas, tiempo que permanece eclipsada por su compañera, para recuperar de nuevo la magnitud 2,1. Las estrellas variables que presentan este comportamiento se las conoce como *algóidas*.

Entre Perseo y Casiopea podemos distinguir a simple vista el Doble Cúmulo de Perseo, uno de los cúmulos abiertos más bellos del cielo. Se trata en realidad de dos cúmulos independientes, como podrás comprobar

al mirar con unos prismáticos. Son muy jóvenes: su edad es de diez millones de años. Cada uno tiene más de un centenar de estrellas.

Perseo venció a la Medusa y con su horrible cabeza petrificó a la Ballena que se disponía a tragarse a la princesa Andrómeda.

Auriga (Cochero)

En Auriga cabe destacar su estrella de mayor brillo, α Aurigae o Capella, de magnitud 0,1, la sexta en brillo de todo el firmamento, situada a 42 años luz. Junto a ella y formando un triangulito, se encuentran las tres cabritas. La zona entre Auriga, Géminis y Tauro es rica en cúmulos de estrellas (M 35 a M 38), que puedes intentar localizar con unos prismáticos.

El Auriga representaba para los antiguos griegos a Mirtilo, el hijo del dios Hermes (Mercurio) y el cochero de Enomao, rey de Pisa, en la Hélade. Su bravura en la conducción de caballos era tal que los potros que domaba fueron los más veloces de toda la Grecia antigua. Según otra leyenda, era un joven que sostenía en brazos la cabrita Amaltea, nodriza de Zeus (Júpiter). De este mito derivaría el nombre de la estrella más luminosa de la constelación, Capella (cabra).

Tauro

Tauro es una constelación zodiacal. El Sol transita por ella entre el 15 de mayo y el 20 de junio. Su estrella más brillante es la gigante roja Aldebarán (magnitud 0,8), que podemos encontrar prolongando hacia el Noroeste la línea formada por el Cinturón de Orión (ver Orión). Los otros dos componentes principales de la constelación son dos cúmulos abiertos: las Pléyades y las Hyades. Siguiendo la *rama curvada* de Perseo, y paralelamente a sus dos últimas estrellas, encontramos la P de las Pléyades y al Este de ellas la uve tumbada que caracteriza a las Hyades.

Las Pléyades es un cúmulo formado por más de 100 estrellas, de las que a simple vista podemos ver unas 6 o 7. Situadas a una distancia de 420 años luz, se trata de un cúmulo joven alrededor del cual todavía puede apreciarse mediante fotografías los restos de la nebulosa que originó sus estrellas.

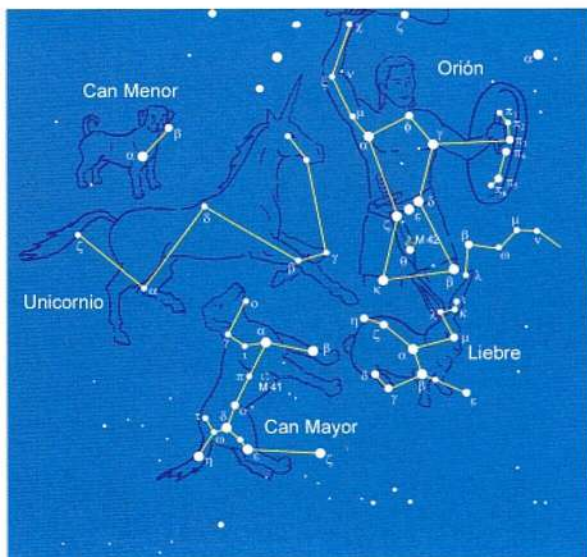
Las Hyades, el otro cúmulo de Tauro, está a unos 130 años luz de nosotros. Sus componentes forman una uve ocupando 4° de nuestro cielo. Parece comenzar en Aldebarán pero eso es sólo una impresión, ya que ésta se encuentra a unos 65 años luz de nosotros, no perteneciendo por tanto al cúmulo. Las Hyades se van desplazando a una velocidad próxima a los 40 km/seg en dirección a Betelgeuse (Orión), siguiendo la llamada corriente del Toro. A pesar de ello, todas las gene-

raciones anteriores a la nuestra la han visto siempre situadas en la misma posición en relación a los demás astros, y se seguirán viendo ahí durante muchos años. Eso nos puede dar una idea de la enormidad de las distancias cósmicas.

Al lado de la estrella ζ Tauri se encuentra M 1, la nebulosa resultante de la explosión de una estrella, una supernova. Este acontecimiento fue observado por los chinos el año 1054. M 1 puede verse con un pequeño telescopio, pero no muestra muchos detalles.

Tauro representa al animal en que se transformó Zeus para raptar a la princesa *Europa*. El padre de los dioses, al ver a la espléndida jovencita en las costas de *Fenicia*, se prendó de ella y se transformó en un toro blanco, la llevó sobre su lomo a la isla de *Creta* y la desposó con el rey de la isla, *Asterión*. Su hijo fue Minos, el Minotauro, mitad hombre mitad toro. Las *Pléyades* eran las siete hijas de *Atlas*, uno de los *Titanes* condenado por Zeus (Júpiter) a sostener el cielo sobre sus hombros.

Enero, febrero, marzo



Orión

Sin duda, la constelación reina de la noche invernal es Orión, el *Cazador*. Ocupa una franja situada entre las 5 y las 6 horas de ascensión recta y entre los +15 y los -15 grados de declinación. El ecuador celeste la parte en dos.

En esta constelación destaca una distribución amplia, casi rectangular, formada por las estrellas α Oriónis, llamada Betelgeuse; β Oriónis, llamada Rigel; γ Oriónis, llamada Bellatrix, y κ Oriónis, llamada Saiph. Betelgeuse,

(bet-el-geuse, el hombro del cazador; para los árabes) es una gigante roja de magnitud variable entre 0,1 y 0,9. La temperatura de su superficie es baja, de unos 3 000°, como corresponde a su avanzado estado de evolución y al color predominante de su espectro, el rojo. Rigel (0,1) es blanca, siendo la temperatura de su superficie 11 000°. (El Sol, en un estado intermedio de su evolución, tiene una temperatura superficial de 6 000°). Bellatrix (1,6) y Saiph (2,1) completan el marco de la constelación. Desde el punto de vista mitológico, Betelgeuse y Bellatrix forman los hombros del cazador, las rodillas son Rigel y Saiph.

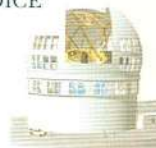
En el interior del rectángulo se sitúan tres estrellas alineadas y de similar magnitud que forman el denominado *cinturón de Orión*. De Sur a Norte son: Alnitak (1,8), Alnilam (1,7) y Mintaka (2,2). El ecuador pasa junto a ésta última. La prolongación de la línea que une estas tres estrellas sirve para localizar fácilmente dos prominentes estrellas: Aldebarán, de Tauro, al Noroeste, y Sirio, del Can Mayor, al Sureste. Colgando del cinturón hay una hilera de estrellas muy peculiares que forman la espada de Orión. En ella se encuentra la Gran



La Nebulosa de Orión está situada a unos 1 500 años luz de nosotros y tiene una longitud de unos 50 años luz. El resplandor rojizo es de hidrógeno ionizado, siendo responsable de la ionización η Oriónis, sistema múltiple y muy joven, que emite gran cantidad de radiación ultravioleta. Con telescopio de 10 centímetros de diámetro se puede apreciar el trapecio formado por las componentes de θ , en la foto se corresponde con la zona central muy iluminada de la nebulosa. M 42, nebulosa de emisión, es una región donde se forman estrellas a partir del hidrógeno de la nebulosa, eso ha podido ser constatado pues se observó como una comenzó a emitir luz visible por primera vez.

Nebulosa de Orión (M42). Fuera del rectángulo se puede apreciar la cabeza del cazador, formada por tres débiles estrellas muy juntas al Norte del rectángulo principal. Finalmente, al Oeste de la constelación, Orión sostiene su escudo, una distribución de estrellas que forma una suave curva.

Orión, hijo de Poseidón, fue un gigante de gran belleza y



destreza. Yació con Eos (Aurora en el mito romano) y, por eso, el amanecer se tiñe de rosa en recuerdo de aquel amor, mientras las estrellas de Orión desaparecen por el Oeste.

Conforme se pone Orión, sale la constelación de Escorpio. Según la mitología, el cazador, después de haber demostrado su infalible puntería en multitud de ocasiones, fue mortalmente herido por el Escorpión. Los dioses decidieron que ambos subieran a los cielos en forma de estrellas, pero para evitar nuevos enfrentamientos hicieron que nunca más volvieran a encontrarse, de esta forma cuando Orión se esconde por el Oeste aparece el Escorpión por el Este.

El entorno de Orión

Un cazador no es tal sin sus perros, y Orión no puede ser una excepción. Así, al Este de Orión observamos los dos perros de caza del gigante: el Can Menor, con su estrella principal, Proción, que significa *el perro que se levanta antes*, y el Can Mayor, con su brillante estrella Sirio. Visto desde el hemisferio Norte este perro se sienta detrás de Orión vigilando a la Liebre, Lepus, una constelación menor que se encuentra a los pies del cazador. Más al Sur se halla la pequeña constelación de la Paloma (Columba).

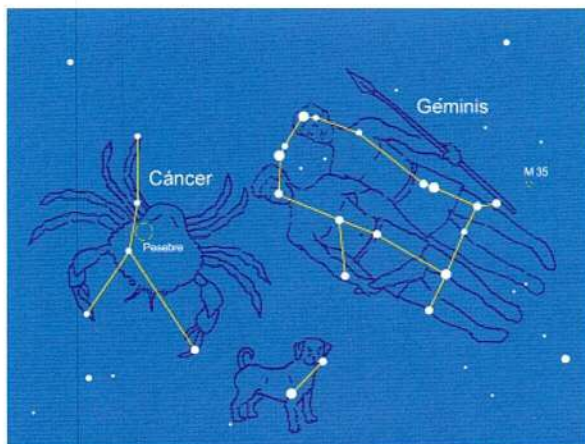
Sirio, con magnitud -1,5, es la estrella más brillante del cielo. También es una estrella relativamente cercana, a algo menos de 9 años-luz de distancia².

En el Can Mayor también cabe destacar el cúmulo abierto M 41. Merece la pena observarlo con unos prismáticos o con telescopio pequeño. Está situado 4 grados al Sur de Sirio y su magnitud es 4,5.

Géminis

El Sol entra en la constelación zodiacal Géminis sobre el 21 de junio y termina de cruzar la constelación el 20 de julio. Géminis se extiende de Noreste a Suroeste en dirección a Betelgeuse (Orión). Se suele representar como dos hermanos cuyos rostros se corresponden con α Geminorum (Cástor 1,6) y la anaranjada y algo más brillante β (Pólux 1,1). Se muestran con el brazo echado por el cuello y los pies situados cerca de la mencionada Betelgeuse. A Cástor y

² Otra estrella muy brillante, la segunda después de Sirio, es Canopus. Esta estrella, perteneciente a la constelación austral de Carina (Quilla), puede llegar a verse desde Canarias con una altura máxima sobre el horizonte de unos 10 grados. Por cierto, hablando de las estrellas más brillantes del cielo, los canarios tenemos la suerte de llegar a ver las primeras 20 a excepción de la número 14, α de la Cruz del Sur.



Pólux los vemos separados 4 grados y medio en la bóveda celeste, pudiendo este valor servir de referencia para establecer otras separaciones estelares en el firmamento.

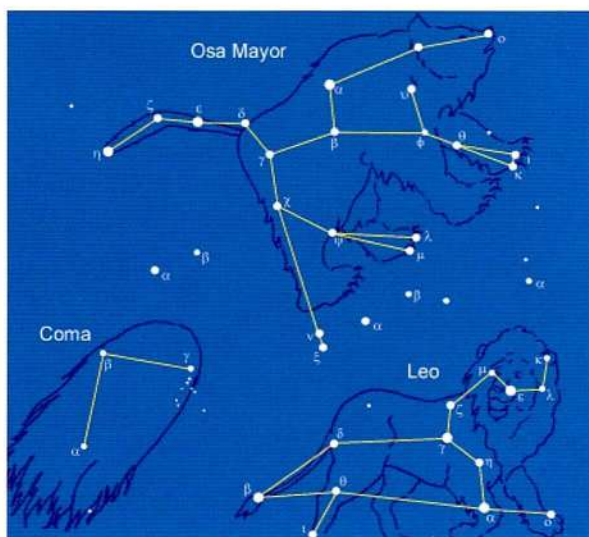
La constelación de los gemelos representa a los dióscuros (hijos de un dios). Estos muchachos eran dos hermanos, *Castor* y *Pollux*, hijos de la misma madre, *Leda*, que tuvo a Cástor de un mortal y a Pollux de Zeus. Los dos hermanos se amaban tanto que Pollux estaba dispuesto a renunciar a la inmortalidad que poseía como hijo de Zeus si no podía compartirla con su hermano. Zeus les permitió seguir juntos pero repartiendo sus días entre el inframundo, Hades, y el mundo de los dioses. Así cuando Cástor se pone por el Oeste, descendiendo al Hades, Pólux le sigue y cuando Cástor aparece por el Este pronto se ve a su hermano a su lado.

Cáncer

El Sol entra en esta constelación zodiacal el 21 de julio y termina de recorrerla el 9 de agosto.

Es una constelación más bien pequeña y los astros que la forman son débiles; la estrella más brillante tiene magnitud 3,5. El asterismo que define la constelación es un trapecio cuyo lado mayor mide $3^{\circ} 20'$, situado a medio camino entre Géminis y Leo. En el centro del trapecio se encuentra el magnífico cúmulo del Pesebre (M 44). Pese a lo espléndido que se presenta a la vista con prismáticos, el cúmulo dista de nosotros más de 500 años luz.

El mito griego del cangrejo hace alusión a un pequeño cangrejo que fue aplastado accidentalmente por Hércules mientras éste luchaba contra Hidra, el monstruo con cuerpo de perro y ocho o nueve cabezas de serpiente. Para recompensarlo de alguna manera, los dioses lo transformaron en una débil constelación.



Osa Mayor

La Osa Mayor es una constelación boreal bastante extensa, cuya parte más significativa (y con la que muchas personas la confunden) es el famoso asterismo del Gran Carro. Sin embargo, las siete estrellas del carro son sólo una parte de toda la constelación, concretamente los cuartos traseros y el rabo. En la dirección opuesta encontramos el resto del cuerpo, la cabeza y, extendidas hacia el Suroeste, las patas.

La forma más fácil de identificar el Gran Carro es suponer que se trata de tres mulas que arrastran un carro representado por cuatro estrellas; la parte superior del carro es más larga que la inferior. De la primera mula a la última estrella del carro (la de mayor brillo) los nombres árabes de sus estrellas son: Alkaid, Mizar, Alioth, Megrez, Phekda, Merak y Dubhe. Junto a Mizar hay una estrella menos brillante, Alcor, situada a 11,7 minutos de arco, con la que forma la estrella doble más conocida. Este sistema se ha utilizado por muchas civilizaciones para probar la agudeza visual, de ahí que popularmente se conozca a la pareja como *los ojos de Santa Lucía*. La mayor parte de estas estrellas están a una distancia de nosotros entre 75 y 80 años luz. La familiar figura del carro recibe otros nombres en otras culturas: para los anglosajones es un cucharón (*big dipper*), para los árabes se trataba de un ataúd tras el que iban tres plañideras.

Del Gran Carro parte una serie de líneas que podemos usar para localizar otras constelaciones. Las estrellas Merak y Dubhe son conocidas como los *Punteros de la Polar*, porque prolongando unas cinco veces la distancia entre ambas (unos treinta grados) nos encontramos a la *Polar* (Osa Menor). Por otro

lado, prolongando una gran distancia la línea curva que forma el rabo de la Osa encontramos las estrellas Arturo (del Boyero) y Spica (de Virgo).

Dentro de esta constelación podemos encontrar dos bellas galaxias casi en la misma región del cielo. Se trata de M 81 y M 82, situadas al Noroeste de los punteros. En la constelación vecina de Canes Venatici (los Lebreros), a pocos grados de la última mula del carro (η) se encuentra una pareja de galaxias en colisión denominada M 51, la *Galaxia del Remolino*. Para observar estas galaxias hace falta telescopio.

El mito griego de las osas nos remonta a la ninfa Calisto (*Kalliste=la más bella*), hija del rey Licaón de Arcadia. Calisto quiso unirse a la partida de caza de Artemisa (la Diana romana) quien, a cambio, le exigió que se mantuviera virgen. Pero Calisto fue un día forzada por Zeus, quien disfrazado de Artemisa, se acercó a ella para luego revelarse como Zeus y violarla. Calisto quedó embarazada pero ocultó su estado para poder continuar en el grupo de caza, pero Artemisa, al notarlo, la expulsó del mismo. Calisto tuvo un hijo, al que llamó Arcas.

La esposa de Zeus, la celosa Hera, maldijo entonces a la ninfa transformándola en Osa, quien avergonzada huyó para esconderse en el bosque, mientras su hijo crecía y se transformaba en un gran cazador.

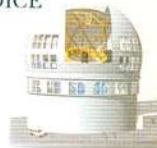
Un día en que Arcas salió de caza se encontró con la transformada Calisto y ésta, olvidando su aspecto, se precipitó hacia él para abrazarlo. Arcas, asustado, estuvo a punto de matar a su propia madre, pero Zeus intervino convirtiendo también a Arcas en Oso. Luego elevó a la madre y al hijo a los cielos, pero antes los ató por las colas para lanzarlos juntos. Así, Calisto sería la Osa mayor y Arcas, la Osa menor.

Leo

El Sol entra en la constelación zodiacal Leo el día 10 de agosto y sale el 16 de septiembre. Consecuentemente en esas fechas Leo no se ve, observándose en condiciones óptimas a comienzo de primavera.

Leo es de las pocas constelaciones en que no cuesta demasiado imaginarse al mito que representa. Se trata de un león echado y visto de perfil, similar a los *leones del Congreso de los Diputados*. La cabeza ocupa la parte más occidental de la constelación; la parte más oriental corresponde al cuerpo y a la cola del león, y están representados por un triángulo que termina en Denébola, que significa precisamente *cola del león*.

Sus estrellas más brillantes son α Leonis (llamada comúnmente Régulo), de magnitud 1,3; β Leonis (Denébola), de magnitud 2,2, y la anaranjada γ Leonis,

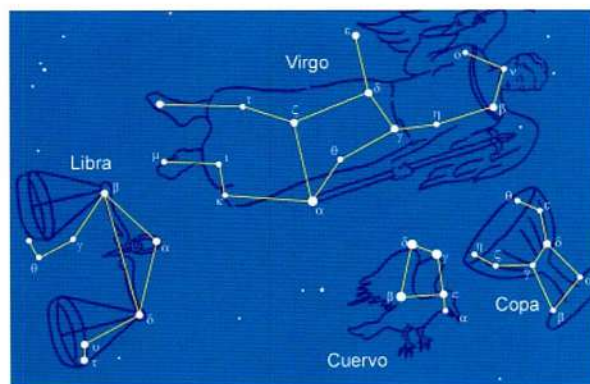


de magnitud 2,3. Régulo tiene una posición próxima a la eclíptica, situándose el Sol a menos de un grado de esta estrella poco antes de acabar el mes de agosto. En la mitología griega a Leo se le identifica con el León de Nemea, aquel al que Hércules le quitó la piel. A pesar de que este enorme animal había sido creado por la diosa Selene con un pellejo impenetrable, Hércules, cumpliendo su primer trabajo, luchó con él y lo mató, arrancándole luego la piel con las propias garras de la bestia. Desde entonces, Hércules usó la piel del león como armadura y su cabeza como casco.

Cabellera de Berenice (Coma Berenice)

La Cabellera de Berenice es una constelación formada por estrellas débiles que se encuentra entre Leo y la Osa Mayor. En ella destaca principalmente un gran cúmulo abierto conocido por el nombre de la constelación. Situado a unos 300 años luz, el cúmulo destaca como un manchón de estrellas débiles visible a simple vista. Berenice, hija de Tolomeo III, rey de Egipto, había jurado que si su marido regresaba sano y salvo de la guerra, cortaría su larga cabellera para depositarla en el templo de Venus, y así lo hizo a la vuelta de su esposo. Júpiter quedó tan impresionado por la belleza de las trenzas de Berenice que las robó del templo para depositarlas en el cielo, donde todos pudieran contemplarlas.

Abril, mayo, junio



Boyero

Vamos a ver una constelación que se puede relacionar con la Osa Mayor. Se trata del Boyero o conductor de bueyes, que tiene en *Arturo* su estrella más destacada, la cual es anaranjada y tiene magnitud 0,0. La manera de localizar *Arturo* es prolongar la curvatura que forman las tres estrellas del *rabo de la osa* (las tres mulas

del carro) y encontraremos una estrella anaranjada y muy brillante. *Arturo* es una gigante roja, la cuarta estrella en magnitud vista desde la Tierra, de la que dista sólo 36 años luz.

Esta constelación fue conocida por los griegos como el boyero (conductor de bueyes). Su estrella principal *Arturo* (*Arct-urus*), que significa el guardián de la osa. Así, al boyero se le adjudica la responsabilidad de guiar permanentemente a las Osas en torno al Polo.

Corona Boreal

La Corona Boreal es una pequeña constelación en forma de C que podemos encontrar muy cerca del Boyero, en dirección a Hércules. A pesar de ser modesta, contiene una estrella usada como referencia, la variable R Corona Borealis. Esta estrella es el prototipo de un grupo de estrellas que, de tiempo en tiempo, disminuyen considerablemente de brillo; pueden hacerse 100 veces menos brillantes en pocos días, para recuperarse después lentamente. Se cree que este desvanecimiento se debe a la expulsión de materiales oscuros que ocultan la estrella.

En la mitología griega la corona es la diadema de la princesa Ariadna, quien proporcionó un hilo a su amado Teseo para ayudarlo a salir del laberinto del Minotauro, en Creta. Teseo y Ariadna se casaron y como regalo de bodas el dios Dionisios le obsequió esta joya.

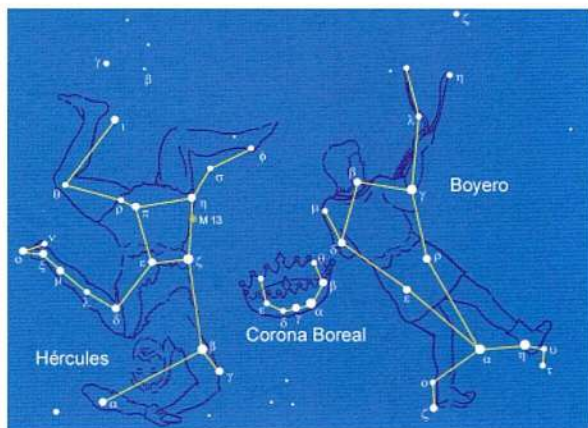
Hércules

El asterismo característico de Hércules está constituido por seis estrellas formando dos trapecios unidos por el lado más corto. De estos dos trapecios, el menor corresponde al torso del héroe y el otro a las piernas. α Herculis, supergigante roja, variable, no forma parte del asterismo principal. Debajo del hombro más occidental se encuentra M 13, un famoso cúmulo globular visible con prismáticos.

Heracles, el Hércules romano, es el más famoso de los héroes clásicos. Se le identifica con el héroe babilonio Gílgamesh. Fueron los romanos quienes establecieron la tradición de identificar la constelación con Hércules, a quien se le pidió que llevara a cabo doce trabajos aparentemente imposibles, entre otros, matar al león de Nemea, destruir al dragón sagrado, limpiar en un día los inmenos establos del rey Augias, etc.

Virgo

Virgo es la constelación zodiacal en la que se produce el equinoccio de otoño. El 23 de septiembre el Sol atraviesa el ecuador pasando del hemisferio boreal al



hemisferio austral; se puede comprobar que el día y la noche tienen la misma duración. Al tratarse de una constelación extensa, el Sol tarda casi un mes y medio en atravesar Virgo, entre el 17 de septiembre y el 31 de octubre.

Los griegos asociaban esta constelación con una joven muchacha. Sin embargo, al igual que otras constelaciones, sus estrellas son débiles y es difícil relacionarlas con el mito que la representan (no hay nada como no tener televisión y gozar de los limpios cielos de aquella época para que la imaginación se desarrolle). Es más fácil identificar en ella un asterismo con una forma parecida, a mayor escala, al de la constelación de la Copa. Ocupando el pie de la supuesta copa está la estrella más brillante de la constelación, α Virginis. Alfa, conocida por *Spica* (1,0), está situada a unos dos grados de la eclíptica, de forma que uniendo Régulo con Spica nos podemos hacer una idea aproximada de por dónde transcurre la eclíptica.

Si miramos hacia el cuenco superior de la copa estaremos dirigiendo la mirada hacia el Cúmulo de Galaxias de Virgo, formado por varios miles de galaxias separadas entre sí unos 60 millones de años luz. Algunas de estas galaxias están al alcance de un telescopio de tamaño medio. Parece ser que nuestra Vía Láctea está situada dentro de un supercúmulo del que forman parte el Cúmulo de Galaxias de Virgo y muchas otras galaxias, entre ellas la nuestra.

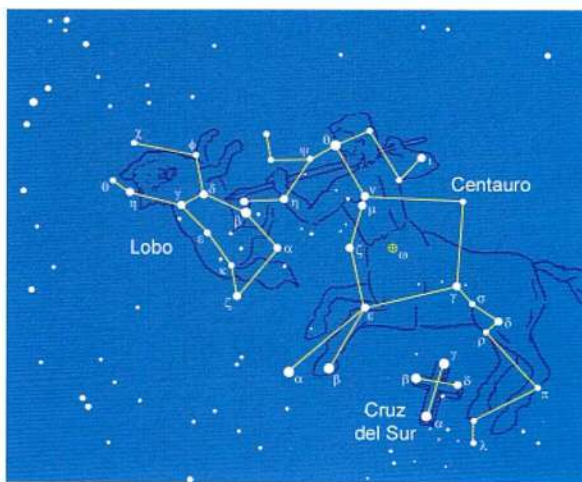
Los griegos identificaron a Virgo con Perséfone, hija de la diosa de la madre tierra Deméter (Ceres para los romanos). Hades, hermano de Zeus y señor del inframundo, se enamoró perdidamente de Perséfone así que la raptó para llevarla a su reino. Su madre, indignada, amenazó con no volver a fertilizar la Tierra mientras no le devolvieran a su hija, así que Zeus convenció a su hermano para que lo hiciera, a condición de que la muchacha no hubiera probado la comida del inframundo. Pero ésta, en el último momento, no pudo

resistir la tentación de comer algunas semillas de granada. A pesar de ello, Zeus, compadecido, permitió que a partir de ese momento Perséfone pasara medio año (primavera y verano) en la superficie con su madre, Deméter, periodo en que revive la primavera. Al Sur de Virgo se encuentra un conjunto de constelaciones débiles relacionadas entre sí por la mitología. El Cuervo es un cuadrilátero de estrellas que parece representar a un ave que estaba al servicio del dios Apolo, quien para recompensarle lo puso en el cielo cerca de la copa que usaba habitualmente.

Libra

El Sol pasa por esta constelación zodiacal del 1 al 23 de noviembre. Sus dos astros más representativos son α Librae (2,8) y β Librae (2,6) y están separados 9° en el cielo. Sus nombres árabes, *Zubenelgenubi* y *Zubeneschamali*, significan *pinza sur* y *pinza norte* (del Escorpión) respectivamente, ya que ambos astros eran considerados parte de la constelación vecina.

Hay dos leyendas que se refieren a este grupo de estrellas bastante débiles. Según la más antigua, era la balanza que Astrea, la diosa de la justicia, utilizaba para pesar el destino de todos los mortales. De acuerdo con la más reciente, era la balanza de Mechus, quien había inventado los pesos y medidas. Es muy posible que esta constelación recibiese tal nombre debido a que hace unos 2 000 años, en la época del otoño en que se hacen iguales los días y las noches, el Sol entraba en la constelación de Libra.



Centauro

Esta constelación alberga a α Centauri (0,0), la estrella más próxima a la Tierra, a 4,3 años luz. Realmente se trata de un sistema múltiple en el que la más cercana



a nosotros es una estrella enana, *Próxima Centauri* (a 4,2 años-luz), que no resulta visible ni con prismáticos al tener magnitud 11. β Centauri aparenta estar cercana a α (a cuatro grados y medio) y, por tanto, a nosotros. Sin embargo, se halla situada a 460 años luz. Su brillo parecido al de α se debe a que es intrínsecamente muchísimo más luminosa.

Alineada con α y β Centauri, a 12° de ésta, vemos una estrella perteneciente a la constelación de La Cruz del Sur: es γ Crucis, fuertemente naranja y de magnitud 1,5. El objeto más destacado de la constelación es ω Centauri, un cúmulo globular que tiene magnitud cercana a 4 y es fácilmente visible a simple vista. Su localización desde Canarias resulta sencilla: buscamos un triángulo rectángulo amplio contenido en Centauro formado por las estrellas ζ , γ , y ε , y observamos a ω justamente en la hipotenusa, a 5° de ζ y a 8° de γ . Desde Canarias, entre los meses de mayo y junio, podemos intentar ver por debajo de Centauro a una de las constelaciones más famosas del hemisferio meridional, la Cruz del Sur, o al menos a tres de sus estrellas principales.

Julio, agosto, septiembre



El Triángulo de Verano.

Un gran asterismo fácil de reconocer en la época estival es el *Triángulo de Verano*, formado por las estrellas Vega, de la constelación de Lira; Deneb, del Cisne, separada 24° hacia el Este, y, a 38° al Suroeste; y Altair, del Águila, la cual está a su vez separada 34° de Vega.

Cisne

Esta constelación presenta una personalidad doble. La forma clásica es la de un cisne, siendo α (Deneb) la cola y β (Albireo) el pico. Las alas pasarían por δ , γ y ε . Un

asterismo posterior es la Cruz del Norte, cuyos palo más largo sería el que va de Albireo a Deneb y el más corto el que va de δ a ε . Deneb (que significa *cola* en relación con el cisne) tiene magnitud 1,3 a pesar de hallarse a 1 800 años luz. Eso se debe a que tiene una luminosidad equivalente a varias decenas de miles de soles. Rodeando esta estrella hay una llamativa nube de hidrógeno que por su forma característica es denominada Nebulosa de Norteamérica. Se trata de un objeto difícil de ver, que está al alcance de la fotografía de larga exposición pero no de los telescopios medianos. γ Cygni, la estrella central, tiene magnitud 2,3. Albireo (3,2) es una preciosa doble cuyos componentes muestran al telescopio gran contraste entre sus colores. Más al Sur del Cisne encontramos dos curiosas constelaciones, débiles pero con asterismos bien definidos: Sagitta (la flecha) y el Delfín, ambas de seis grados de amplitud. Entre Albireo y Sagitta está Vulpécua (el zorro), una constelación débil que sólo destaca por contener la nebulosa planetaria irregular M 27, *Nebulosa de Dumbbell*.

Para muchos autores, el cisne representa a Orfeo, quien después de su muerte fue transformado en esta bella ave y colocado al lado de su instrumento musical, la lira. Parece que Sagitta se trata de la flecha lanzada por Hércules para matar al águila que torturaba a Prometeo. El delfín representa al animal que salvó la vida al cantor Arión, quien fue asaltado durante un viaje por mar por lo que tuvo que lanzarse al agua. Entonces el delfín lo rescató y, en recompensa, los dioses inmortalizaron su figura.

Lira

Vega, α Lyrae, es blanca, muy luminosa y de aspecto inconfundible. Se encuentra relativamente cerca de nosotros, a 26 años luz. Debido a ello su magnitud es 0,0, ocupando la 5ª posición en brillo aparente de todas las estrellas del cielo, aunque intrínsecamente sea más débil que cualquiera de las otras estrellas del asterismo principal. β es una binaria eclipsante, pasando de magnitud 3,4 a 4,3 en 12,9 días. ε Lyrae es una doble-doble, cuya pareja principal está formada por estrellas de magnitud próxima a 5. Están separadas $3,5'$ de arco, distancia suficiente para que se distingan muy bien con prismáticos e incluso a simple vista por muchas personas. Si la observamos con telescopio notaremos que, a su vez, cada uno de los dos componentes principales está formado por una pareja de estrellas. La que no puede verse con prismáticos es la nebulosa planetaria M 57, llamada también *Nebulosa Anular de Lira*. Su magnitud es 9 y está situada entre las dos estrellas que forman uno de los lados cortos del



rombo (el más lejano a Vega). Vista con un telescopio de 20 centímetros de diámetro se aprecia su forma de anillo, se trata de una estructura globular formada por los gases eyectados por la estrella central que, habiendo perdido su equilibrio, se está apagando y transformándose en una enana blanca. Un final similar al que tendrá el *Sol* dentro de unos cinco mil millones de años.

Parece ser que este instrumento pertenecía, según la mitología, al dios Apolo, quien lo regaló a su hijo Orfeo. Con él, Orfeo fue capaz de enamorar a la bella Eurídice, musa de la música. Está representado por un rombo unido por uno de sus extremos a un triángulo equilátero en el que destaca la estrella α (Vega).

Águila

El Águila es una constelación de mediana extensión. Unos 20° separan a las estrellas más distanciadas de entre las que forman el asterismo principal. Es atravesada por el ecuador celeste y se sitúa entre Sagitta y Sagitario.

Altair (α Aquilae, 0,8) se encuentra a 17 años luz, siendo de las más próximas a nosotros. Tiene a β y γ casi alineadas y equidistantes a unos dos grados, lo que facilita su localización. La cabeza del águila estaría situada sobre Altair, las alas equivalen al rombo formado por ésta, ζ , δ y θ , y la cola se extiende hacia λ .

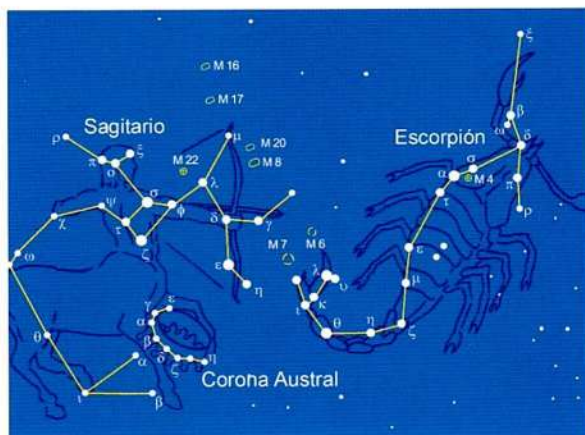
El gigante Prometeo había desafiado a los dioses cuando, queriendo ayudar a los humanos, les entregó el fuego. En castigo los dioses le encadenaron a una roca e hicieron que un águila le devorara a diario las entrañas, las cuales inmediatamente se regeneraban. Hércules liberó al titán matando al águila, que quedó immortalizada en los cielos.

Escudo

El Escudo es una constelación de estrellas débiles en la que cabe destacar la presencia de M11 (Pato Salvaje), un cúmulo abierto visible con prismáticos. La forma más fácil de localizar M11 con prismáticos es siguiendo la línea en forma de gancho que forma un curioso asterismo de cinco estrellas que rodean a λ del Águila.

Escorpión

El Escorpión es una extensa y clásica constelación zodiacal, pero la eclíptica atraviesa tan solo una estrecha franja de ella, por lo que el *Sol* transita por Escorpión únicamente durante la última semana de noviembre, entrando a primeros de diciembre en la constelación de Ofiuco, que es por tanto zodiacal. El *Sol* se desplaza por Ofiuco durante la primera quincena de este mes.

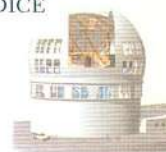


En este caso, el parecido entre la forma de la constelación y el mito es más que patente, siendo la parte más llamativa la curva que forma el aguijón.

El componente más brillante del Escorpión es α *Scorpii* (1,0), llamado también *Antares*, probablemente porque se puede confundir con el planeta *Marte* (Ares para los griegos) cuando pasa por su lado, ya que *Marte* es muy parecido a ella en brillo y color. *Antares*, al igual que *Betelgeuse*, es una supergigante roja. Está fuera de la llamada *secuencia principal* ya que su brillo intrínseco es muy superior al que por su temperatura superficial ($3\,000^\circ$) le correspondería a un astro de la secuencia principal. Es una estrella que está llegando al final de su vida y su equilibrio se ha roto. En la actualidad tiene un diámetro de varios cientos de veces el del *Sol*, con lo que en caso de tener planetas ha absorbido algunos de ellos. *Antares* es el corazón del escorpión, y está flanqueada por dos estrellas de magnitud próxima a 3 que equidistan 2° de ella: σ y τ . Formando un triángulo con α y σ , se encuentra el cúmulo globular M4 a 1° por debajo de ambas.

La cabeza del Escorpión está formada por una alineación de tres estrellas al Oeste de *Antares*: β (2,5), δ (2,5) y π (2,9). Las garras se extendían antiguamente hasta la constelación de Libra. La magnífica cola está formada por una alineación de estrellas de segunda y tercera magnitud que se extiende hacia el Sureste para luego girar hacia el Norte. Culmina en el aguijón, una llamativa pareja de estrellas separadas medio grado formada por λ (*Shaula*, 1,6) y ν (*Lesath*, 2,7). Siguiendo la recta formada por ambas, 5° al Nordeste, nos encontramos el precioso cúmulo M7. Muchos de sus componentes tienen magnitudes comprendidas entre 6 y 8. 4° al Noroeste de M7 y, menos luminoso que él, tenemos a M6 (el *Cúmulo de la Mariposa*) que, junto con M7 y *Shaula*, forman un triángulo isósceles.

El Escorpión combatió al cazador Orión y lo mató con



su veneno. Los dioses trasladaron al cielo tanto a Orión como a Escorpión aunque, con buen acierto, los situaron en posiciones contrapuestas de manera que nunca más pudieran volver a encontrarse.

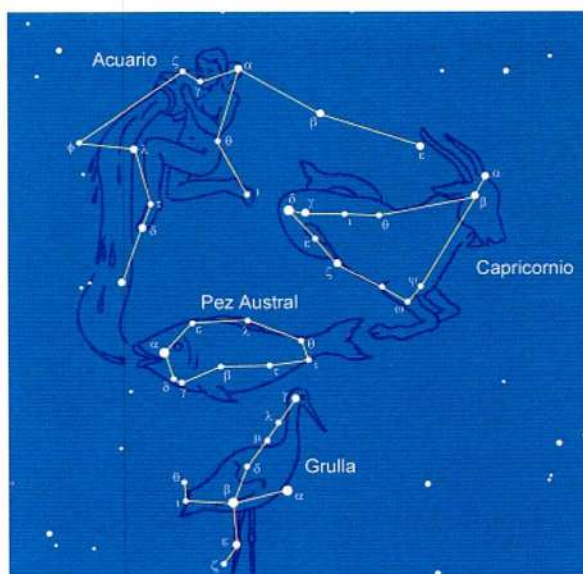
Sagitario

El Sol transita por esta constelación entre el 18 de diciembre y el 19 de enero aproximadamente, así que es una constelación zodiacal típicamente veraniega. Dentro de Sagitario encontramos un asterismo bastante conocido denominado la tetera, está formado por las estrellas τ , σ , ϕ , y ζ que, distribuidas en forma de trapecio, constituirían el asa de la tetera. λ se corresponde con la tapadera, y el triángulo formado por ϵ , δ y γ , con el pico por donde sale el té. Todas ellas tienen magnitud comprendida entre dos y tres. En realidad, la constelación de Sagitario es bastante más extensa y parece envolver a una línea curva de débiles estrellas que forman la Corona Austral (Corona Australis).

La zona de Sagitario es una de las más ricas en objetos de cielo profundo. Esto es normal, pues en su dirección se encuentra la zona central y más densa de nuestra galaxia. Sin embargo, no es posible apreciar el resplandor del núcleo en sí, pues se encuentra oculto por grandes nubes oscuras de polvo.

Entre estos objetos destaca a simple vista o con prismáticos la Nebulosa de la Laguna (M8). La forma de encontrarla es fácil: siguiendo la suave curva marcada por los componentes del asa ζ y ϕ con λ llegaremos hasta M8.1,5° por encima (hacia el Norte) de ella tenemos otra más débil, llamada la Trífida M20. Siguiendo el camino hacia el Escudo, podemos apreciar gran cantidad de objetos. Todavía en Sagitario, pero haciendo frontera con el Escudo y la Serpiente, se halla la Nebulosa Omega (M17). 2,5° más al Norte, ya en Serpiente, se encuentra la Nebulosa del Águila (M16). 2,5° al Sur de M17 tenemos un cúmulo abierto bastante amplio M24, y al este suyo otro, M25. Un poco al Nordeste de λ está el magnífico cúmulo globular M22. Es en definitiva una zona riquísima en objetos de cielo profundo que merece que hagamos un recorrido detallado, localizándolos con la ayuda de un mapa celeste.

Sagitario era un centauro. Según la tradición, esta mítica criatura, mitad hombre, mitad caballo, fue el inventor de la flecha. En la mitología griega se le identifica con el sabio centauro Quirón. Parece ser que Artemisa (la Diana romana), diosa de la caza, envió al Escorpión para matar a Orión. Para vengarlo, Quirón, apuntando al corazón del Escorpión (Antares), lo mató con una flecha.



Capricornio

El Sol entra en Capricornio el 20 de enero y sale tras haberlo recorrido el 17 de febrero.

Conforme nos vamos separando de la zona central de la Galaxia se va recuperando la *normalidad*. La densidad de estrellas y materia interestelar va siendo menor, al igual que disminuyen las nebulosas de emisión y, por consiguiente, los cúmulos abiertos.

Situada al Este de Sagitario, Capricornio es una constelación más bien amplia cuya forma no es difícil de identificar. Su aspecto recuerda al de una vela latina y no tiene estrellas muy brillantes. Sus magnitudes oscilan entre 3 y 4,5.

Al igual que en alguna otra constelación, la estrella α Capricorni no es la más brillante. Se trata de una doble óptica, esto es, que no hay relación entre una y otra a pesar de que las vemos separadas tan sólo por un arco de seis minutos. La apariencia de proximidad que ofrecen se debe a que se encuentran casi en línea con la Tierra. Además, la más lejana tiene, a su vez, mucho más brillo intrínseco que la más próxima a nosotros. Así parece de similar magnitud.

Según la mitología griega, se trataba de Pan, el protector de los cazadores y de los pastores. Éste se había transformado en un animal, mitad cabra, mitad pez, para poder sumergirse en el río Nilo al objeto de salvarse de la cólera del gigante Tifón. Muy probablemente esta denominación se remonta al hecho de que hace 2000 años el periodo de lluvias en el Mediterráneo oriental empezaba precisamente cuando el Sol entraba en esta constelación. También durante los dos meses siguientes reinaba todavía el tiempo llu-



vioso. Por ello, las dos constelaciones zodiacales que le siguen también recibieron nombres que recuerdan a elementos, húmedos: Acuario y Piscis.

Acuario

Entra el Sol en Acuario el 18 de febrero y sale el 12 de marzo.

La mejor forma de localizar esta constelación es buscando un asterismo perteneciente a ella situado entre la punta de Capricornio y el cuadrado de Pegaso. El asterismo en cuestión está constituido por cuatro estrellas. Tres de ellas forman un triángulito casi equilátero de 3° de lado en cuyo centro hay una cuarta estrella. La distribución de este conjunto recuerda mucho al logotipo de una famosa marca de automóviles.

α Aquarii está 4° al Este del triángulito y su magnitud es 3,0; 10° al Suroeste de ella está β Aquarii, de magnitud y color muy parecidos a los de α . Al Suroeste de Acuario, vemos α Capricorni. Tomando como referencia α y β Aquarii y desplazándonos a partir de ellas hacia el Noroeste en dirección a Delfín, nos encontramos a mitad de camino con un trapezoide. Se trata de la pequeña constelación del Caballito (Equuleus). Las magnitudes de sus componentes están comprendidas entre 4 y 5.

Según los antiguos griegos, Acuario representaba a *Deucalión*, mítico personaje, único superviviente junto a su mujer *Pirra* del diluvio provocado por Zeus para barrer la Tierra de las culpas del género humano. El padre de los dioses les ordenó entonces que limpiaran el monte Parnaso de piedras: de las que lanzó *Deucalión* se originaron los hombres, y de las que lanzó *Pirra* nacieron las mujeres. Para los aztecas, representaba al dios *Quetzalcoatl*, quien llegó hasta allí atravesando los mares orientales.

El Sol se desplazaba por esta constelación del zodiaco durante la estación de las lluvias en los países del Mediterráneo Oriental y en los del Próximo Oriente, por lo que se le hacía responsable del mal tiempo.

El Pez Austral y la Grulla

Desde Canarias podemos observar por debajo de Acuario algunas constelaciones difícilmente visibles desde latitudes más septentrionales.

La constelación del Pez Austral (Piscis Austrinus) está situada en una declinación próxima a -30°. Se localiza con facilidad 45° al Sur del cuadrado de Pegaso. En ella destaca su estrella principal, Fomalhaut, con magnitud 1,2.

La Grulla está al Sur del Pez Austral. Sus dos estrellas más brillantes, α y β Gruis (1,7 y 2,1), tienen declinaciones muy bajas, -47° en ambos casos. β , claramente naranja, está seis grados al Este de α . δ^1 y δ^2 Gruis no forman un sistema doble aunque lo parezca. Desde la Tierra las vemos con una separación angular de 16' de arco y ambas tienen magnitud en torno a 4. Algo parecido podemos decir de μ^1 y de μ^2 . En este caso las magnitudes están en torno a 5. γ Gruis (3,0), la más septentrional de las componentes de la Grulla limita con el Pez Austral. Es ésta una constelación en la que no resulta difícil ver un ave zancuda corriendo pavorosamente con el largo cuello inclinado en el sentido de su desplazamiento.

Alfabeto griego

α	Alfa	ξ	Xi
β	Beta	$\omicron$	Omicron
γ	Gamma	π	Pi
δ	Delta	ρ	Rho
ϵ	Epsilon	σ	Sigma
ζ	Zeta	τ	Tau
η	Eta	υ	Upsilon
θ	Theta	ϕ	Phi
ι	Iota	χ	Chi
κ	Kappa	ψ	Psi
λ	Lambda	ω	Omega
μ	Mu		



La Astronomía y las culturas aborígenes canarias

[...] i dicen que llamaban a los Majos que eran los spiritus de sus antepasados que andaban por los mares i dicen que los veían en forma de nuuecitas a las orillas de el mar, los días maiores del año, quando hacían grandes fiestas..., i veíanlos a la madrugada el día de el maior apartamento del sol en el signo de Cancer [...]

De esta forma tan singular se expresa Gomes Escudero, hacia el año 1520, cuando habla de los aborígenes de las islas de Fuerteventura y Lanzarote. El cronista proporciona una referencia a posibles observaciones astronómicas —creemos que las nubecitas remiten a cuerpos celestes— en un momento clave del año como es el del solsticio de verano.

Casi todas las viejas crónicas de la conquista y las primeras historias del Archipiélago, estudiadas también por los arqueólogos Antonio Tejera y José Juan Jiménez y por el antropólogo José Barrios, tratan de los antiguos cultos astrales y también de los calendarios, que nos recuerdan a los ya conocidos para otros pueblos del Mediterráneo. Así, el historiador teldense Tomás Arias Marín de Cubas en su crónica de 1694 escribía que los aborígenes

[...] contaban su año, llamado Acano, por las lunaciones de 29 soles desde el día que aparecía nueva, empesaban por el estío, quando el Sol entra en Cancro a 21 de junio en adelante, la primera conjunción, y por 9 días continuos hazian grandes vailles y convites, y casamientos haviendo cojido sus sementeras[...]

Entre otros cronistas, Sedeño, o quizá su comentarista, nos relata que

[...]contaban el año por 12 meses, i el mes por lunas, i el día por soles, i la semana por 7 soles. Llamaban al año Achano. Acababan su año a el fin del quarto mes: esto es, su año comensaba por el Equinoccio de la primavera, i al quarto mes que era quando habían acavado la sementera, que era por fines de junio, hacían grandes fiestas por nueve días continuos, [...]

De nuevo la referencia a finales de junio y al solsticio, aquí representado por el *quarto mes* medido a partir del equinoccio, aunque la novedad ahora estriba precisamente en este último. Creemos que la fecha de origen de los antiguos calendarios romano y púnico fue adoptada por los Números y Mauros y, por extensión, por otros pueblos paleobereberes del Norte de África, incluidos los antepasados de los aborígenes canarios. Nuestra hipótesis es que quizá trajeron consigo al colonizar las Islas este concepto, muy difícil de desarrollar sin un conocimiento astronómico altamente evolucionado. Pero ¿cuán evolucionado era ese conocimiento?

Los astros y los aborígenes

La verdad es que resulta muy difícil explicar en unas pocas páginas cuál era el conocimiento que de los astros tenían los aborígenes. Por ello, vamos a tratar de sintetizar y estudiar, en cada caso, los objetos celestes que son visibles a simple vista.

El Sol

Las crónicas más antiguas se muestran claras al coincidir en que el Sol era una de las divinidades más importantes de los aborígenes canarios. Así, el geógrafo árabe Ibn Jaldun nos dice hacia 1349 que *[...] los aborígenes de Canaria adoraban al Sol naciente, sin conocer otro culto [...]* Veinte años más tarde, el Papa Urbano VI en su Bula *Ad Hoc Semper* afirmaba que *[...] en Canaria y en otras islas adyacentes [...], son adoradores del Sol y de la Luna ...*

En fechas ya posteriores a la conquista, podemos leer, respecto de los guanches, que *[...] su juramento era por el Sol, e le llamaban Mageb [...]* (Sedeño, 1505). Este nombre, transcrito otras veces Magec, parece un epíteto del Sol que debió recibir otros nombres, entre los que el de Achamán es uno de los más conocidos. Por otra parte, según hemos visto en los párrafos anteriores, los movimientos solares debieron observarse y se usaron como jalones del calendario en la mayoría de las Islas.



Los primeros rayos del sol equinoccial iluminan el tumpo del rey de la necrópolis de Arteara (Gran Canaria). Esta es una confirmación arqueoastronómica de una antigua tradición etnográfica del lugar.

La Luna

Las referencias a la Luna son menos explícitas que en el caso del Sol y si bien los antiguos benauares —habitantes de La Palma— *[...] tenían gran cuenta con los días,*

por las lunas, a quien tenían en gran veneración [...], según nos informa el historiador Abreu Galindo, en su crónica de 1592, desconocemos qué nombre podían darle. La Luna, en el Norte de África berberófona, recibe el nombre de Eor, Ayur o Iru, que es masculino, por lo que nombres de divinidades —o demonios— aborígenes como Eoranzán, Iruen, Achorón o Acorán podrían estar enmascarando el nombre de esa otra divinidad importante que nos refieren las crónicas.

Lo que sí parece cierto es que la Luna era empleada como medidor del tiempo, tal como nos confirma la crónica anterior. Algunas lunas —o meses— eran especialmente importantes como, por ejemplo, el mes de agosto en Tenerife, en que los guanches [...] *hacían sus fiestas como los canarios a el fin de la era, o año empezando en la luna de agosto llamado Beñasmer* [...] (Marín de Cubas, 1694). También parece que había festividades especiales que venían marcadas por las fases de la Luna, ya que en la isla de La Palma, [...] *en cada termino de los referidos havia un montón de piedras solas, y en ciertos días diputados de la Luna venían a el todos los vecinos de la comarca* [...], según nos refiere Marín de Cubas en 1694.

Las Estrellas

Estudiar las estrellas desde el punto de vista de la astronomía antropológica siempre resulta un problema al existir, en teoría, tantas estrellas. Sin embargo, no todas tienen la misma importancia y así parece que, según nos cuenta José de Sosa en 1678, los antiguos canarios [...] *gobernabanse por el Sol de día, y de noche por algunas estrellas, según que tenían experiencia de cuando salían unas, y otras se ponían, o a la prima, o a la medianoche, o a la madrugada* [...]

El problema estriba en conocer qué estrellas eran las observadas en esos momentos cruciales y, salvo una excepción que veremos más adelante, los textos no mencionan ninguna estrella. Por eso, decidimos realizar un estudio etnoastronómico de los conocimientos que del cielo tiene el campesinado canario actual. Los resultados obtenidos con respecto a las estrellas se resume en la tabla siguiente, donde ofrecemos una relación de los objetos astronómicos conocidos, los nombres que reciben y el porcentaje de entrevistados, de un total de 36, que los conocían (ver tabla).

Según se aprecia, sólo tres estrellas o asterismos son conocidos por más del 50% de nuestros interlocutores: Sirio, el Cinturón de Orión y las Pléyades, llamadas normalmente el Gañán, el Arado y las Cabrillas o el Siete. Éstas podrían haber sido las estrellas por las que se guiaban los aborígenes y, de hecho, resulta extremadamente curioso que la única mención precisa de una

Cuerpo celeste	Nombres	%
Sol	Sol	100
Luna	Luna	100
Venus	* Venus, Labradora, Lucero,	100
Pléyades	Las Cabrillas o El Siete Estrellas	97
Cinto y/o Espada de Orión	El Arado o la Higada	89
Venus a Levante	Lucero,	83
Venus a Poniente	* Venus, Labradora,	83
Vía Láctea	Camino de Santiago	67
El mismo Venus a E y W	El Venus	50
Sirio	Gañán(era), Guardia, Lucero, ...	50
Osa Mayor	El Carro o la Osa Mayor	22
Híades	Arado, Yugo o El 7 Estrellas	14
Estrella Polar	Estrella del Norte	14
M42 (δ q Ori) o Saiph	La Macera	8
Lluvia de Estrellas	Baile de Estrellas	8
Júpiter	Úpito o Júpiter	8
Canopo	* del Sur, ¿Gañanera ?	8
σ Orionis	La Telera	5
Osa Menor	Osa Menor	5
Cástor y Póllux	¿Las Dos Hermanas?	5
Betelyeuse y Riyel	La Yunta	5
Mercurio	Lucerito del Día	5
Marte	* de la Medianoche, Marte	5
Aldebarán	El Pastor	3
Mizar & Alcor	Ojitos de Santa Lucía	3
Corona Boreal	¿Rosario de la Aurora ?	3

estrella, ofrecida por Marín de Cubas en su historia, haga referencia precisamente a una de ellas, Sirio. Pues los antiguos canarios [...] *parece que adoraban a el fuego; a el sol y a la luna y a la estrella de los caniculares de onde empesaban el año con grandes fiestas, aun entre enemigos* [...], de donde se deduce que presumiblemente debieron utilizar las estrellas para elaborar calendarios.



Cueva de las Estrellas de Rosiana (Gran Canaria), un bello ejemplo de inspiración astronómica en el arte de los aborígenes canarios.

Los Planetas

La única referencia cierta a los planetas que encontramos nos la ofrece el navegante italiano Alvise di Cada-



mosto, quien en 1450, refiriéndose a las islas realengas –Tenerife, La Palma y Gran Canaria–, aún sin conquistar, nos comenta que [...] *no poseen ninguna fe, adorando, por el contrario, algunos el Sol, otros la Luna y otros planetas, teniendo nueve formas de idolatría.*

No sabemos a qué planeta pudiera referirse, por lo que vamos a intentar obtener información nuevamente de nuestras fuentes etnográficas. En esta ocasión, son aún más explícitas al reconocer a Venus como uno de los astros más importantes del cielo, al mismo nivel que el Sol y la Luna, y muy por delante de cualquier otro planeta –el siguiente, Júpiter, es reconocido sólo por un 8% de nuestros interlocutores–.

Un hecho sugerente con respecto a Venus es que un 70% de nuestros informantes afirmaban que esta “estrella” era portadora de lluvias cuando aparecía de una forma especial como estrella de la tarde. Esta circunstancia nos recuerda, con las debidas reservas, el papel desempeñado por el Lucero Vespertino en la Antigüedad como estrella de la diosa de la fertilidad –Astarté, Afrodita o Venus– que, entre otras virtudes se le atribuía la de propiciar la llegada de las lluvias. En este sentido, nos resulta curioso que el padre Espinosa, al escribir en 1590 sobre de la Virgen de la Candelaria, en Tenerife, nos diga que [...] *si la fe no les enseñara la Candelaria ser madre de Dios, y no Dios, la confesarán a ella y tuvieran por tal [...]*; discurso repetido un siglo más tarde por Marín de Cubas quien afirma que [...] *adoraban por cosa celestial, y suprema deidad a la Virgen de Candelaria [...]* En nuestra opinión, al menos uno de los planetas al que adoraban los aborígenes debió ser Venus en el que, quizás, reconocieran a una de sus diosas más importantes, asociada a la fertilidad y a la llegada de las lluvias.

El Axis Mundi

Queremos hacer un último comentario referente a la posible existencia, entre los aborígenes, del concepto universal de Axis Mundi. Éste se representaba unas veces a través de una divinidad sustentadora de la bóveda celeste, que en el caso particular de Tenerife [...] *llamaban Ach-Guayaxerax Achoron Achaman, que quiere decir sustentador del cielo y tierra [...]* –Abreu Galindo, 1592–. Otras veces a través de montañas singulares, si hemos de creer la hipótesis planteada por Antonio Tejera, quien sugiere que el Teide, en Tenerife, o el Roque Idefe, en La Palma, podrían haber desempeñado esta función.

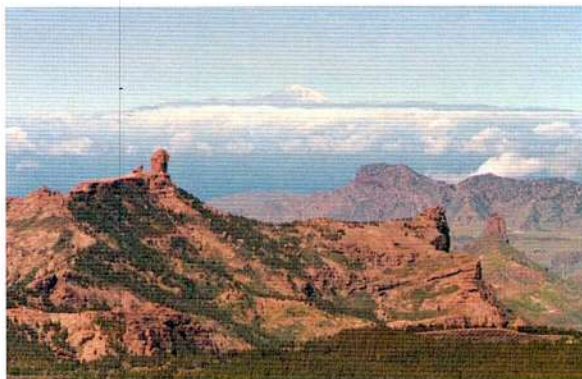
Estudios arqueoastronómicos

Con el fin de verificar *in situ*, las informaciones ofrecidas por las crónicas, un equipo interdisciplinar de

investigadores, integrado, entre otros, por Antonio Aparicio, César Esteban, Antonio Tejera, Víctor Febles, Oswaldo González, M^a Antonia Perera, Margarita Sanz de Lara, Rosa Schlueter y el autor de estas páginas, ha venido desarrollando, a lo largo de la última década, un estudio de campo arqueoastronómico que nos ha llevado a trabajar en más de 130 yacimientos arqueológicos prehispánicos de Canarias. Resulta del todo imposible dar una descripción detallada de todos los hallazgos por lo que vamos a hacer una breve descripción de los más significativos para cada Isla, remitiendo al lector especialmente interesado a la bibliografía que ofrecemos al final de este apartado.

Gran Canaria

Gran Canaria es el paradigma astronómico del Archipiélago Canario. Hemos encontrado evidencias que indican la observación del solsticio de verano en Cuatro Puertas, Gáldar y Castilleje de Tababales, entre otros, que confirman lo mencionado en las crónicas. Los marcadores equinocciales de Bentaiga, Arteara o Ansíte confirman también que el equinoccio debió ser conocido y observado por los antiguos canarios. También hemos encontrado indicios de la importancia del solsticio de invierno –La Guancha– o de la observación de algunas lunas singulares –Roques Bentaiga y Nublo–.



El Roque Nublo, en primer plano, con el Roque Bentaiga a su derecha y el Teide nevado, visible en lontananza. Un hermoso paisaje con importantes connotaciones arqueoastronómicas y arqueológicas.

Por otra parte, el arte aborigen, tanto en el caso de las pinturas –Rosiana, Gáldar– como en el de la cerámica –vaso de Agüimes– o de las pintaderas –un gran número de ellas muestran motivos astrales en su diseño–, también nos indican que la observación de los cuerpos celestes constituyó un componente muy importante del acervo cultural de la Isla.



Tenerife

Esta isla ha sido investigada a fondo, probablemente por ser el lugar de residencia de la mayoría de los investigadores que trabajan en esta disciplina pero, sin embargo, no ha proporcionado resultados tan espectaculares como los de Gran Canaria. Se ha trabajado en más de una treintena de yacimientos, descubriéndose un importante marcador solsticial en la Degollada de Yeje, en las cercanías de Masca, e indicios importantes de posibles observaciones solsticiales en varios yacimientos del Valle de San Lorenzo.

Un hecho singular de Tenerife es la omnipresencia del Teide en la mayoría de los santuarios –almogarenes– estudiados. Este hecho podría incidir en la importancia de esta montaña en la cosmovisión de los guanches que mencionamos con anterioridad. Nos enfrentamos entonces a un caso singular de lo que en nuestra disciplina se denomina arqueotopografía –orientación o localización de restos arqueológicos en función del paisaje–. Finalmente, mencionemos que en el Roque de Dos Hermanos hemos hallado indicios de la posible observación de algún fenómeno que se produjese en las cercanías del este geográfico, quizá el propio equinoccio, si bien las pruebas no son determinantes.



Almogaren –santuario rupestre– de la Degollada de Yeje, localizado en el único lugar de Tenerife en que se cruzan las líneas solsticiales que pasan por las cumbres más altas de la Gomera y de La Palma. Obsérvese a la izquierda el supuesto símbolo solar.

Fuerteventura

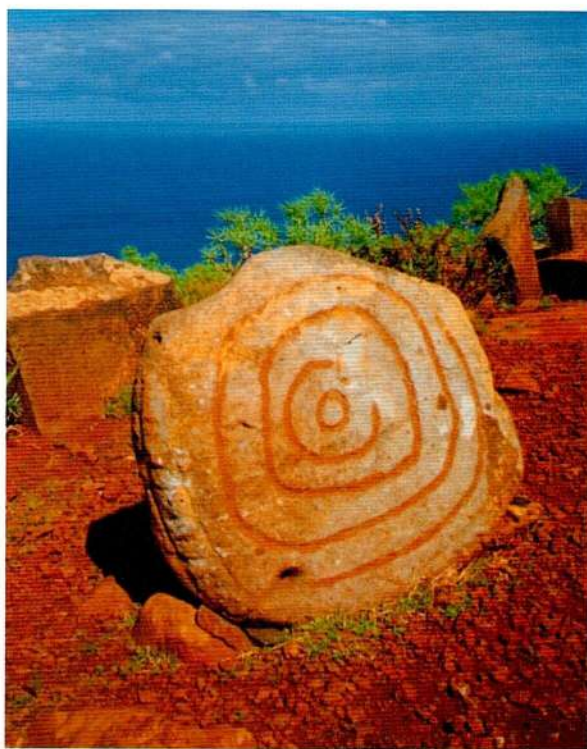
Hablar de arqueoastronomía en Fuerteventura es hablar de la Montaña de Tindaya. Allí, los antiguos majos grabaron en la traquita de la montaña más de 200 huellas de pies –podomorfos– cuya orientación

hemos estudiado, descubriendo que no se orientaban de forma aleatoria sino que existía una cierta predilección por el octante Oeste-Sudoeste del horizonte. En este sector son visibles, en días claros, el pico del Teide y las cumbres de Gran Canaria, en una dirección en que se producen fenómenos astronómicos muy relevantes como la puesta de Sol en el solsticio de invierno, la visibilidad de los crecientes lunares invernales y la visión de Venus cuando se comporta como estrella portadora de lluvias. Por eso creemos enfrentarnos a un caso excepcional de arqueoastronomía y arqueotopografía combinadas.

Hemos investigado varias decenas de yacimientos arqueológicos en esta hermosa Isla. Entre ellos podríamos destacar los gradados podomorfos de Tisajoire –orientados solsticialmente–, los túmulos de Montaña Tirba o los numerosos círculos de piedra –los esquejes de las crónicas– que, en algunos casos, como el del Tablero de los Majos en Jandía, orientado equinoccialmente, han mostrado connotaciones astronómicas.

La Palma

Los grabados de La Palma forman una de las colecciones de arte rupestre al aire libre más hermosas del mundo. Creemos que, al menos en algunos casos, po-



Estela del Calvario (Garafia, La Palma). Posible representación de la Luna llena.



drían ser representaciones astrales ya que, en general, los grabados rupestres suelen ser imágenes plásticas de la mitología de los que los elaboran. Siguiendo este razonamiento, y teniendo en cuenta la importancia de la Luna en La Palma, es de esperar que encontremos representaciones de la misma, o quizá del Sol, en algún lugar como, por ejemplo, las grandes losas de El Calvario, el Lomo de la Fajana o los motivos espirales de Belmaco, Teneguía o la Zarza, entre otros.

Un hecho singular de La Palma es que su cumbre, hoy famosa por las instalaciones telescópicas del Observatorio del Roque de los Muchachos, podría haber sido en tiempos prehispánicos un lugar de observación astronómica, sobre todo de la Luna, con fines rituales o de calendario, si nuestra hipótesis sobre la localización de las aras del Lomo de las Lajitas es correcta.

El Hierro

En el Hierro, hemos realizado breves inspecciones que nos han permitido descubrir un posible interés astronómico en la localización de la estación de grabados de La Caleta. Desde allí se observa la puesta de Sol en el equinoccio sobre el Ventejis, una de las supuestas localizaciones del antiguo Bentaica, lugar de culto de las antiguas divinidades bimbaches, Eoranzan y Moneiba. Si, como se ha propuesto, el primero es un dios lunar, es de esperar que se pueda encontrar algún alineamiento interesante en otros lugares de la isla.

La visión, entre las cumbres del Garajonay y del Teide, de los ortos invernales de la luna llena y de la salida del Sol del solsticio de verano, desde la costa oriental de la isla, podría haber tenido relevancia pero los propios enclaves desde donde esto podría haber sido observado aún están por investigar —Cueva del agua, Los Signos—. Finalmente, los grabados del Julan, que hemos comenzado a estudiar recientemente, nos muestran indicios muy interesantes de información astronómica en los que todavía hay que profundizar.

BIBLIOGRAFÍA:

BARRIOS, J., "Number Systems & calendars of the Berber populations of Grand Canary & Tenerife", *Archaeoastronomy & Ethnoastronomy News*, 26, pp. 1-3, (1997).

BELMONTE, J. A. (editor), *Arqueoastronomía hispana*, Grupo Sirius, Madrid, 1994.

BELMONTE, J. A., ESTEBAN, C., APARICIO, A., TEJERA GASPAS A., GONZÁLEZ, O., "Canarian astronomy before the conquest: the pre-hispanic calendar", *Revista Canaria de Ciencias*, 2, 3 y 4, pp. 133-156, (1994).

BELMONTE, J. A. & SANZ DE LARA, M., "Estrellas, señas y cabañuelas: tiempo astronómico y meteorológico en la cultura tradicional canaria" en *Ciencia y cultura en Canarias*, pp. 141-165, OAMC, Santa Cruz de Tenerife, 1998.

La Gomera

La isla colombina es la gran desconocida en cuanto a lo arqueoastronómico y nuestras investigaciones aún no han ofrecido pruebas fehacientes de observación astronómica, salvo algunos indicios marginales en la Fortaleza de Chipude. Sin embargo, los recientes hallazgos de numerosas estaciones de grabados rupestres y de importantes restos arqueológicos de posibles santuarios —estaciones de cazoletas y canalillos y restos de aras de sacrificio— nos hacen concebir esperanzas de que la situación pueda cambiar en un futuro cercano.

Lanzarote

Lanzarote ha sido investigada a fondo, desde el extremo Sur —el Rubicón— hasta el Malpaís de la Corona. Sin embargo, sólo el importante yacimiento de Zonzamas ha mostrado datos arqueoastronómicos relevantes, tanto en el arte —estela de Zonzamas— como en su localización en el paisaje —posible observación del equinoccio sobre Montaña Tahiche—. Curiosamente, uno de los elementos más controvertidos de la arqueología canaria, las "queseras" de Bravo y Zonzamas, no ha proporcionado ningún resultado que apoye su supuesto uso ritual o religioso. Al igual que en las demás Islas, la investigación sigue abierta y estamos casi seguros, por algunos indicios que hemos obtenido recientemente, que los majos de Lanzarote aun nos tienen reservada alguna que otra sorpresa.

Las pruebas arqueoastronómicas que hemos encontrado en el Archipiélago Canario sirven para contrastar lo dicho por las crónicas y afirmar que la observación del cielo fue una componente importante del patrimonio cultural de los habitantes prehispánicos de estas Islas, guanches, canarios, banauares, gomeros, bimbaches o majos. Animamos a las nuevas generaciones a continuar la investigación.

ESTEBAN, C., SCHLUETER, R., BELMONTE, J. A., GONZÁLEZ O., *Pre-hispanic equinoctial markers in Gran Canaria*. *Archaeoastronomy Sup. J.H.A.* 21, S73-S80. (1996, P. I) and 22, S52-S56. (1997, P. II).

PERERA BETANCORT, M. A., BELMONTE, J. A., ESTEBAN, C., TEJERA GASPAS, A., "Tindaya: un estudio arqueoastronómico de la sociedad prehispánica de Fuerteventura", *Tabona*, IX, 165, (1996).

TEJERA GASPAS, A., *Mitología de las culturas prehistóricas de las Islas Canarias*, Lección Inaugural del Curso 1991-92, Universidad de La Laguna, 1991.

TEJERA GASPAS, A., *La religión de los guanches: ritos, mitos y leyendas*, 2^{da}, ed. Edicolor, Santa Cruz de Tenerife, 1992.



Tablas y Efemérides

En algunas unidades de este libro se hace referencia a determinados sucesos astronómicos. Generalmente se remite al lector al apartado **Tablas y Efemérides** para realizar consultas relativas a sus observaciones. En esta sección se recogen los acontecimientos más relevantes que se pueden predecir, visibles desde Canarias, entre junio de 1999 y diciembre del 2002. Que los disfrutes...

Relación de las estrellas más brillantes hasta magnitud 2,5

A.R.	DEC.	M	Mab	Espectro	Distancia	Constelación	Nombre	Observaciones
00 08 23	29 05 26	2,1	0,3	A0	72	AND	Alpheratz	doble
00 09 11	59 08 59	2,3	1,9	F2	42	CAS	Caph	doble
00 26 17	-42 18 22	2,4	0,2	K0	78	PHE	Ankaa	doble
00 40 30	56 32 15	2,2	-0,9	K0	120	CAS	Schedar	variable
00 43 35	-17 59 12	2,0	0,2	K0	68	CET	Deneb Kaitos	
00 56 42	60 43 00	2,5	-4,6	B0	780	CAS		variable
01 09 44	35 37 14	2,1	-0,4	M0	88	AND	Mirach	doble
01 37 43	-57 14 12	0,5	-1,6	B5	85	ERI	Achernar	
02 03 54	42 19 47	2,2	-0,1	K2	121	AND	Almach	doble
02 07 10	23 27 45	2,0	-0,1	K2	85	ARI	Hamal	
02 31 50	89 15 51	2,0	-4,6	F8	150	UMI	Polaris	variable-doble
03 02 17	04 05 23	2,5	-0,5	M2	130	CET	Menkar	
03 08 10	40 57 21	2,1	-0,2	B8	95	PER	Algol	variable-doble
03 24 19	49 51 40	1,8	-4,6	F5	620	PER	Mirfak	doble
04 35 55	16 30 33	0,9	-0,3	K5	68	TAU	Aldebaran	doble
05 14 32	-08 12 06	0,1	-7,1	B8	910	ORI	Rigel	doble
05 16 41	45 59 53	0,1	0,3	G8	42	AUR	Capella	doble
05 25 08	06 20 59	1,6	-3,6	B2	360	ORI	Bellatrix	doble
05 26 18	28 36 27	1,7	-1,6	B7	130	TAU	Einath	doble
05 32 00	-00 17 57	2,2		O9		ORI	Mintaka	variable-doble
05 36 13	-01 12 07	1,7	-6,2	B0	1210	ORI	Alnilam	doble
05 40 46	-01 56 34	1,8	-5,9	O9	1110	ORI	Alnitak	doble
05 47 45	-09 40 11	2,1	0,4	B0	68	ORI	Saiph	
05 55 10	07 24 26	0,4	-5,6	M2	310	ORI	Betelgeuse	variable-doble
05 59 32	44 56 51	1,8	0,6	A2	72	AUR	Menkalinan	variable-doble
06 22 42	-17 57 22	2,0	-4,8	B1	720	CMA	Mirzam	variable-doble
06 23 57	-52 41 44	-0,7	-8,5	F0	1170	CAR	Canopus	
06 37 43	16 23 57	1,9	0,0	A0	85	GEM	Athena	doble
06 45 09	-16 42 58	-1,5	1,4	A1	9	CMA	Sirius	doble
06 58 38	-28 58 20	1,5	-4,4	B2	490	CMA	Adhara	doble
07 08 23	-26 23 36	1,8	-8,0	F8	3070	CMA	Wezen	
07 24 06	-29 18 10	2,4	-7,0	B5	2480	CMA	Aludra	doble
07 34 36	31 53 18	1,8	1,2	A1	46	GEM	Castor	doble
07 39 18	05 13 30	0,4	2,6	F5	11	CMI	Procyon	doble
07 45 19	28 01 34	1,2	0,2	K0	36	GEM	Pollux	doble
08 03 35	-40 00 12	2,3		O5		PUP		
08 09 32	-47 20 12	1,8		K4		VEL	Suhail	
08 22 31	-59 30 34	1,9	-2,1	K3	200	CAR	Avior	
08 44 42	-54 42 30	2,0	0,6	A2	68	VEL		
09 08 00	-43 25 57	2,2	-4,4	K5	490	VEL		
09 13 12	-69 43 02	1,7	-0,6	A1	85	CAR	Miaplacidus	
09 17 05	-59 16 31	2,3	-4,7	F0	820	CAR	Aspidiske	
09 22 07	-55 00 38	2,5	-3,0	B2	390	VEL		
09 27 35	-08 39 31	2,0	-0,2	K4	85	HYA	Alphard	doble
10 08 21	11 58 02	1,4	-0,6	B7	85	LEO	Regulus	doble
10 19 58	19 50 30	2,2	0,2	K0		LEO	Algieba	doble
11 01 50	56 22 56	2,4	1,2	A1	62	UMA	Merak	
11 03 44	61 45 03	1,8	0,2	K0	75	UMA	Dubhe	doble
11 49 04	14 34 19	2,1	1,7	A3	39	LEO	Denebola	doble



A.R.	DEC.	M	Mab	Espectro	Distancia	Constelación	Nombre	Observaciones
11 53 50	53 41 41	2,4	0,6	A0	75	UMA	Phecda	
12 26 36	-63 05 56	1,4	-3,9	B1	360	CRU	Acrux	doble
12 26 37	-62 05 58	1,9	-3,3	B3	360	CRU		
12 31 10	-57 06 47	1,6	-0,5	M4	88	CRU	Gacrux	doble
12 41 31	-48 57 34	2,2	-0,6	A0	110	CEN		
12 47 43	-59 41 19	1,3	-5,0	B0	420	CRU	Mimosa	variable-doble
12 54 02	55 57 35	1,8	0,4	A0	62	UMA	Alioth	variable
13 23 56	54 55 31	2,3	1,4	A2	59	UMA	Mizar	
13 25 12	-11 09 41	0,9	-3,5	B1	260	VIR	Spica	variable-doble
13 39 53	-53 27 58	2,3	-3,5	B1	490	CEN		
13 47 32	49 18 48	1,9	-1,7	B3	110	UMA	Alkaid	
14 03 49	-60 22 22	0,6	-5,1	B1	460	CEN	Hadar	
14 06 41	-36 22 12	2,1	1,7	K0	46	CEN	Menkent	doble
14 15 40	19 10 57	0,0	-0,2	K2	36	BOO	Arturus	
14 35 30	-42 09 28	2,3	-2,9	B3	360	CEN		
14 39 35	-60 50 13	1,4	5,8	K1	4	CEN		
14 39 37	-60 50 02	0,0	4,4	G2	4	CEN	Rigel Kent	doble
14 41 56	-47 23 17	2,3	-4,4	B1	690	LUP		
14 44 59	27 04 27	2,4	-0,9	K0	150	BOO	Izar	doble
14 50 42	74 09 19	2,1	-0,3	K4	95	UMI	Kochab	doble
15 34 41	26 42 53	2,2	0,6	A0	78	CRB	Alphecca	variable
16 00 20	-22 37 18	2,3	-4,1	B0	550	SCO		
16 29 24	-26 25 55	0,9	-4,7	M1	330	SCO	Antares	variable-doble
16 48 40	-69 01 39	1,9	-0,1	K2	55	TRA	Atria	
16 50 10	-34 17 36	2,3	-0,1	K2	65	SCO		
17 10 23	-15 43 30	2,4	1,4	A2	59	OPH	Sabik	doble
17 33 36	-37 06 14	1,6	-3,0	B1	270	SCO	Shaula	doble
17 34 56	12 33 36	2,1	0,3	A5	62	OPH	Rasalhague	
17 37 19	-42 59 52	1,9	-5,6	F0	910	SCO	Sargas	
17 42 29	-39 01 48	2,4	-3	B2	390	SCO		
17 56 36	51 29 20	2,2	-0,3	K5	100	DRA	Eltanin	doble
18 24 10	-34 23 05	1,8	-0,3	B9	85	SGR	Kaus Austr.	doble
18 36 56	38 47 01	0,0	0,5	A0	26	LYR	Vega	doble
18 55 16	-26 17 48	2,0	-2,0	B3	210	SGR	Nunki	doble
19 50 47	08 52 06	0,8	2,2	A7	17	AQL	Altair	doble
20 22 14	40 15 24	2,2	-4,6	F8	750	CYG	Sadr	doble
20 25 39	-56 44 06	1,9	-2,3	B2	230	PAV	Peacock	doble
20 41 26	45 16 49	1,3	-7,5	A2	1830	CYG	Deneb	doble
20 46 13	33 58 13	2,5	0,2	K0	82	CYG		
21 18 35	62 35 08	2,4	1,9	A7	46	CEP	Alderamin	doble
21 44 11	09 52 30	2,4	-4,4	K2	520	PEG	Enif	doble
22 08 14	-46 57 40	1,8	-1,1	B7	68	GRU	Al Na'ir	doble
22 42 40	-46 53 05	2,1	-2,4	M3	170	GRU		
22 57 39	-29 37 20	1,2	2,0	A3	22	PSA	Fomalhaut	
23 03 46	28 04 58	2,4	-1,4	M2	180	PEG	Scheat	variable-doble
23 04 46	15 12 19	2,5	0,2	B9	100	PEG	Markab	

A.R.: Ascensión Recta, DEC.: Declinación, M: Magnitud visual, Mab: Magnitud absoluta, Espectro: Tipo espectral de la estrella, Distancia: en años luz.

Eclipses de Luna visibles desde Canarias (junio 1999 – diciembre 2002)

Fecha	Comienzo del eclipse penumbral	Comienzo del eclipse parcial	Comienzo del eclipse total	Máximo del eclipse	Final del eclipse total	Final del eclipse parcial	Final del eclipse penumbral	Magnitud
21/01/00	02:03	03:02	04:05	04:44	05:23	06:26	07:24	1,33
09/01/01	17:44	18:43	19:50	20:21	20:52	22:00	22:58	1,20
24/06/02	20:19			21:28			22:36	0,24
20/11/02	23:32			01:47			04:01	0,89



Eclipses de Sol visibles desde Canarias (junio 1999 – diciembre 2002)

Fecha	Comienzo	Máximo	Final	Magnitud
11/08/99	08:36	09:43	10:49	0,33 (parcial)

Conjunciones entre los planetas (Situaciones en que los planetas implicados presentan una aproximación inferior a cinco grados)

	MERCURIO	VENUS	MARTE	JÚPITER	SATURNO
		16/03/2000 (2,1°)	19/05/2000 (1,2°)	09/05/2000 (0,9°)	10/05/2000 (2,2°)
		29/04/2000 (0,4°)	11/08/2000 (0,6°)	16/05/2001 (2,8°)	07/05/2001 (3,6°)
MERCURIO	*****	02/07/2000 (5,0°)	26/07/2002 (0,8°)	17/06/2001 (3,5°)	03/07/2002 (0,8°)
		30/10/2001 (0,6°)	11/10/2002 (2,9°)	13/07/2001 (1,9°)	
		04/11/2001 (0,7°)		21/07/2002 (1,4°)	
		26/01/2002 (4,5°)			
			22/06/2000 (0,3°)	17/05/2000 (0,4°)	18/05/2000 (1,3°)
VENUS		*****	11/05/2002 (0,3°)	06/08/2001 (1,2°)	15/07/2001 (0,8°)
			07/12/2002 (1,6°)	04/06/2002 (1,6°)	07/05/2002 (2,4°)
				06/04/2000 (1,0°)	15/04/2000 (2,3°)
MARTE			*****	04/07/2002 (0,8°)	05/05/2002 (2,2°)
JÚPITER				*****	29/05/2000 (1,2°)
SATURNO					*****

Conjunciones con el Sol de los planetas interiores

Conjunción inferior				Conjunción superior		
	fecha	distancia U.A.	diámetro aparente	fecha	distancia U.A.	diámetro aparente
MERCURIO	26/07/99	0,58	11,6"	08/09/99	1,38	4,9"
	16/11/99	0,68	9,9"	15/01/00	1,43	4,7"
	01/03/00	0,63	10,6"	08/05/00	1,32	5,1"
	06/07/00	0,56	12"	22/08/00	1,36	5,0"
	30/10/00	0,67	10"	25/12/00	1,45	4,6"
	12/02/01	0,64	10,4"	23/04/01	1,33	5,1"
	16/06/01	0,55	12,2"	06/08/01	1,34	5,0"
	14/10/01	0,67	10,1"	04/12/01	1,45	4,6"
	28/01/02	0,66	10,2"	07/04/02	1,33	5,0"
	26/05/02	0,55	12,2"	20/07/02	1,34	5,0"
	27/09/02	0,66	10,2"	13/11/02	1,44	4,7"
VENUS	20/08/99	0,28	58,8"	11/06/00	1,74	9,6"
	30/03/01	0,28	60,0"	14/01/02	1,71	9,7"
	21/10/02	0,27	62,0"			

Comienzo y final del movimiento retrógrado de Marte

comienzo	18/03/1999
final	05/06/1999
comienzo	11/05/2001
final	20/07/2001
comienzo	31/07/2003
final	30/09/2003



Oposiciones y conjunciones con el Sol de los planetas exteriores

	OPOSICIÓN			CONJUNCIÓN		
	fecha	distancia U.A.	diámetro aparente	fecha	distancia U.A.	diámetro aparente
MARTE	24/04/99	0,59	16,0"	01/07/00	2,61	3,6"
	13/06/01	0,45	20,6"	10/08/02	2,67	3,5"
JÚPITER	23/10/99	3,96	49,7"	08/05/00	6,00	32,8"
	28/11/00	4,05	48,6"	14/06/01	6,12	32,2"
	01/01/02	4,19	47,0"	20/07/02	6,26	31,4"
SATURNO	06/11/99	8,20	20,2"	10/05/00	10,16	16,3"
	19/11/00	8,13	20,4"	25/05/01	10,10	16,4"
	03/12/01	8,07	20,5"	09/06/02	10,06	16,5"
	17/12/02	8,04	20,6"			
URANO	08/08/99	18,90	3,7"	07/02/00	20,92	3,3"
	12/08/00	18,94	3,7"	10/02/01	20,95	3,3"
	16/08/01	18,97	3,7"	14/02/02	20,99	3,3"
	20/08/02	19,00	3,7"			
NEPTUNO	25/07/99	29,17	2,3"	24/01/00	31,16	2,2"
	27/07/00	29,16	2,3"	25/01/01	31,15	2,2"
	29/07/01	29,15	2,3"	27/01/02	31,14	2,2"
	01/08/02	29,14	2,3"			

Máximas elongaciones de Mercurio respecto del Sol

Fechas	Separación angular del Sol	Tipo de elongación
29/06/99	25,5°	E
15/08/99	18,8°	W
25/10/99	24,3°	E
04/12/99	20,3°	W
15/02/00	18,1°	E
29/03/00	27,8°	W
10/06/00	24,0°	E
28/07/00	19,7°	W
07/10/00	25,5°	E
15/11/00	19,3°	W
29/01/01	18,4°	E
12/03/01	27,5°	W
23/05/01	22,4°	E
11/07/01	21,1°	W
19/09/01	26,5°	E
30/10/01	18,6°	W
12/01/02	18,9°	E
22/02/02	26,6°	W
04/05/02	21,0°	E
22/06/02	22,7°	W
02/09/02	27,2°	E
13/10/02	18,0°	W
26/12/02	19,9°	E



Fases lunares

Año 1999:

LUNA NUEVA	C. CRECIENTE	LUNA LLENA	C. MENGUANTE
			07/06 04h21min
13/06 19h04min	20/06 18h13min	28/06 21h39min	06/07 11h58min
13/07 02h25min	20/07 09h00min	28/07 11h26min	04/08 17h28min
11/08 11h10min	19/08 01h48min	26/08 23h50min	02/09 22h19min
09/09 22h03min	17/09 20h08min	25/09 10h53min	02/10 04h04min
09/10 11h35min	17/10 15h01min	24/10 21h04min	31/10 12h06min
08/11 03h54min	16/11 09h04min	23/11 07h06min	29/11 23h21min
07/12 22h33min	16/12 00h51min	22/12 17h33min	29/12 14h06min

Año 2000:

LUNA NUEVA	C. CRECIENTE	LUNA LLENA	C. MENGUANTE
06/01 18h15min	14/01 13h35min	21/01 04h42min	28/01 07h59min
05/02 13h05min	12/02 23h22min	19/02 16h28min	27/02 03h57min
06/03 05h19min	13/03 07h00min	20/03 04h45min	28/03 00h24min
04/04 18h15min	11/04 13h32min	18/04 17h42min	26/04 19h33min
04/05 04h14min	10/05 20h02min	18/05 07h35min	26/05 11h57min
02/06 12h16min	09/06 03h31min	16/06 22h28min	25/06 01h02min
01/07 19h22min	08/07 12h54min	16/07 13h57min	24/07 11h04min
31/07 02h27min	07/08 01h03min	15/08 05h15min	22/08 18h52min
29/08 10h21min	05/09 16h29min	13/09 19h39min	21/09 01h30min
27/09 19h54min	05/10 11h00min	13/10 08h56min	20/10 08h02min
27/10 07h59min	04/11 07h27min	11/11 21h17min	18/11 15h27min
25/11 23h13min	04/12 03h56min	11/12 09h05min	18/12 00h44min
25/12 17h24min			

Año 2001:

LUNA NUEVA	C. CRECIENTE	LUNA LLENA	C. MENGUANTE
	02/01 22h33min	09/01 20h26min	16/01 12h37min
24/01 13h09min	01/02 14h03min	08/02 07h13min	15/02 03h26min
23/02 08h23min	03/03 02h04min	09/03 17h24min	16/03 20h48min
25/03 01h24min	01/04 10h50min	08/04 03h23min	15/04 15h33min
23/04 15h28min	30/04 17h09min	07/05 13h54min	15/05 10h13min
23/05 02h48min	29/05 22h11min	06/06 01h41min	14/06 03h31min
21/06 11h59min	28/06 03h21min	05/07 15h05min	13/07 18h48min
20/07 19h46min	27/07 10h10min	04/08 05h57min	12/08 07h56min
19/08 02h56min	25/08 19h56min	02/09 21h45min	10/09 19h01min
17/09 10h28min	24/09 09h31min	02/10 13h51min	10/10 04h21min
16/10 19h24min	24/10 02h58min	01/11 05h43min	08/11 12h23min
15/11 06h41min	22/11 23h21min	30/11 20h51min	07/12 19h54min
14/12 20h49min	22/12 20h58min	30/12 10h42min	

Año 2002:

LUNA NUEVA	C. CRECIENTE	LUNA LLENA	C. MENGUANTE
			06/01 03h57min
13/01 13h31min	21/01 17h49min	28/01 22h52min	04/02 13h36min
12/02 07h43min	20/02 12h04min	27/02 09h18min	06/03 01h27min
14/03 02h05min	22/03 02h30min	28/03 18h26min	04/04 15h31min
12/04 19h23min	20/04 12h50min	27/04 03h01min	04/05 07h18min
12/05 10h47min	19/05 19h43min	26/05 11h52min	03/06 00h07min
10/06 23h48min	18/06 00h30min	24/06 21h43min	02/07 17h22min
10/07 10h27min	17/07 04h48min	24/07 09h08min	01/08 10h25min
08/08 19h16min	15/08 10h14min	22/08 22h30min	31/08 02h33min
07/09 03h11min	13/09 18h09min	21/09 14h00min	29/09 17h04min
06/10 11h18min	13/10 05h34min	21/10 07h22min	29/10 05h29min
04/11 20h36min	11/11 20h53min	20/11 01h36min	27/11 15h48min
04/12 07h36min	11/12 15h50min	19/12 19h12min	27/12 00h32min



Datos físicos y orbitales de la Luna

Radio ecuatorial (km)	1 737,4
Distancia media desde la Tierra (km)	384 400
Periodo orbital (días)	27,3217
Densidad media (gm/cm ³)	3,34
Masa (kg)	7,35E+25
Velocidad orbital media (km/seg)	1,03
Excentricidad orbital	0,05
Inclinación orbital (grados)	5,1
Gravedad superficial en el ecuador (m/seg ²)	1,62
Albedo	0,07
Magnitud (Vo)	12,7
Temperatura media de la superficie (noche)	-153°C
Temperatura media de la superficie (día)	107°C
Temperatura mínima de la superficie	-233°C
Temperatura máxima de la superficie	123°C

Datos orbitales de los planetas

Planeta	Distancia media al Sol en millones de km	Periodo orbital	Excentricidad	Inclinación	Velocidad orbital media en Km/s
Mercurio	57,910	87,969 días	0,2056	7,004	47,87
Venus	108,200	224,701 días	0,0068	3,394	35,02
Tierra	149,600	365,256 días	0,0167	0,000	29,79
Marte	227,940	1 año 321,98 días	0,0934	4,850	24,13
Júpiter	778,330	11 años 317,71 días	0,0483	1,308	13,06
Saturno	1 429,400	29 años 174,50 días	0,0560	2,488	9,66
Urano	2 870,990	84 años 25 días	0,0461	0,774	6,80
Neptuno	4 504,300	164 años 330 días	0,0097	1,774	5,44
Plutón	5 913,520	248 años 280 días	0,2484	17,148	4,74

Datos físicos de los planetas

Planeta	Radio ecuatorial en km	Periodo de rotación en el ecuador	Inclinación del ecuador respecto al plano orbital	Masa en masas terrestres	Densidad (g/cm ³)	Aceleración de la gravedad superficie (Tierra=1)	Albedo (coeficiente de reflexión)
Mercurio	2439,7	58 días 15 horas 0,5 min	0°	0,0553	5,44	0,38	0,1
Venus	6051,8	243 días 00 horas 26,9 min	177° 18'	0,8150	5,24	0,89	0,65
Tierra	6378,14	0 días 23 horas 56,1 min	23° 27'	1,0000	5,516	1,00	0,37
Marte	3397,2	1 días 00 horas 37,4 min	25° 10'	0,1074	3,94	0,38	0,15
Júpiter	71492	0 días 09 horas 55,5 min	3° 07'	317,89	1,36	2,54	0,52
Saturno	60268	0 días 10 horas 39,4 min	26° 45'	95,17	0,69	1,07	0,47
Urano	25559	0 días 17 horas 14,4 min	97° 51'	14,56	1,3	0,8	0,51
Neptuno	24746	0 días 16 horas 6,6 min	29° 30'	17,24	1,9	1,2	0,41
Plutón	1160	6 días 9 horas 17,6 min	122° 31'	0,02	0,6 - 0,8	?	0,3



Lluvias de meteoros más importantes del año

Nombre del enjambre	Periodo de actividad de la lluvia		Día de la máxima actividad de la lluvia	THZ (número de meteoros por hora)
Quadrántidas	01-ene	05-ene	03-ene	110
alfa-Centáuridas	28-ene	21-feb	07-feb	25
Liridas	16-abr	25-abr	22-abr	90
pi-Púpidas	15-abr	28-abr	23-abr	40
eta-Acuáridas	19-abr	28-may	03-may	50
delta-Acuáridas S	08-jul	19-ago	28-jul	20
Perseidas	17-jul	24-ago	12-ago	110
alfa-Aurígidas	24-ago	05-sep	01-sep	15
Oriónidas	02-oct	07-nov	21-oct	25
Tauridas S	15-sep	25-nov	03-nov	10
Tauridas N	13-sep	25-nov	13-nov	8
Leónidas	14-nov	21-nov	18-nov	10
Phoenixidas (Dic)	28-nov	09-dic	06-dic	100
Gerninidas	07-dic	17-dic	14-dic	110
Úrsidas	17-dic	26-dic	22-dic	50

Fechas de los primeros mínimos de Algol, para cada mes

Año 1999	hh:mm	Año 2000	hh:mm	Año 2001	hh:mm	Año 2002	hh:mm
		03/01/00	20:12,8	01/01/01	23:45,9	01/01/02	03:19,1
		01/02/00	12:22,0	02/02/01	12:44,1	01/02/02	16:17,3
		01/03/00	04:31,2	03/03/01	04:53,3	02/03/02	08:26,5
		01/04/00	17:29,3	03/04/01	17:51,5	02/04/02	21:24,7
		03/05/00	06:27,3	02/05/01	10:00,7	01/05/02	13:33,9
03/06/99	14:45,5	03/06/00	19:25,6	02/06/01	22:58,8	02/06/02	02:32,1
01/07/99	11:12,8	02/07/00	11:34,9	01/07/01	15:08,1	03/07/02	15:30,2
01/08/99	00:10,9	03/08/00	00:33,0	02/08/01	04:06,2	01/08/02	07:39,4
02/09/99	13:09,1	03/09/00	13:31,2	02/09/01	17:04,4	01/09/02	20:37,6
01/10/99	05:18,3	02/10/00	05:40,4	01/10/01	09:13,6	03/10/02	09:35,7
01/11/99	18:16,5	02/11/00	18:38,6	01/11/01	22:11,8	01/11/02	01:44,9
03/11/99	07:14,6	01/12/00	10:47,8	03/12/01	11:09,9	02/12/02	14:43,1

(Para calcular los siguientes mínimos hay que sumar al primer dato de cada mes el periodo de variabilidad de la estrella, que tiene un valor de 2 días, 20 horas, 28 minutos y 55 segundos).



Glosario

Absorción. Proceso según el cual determinadas ondas son captadas por la materia.

Afelio. Distancia máxima de la órbita de un astro al centro del Sol.

Agujero Negro. Acumulación de materia de tal concentración que su gravedad hace que ni siquiera la luz pueda escapar. Se produce como etapa final en la vida de una estrella de masa superior a tres veces la del Sol.

Albedo. Fracción de luz solar reflejada por un cuerpo que no posee luz propia.

Altura. Ángulo que forma un astro con el horizonte siguiendo la vertical del astro. Se expresa en grados.

Angström. Unidad de longitud equivalente a 10^{-8} cm, lo que corresponde aproximadamente al tamaño de un átomo.

Año. Tiempo que invierte la Tierra (o un planeta) en completar una vuelta alrededor del Sol.

Año luz. Unidad de longitud usada en astronomía. Es la distancia que recorre la luz en un año. Equivale a 9, 47 billones de kilómetros.

Apogeo. Distancia máxima de la órbita de un cuerpo al centro de la Tierra.

Ascensión recta. Distancia angular existente entre el punto Vernal y la proyección del astro sobre el ecuador celeste, medida en sentido Este. Se expresa en horas, minutos y segundos.

Asterismo. Conjunto de estrellas que vistas desde la Tierra nos sugiere una determinada composición o dibujo. Puede coincidir con una constelación clásica o no.

Asteroide. Objeto rocoso que gira alrededor del Sol con un tamaño demasiado pequeño como para ser considerado planeta. El más grande de todos es Ceres, con unos 1 000 km de diámetro.

Astrología. Pseudociencia que proclama que el acontecer humano está gobernado por las posiciones que ocupan el Sol, la Luna y los planetas en relación a las constelaciones zodiacales.

Átomo. Partícula más pequeña de un elemento químico que a su vez pueda formar parte de un compuesto.

Aurora. Resplandor que se produce en las proximidades de los polos de los planetas debido a la interacción entre el campo magnético planetario y el viento solar. En la Tierra estos fenómenos se producen en la ionosfera, son observables en latitudes altas y reciben el nombre de auroras polares (aurora boreal en el hemisferio Norte y austral en el Sur).

Azimut. Ángulo horizontal de un astro. Se mide desde el punto cardinal Norte hasta la proyección vertical del astro sobre el horizonte siguiendo el sentido de las agujas del reloj.

Big Bang. Gran explosión que se supone dio origen al Universo conocido hace unos 15 000 o 20 000 millones de años.

Bóveda Celeste. Esfera imaginaria donde se representa la posición de las estrellas vistas desde la Tierra.

Brillo. Cantidad de luz que llega a la Tierra desde una fuente, como puede ser una estrella, una galaxia o un planeta.

Calendario. Sistema utilizado para medir el tiempo. Existen distintos tipos de calendarios: Juliano, Gregoriano, etc.

Cenit. Punto a 90° de altura respecto del horizonte astronómico del observador; se encuentra por tanto sobre la vertical de éste.

Ciclo solar. Variación periódica de once años de duración en la actividad solar. Es el tiempo que transcurre entre dos valores máximos de dicha actividad.

Circumpolar. Cada uno de los astros que está situado lo suficientemente cerca del polo celeste, desde la latitud en la que se encuentra el observador, como para que nunca se ponga por debajo del horizonte.

Cometa. Cuerpo celeste helado perteneciente al sistema solar, con alto contenido de materias volátiles que, cuando se acerca al Sol se subliman formando una envoltura (coma) y una cola.

Conjunción. Situación de proximidad aparente que presentan a veces determinados cuerpos celestes (planetas, Sol, Luna). No es una proximidad real, depende de la posición de la Tierra respecto de ellos.

Constelación. Clásicamente se definió como un conjunto de estrellas que visto desde la Tierra nos sugiere una determinada composición o dibujo. En 1927 la Unión Astronómica Internacional amplió este concepto asignando a cada una de las 88 existentes una zona del cielo.

Convección. Proceso por el cual la energía es transferida de un punto a otro en un fluido mediante corrientes que describen un bucle cerrado originado por gradientes térmicos.

Coordenadas. Sistema de referencia que sirve para determinar la posición de un punto respecto a unos ejes o planos.

Corona solar. Es la capa más externa de Sol, se trata de un halo de gas extremadamente energético (millones de grados de temperatura). Puede ser visible a simple vista durante un eclipse.

Cráter. Depresión causada por el impacto de un cuerpo celeste menor (meteorito, cometa, etc.) contra otro mayor (planeta, satélite, etc.) También, esta depresión puede ser causada por un volcán.

Crepúsculo. Periodo de tiempo antes de la aparición o después de la desaparición del Sol por el horizonte en el que no hay oscuridad absoluta.

Cromosfera. Capa del Sol situada justo por encima de la fotosfera. Observable en los eclipses totales de Sol o a través de un filtro Ha. En ella se aprecian las protuberancias.

Cuadrante. Instrumento empleado para calcular la altura de un astro sobre el horizonte.

Culminación. Momento en que un astro alcanza el meridiano del observador, es decir, cuando se encuentra en el punto de mayor altura respecto del horizonte.

Cúmulo. Concentración de estrellas ligadas gravitacionalmente entre sí. Existen principalmente dos tipos: abiertos y cerrados.

Declinación. Distancia angular entre un astro y el

ecuador celeste; se considera positiva hacia el Norte y negativa hacia el Sur.

Día sidéreo. Periodo de tiempo que emplea un astro en realizar una rotación en torno a su eje, tomando como referencia las estrellas de la bóveda celeste. Para la Tierra el día sidéreo dura 23 h 56 m.

Día solar. Periodo de tiempo que emplea un planeta o planetoide en realizar una rotación en torno a su eje tomando como referencia el Sol. En el caso de la Tierra, el día solar dura 24 h.

Diagrama HR. Gráfico en el que se representa la luminosidad de una estrella frente a su temperatura.

Dispersión. Separación de un haz luminoso en diferentes colores (longitudes de onda).

Eclipse. Ocultación parcial o total de un astro al pasar por detrás de otro astro, por ejemplo, un eclipse de Sol; o al pasar por el cono de sombra proyectado por otro, por ejemplo, un eclipse de Luna.

Eclíptica. Línea imaginaria que sigue el Sol en su trayectoria anual por la bóveda celeste. Así, el plano de la eclíptica será el plano formado por la órbita de la Tierra en torno al Sol.

Ecuador celeste. Proyección del ecuador terrestre sobre la bóveda celeste.

Efecto invernadero. Incremento de la temperatura de un planeta debido a que sale menos radiación que la que recibe. En la Tierra está motivado por la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera.

Electrón. Tipo de partícula elemental presente en los átomos. Se considera como la más pequeña cantidad de carga negativa que existe. Su masa es 1/1840 veces menor que la del protón.

Elemento químico. Sustancia pura que no puede descomponerse en otras sustancias más simples.

Elongación. Diferencia en grados entre un astro y el Sol.

Enana blanca. Estrella pequeña y extremadamente caliente situada en el centro de una nebulosa planetaria. Es la etapa final de las estrellas de poca masa (como el Sol) que han agotado su combustible.



Equinoccio. Momento del año en el cual el Sol en su movimiento aparente corta al ecuador celeste. Existen dos equinoccios: el 20-21 de marzo (comienzo de la primavera) y el 22-23 de septiembre (comienzo del otoño). En los equinoccios, la noche y el día duran igual, 12 h.

Esfera celeste. Ver bóveda celeste.

Espectro. Conjunto de líneas y colores (longitudes de onda) resultado de la dispersión de la luz mediante un prisma o una red de difracción.

Estrella variable. Estrella que cambia de luminosidad ya sea por motivos internos (inestabilidad de la estrella) o por motivos externos (sistemas binarios de estrellas).

Expansión del Universo. Teoría cosmológica que nos explica en que estado se encuentra actualmente el Universo, se apoya en la observación de que todos los cúmulos de galaxias se alejan unos de otros.

Fotosfera. Superficie del Sol, es la capa observable del Sol a simple vista (con las debidas precauciones), en ella podemos observar las manchas solares.

Fusión nuclear. Proceso en el que dos núcleos atómicos se unen para formar otro más complejo.

Galaxia. Conjunto formado por cientos de miles de millones de estrellas. Por su forma las podemos clasificar en espirales, elípticas o irregulares.

Gigante roja. Estrella que, después de salir de la secuencia principal, aumenta de tamaño y cambia de color, debido a inestabilidades en su interior causadas por el agotamiento de su combustible.

Gnomon. Varilla vertical cuya finalidad es la de determinar la posición y trayectoria del Sol mediante el seguimiento de la sombra que proyecta.

Granulación. Aspecto que presenta la fotosfera debido a las burbujas de plasma incandescente. Éstas se forman en la capa de convección del Sol.

Grupo local de galaxias. Grupo de galaxias unidas gravitacionalmente que comparten un mismo movimiento en el espacio y en el cual se encuentra la Vía Láctea.

Hemisferio. Cada una de las partes iguales en que se divide la esfera a un lado y a otro de un círculo máximo o ecuador.

Horizonte. Línea que desde un lugar dado sirve de límite entre el cielo y la tierra.

Latitud. Distancia angular entre un punto de la superficie de un astro y su ecuador, medida a lo largo del meridiano del lugar. Se expresan como grados Norte o grados Sur.

Luz. Radiación electromagnética con longitud de onda comprendida entre 4 950 y 7 500 angströms. Estas longitudes de onda son las únicas que percibe el ojo humano.

Magnitud. Medida del brillo de un astro. Cuanto más pequeño es su valor mayor es el brillo del astro.

Magnitud absoluta. Medida del brillo intrínseco de un astro. Brillo que presentaría, medido en la escala de magnitudes, si estuviera situado a una distancia de 10 parsecs.

Mancha solar. Región oscura observable en la fotosfera solar; su temperatura es inferior a la de ésta, razón por la cual se ve oscura.

Marea. Deformación dinámica del aspecto esférico de la superficie de un cuerpo celeste en rotación, debida a la fuerza gravitatoria de otro cuerpo que se encuentre cerca. Movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por la atracción de la Luna y del Sol.

Mediodía. Instante en el que el Sol pasa por el meridiano del lugar.

Mes sidéreo. Tiempo que tarda la Luna en recorrer su órbita completa alrededor de la Tierra, en relación a las estrellas de la bóveda celeste.

Mes sinódico. Tiempo transcurrido entre dos fases iguales de la Luna.

Meridiano celeste. Línea imaginaria que pasa por el cenit y por los polos celestes.

Meteorito. Trozo de materia que ha caído a la Tierra procedente del espacio, sin quemarse del todo a su paso por la atmósfera.



Meteoro. Fenómeno luminoso resultado del calentamiento e ionización del aire producido por la caída de un meteoróide. Es lo que denominamos estrella fugaz.

Meteoróide. Pequeña partícula del espacio interplanetario que no se puede considerar como un asteroide o como un cometa debido a su minúsculo tamaño.

Molécula. Parte más pequeña de una sustancia pura, elemento o compuesto, que puede existir en estado libre.

Nebulosa. Región extensa de gas y polvo interestelar. Existen cuatro tipos principales: nebulosa de absorción, de emisión, de reflexión y planetaria.

Nebulosa de absorción. Nube de polvo y gas que no permite el paso de la luz visible de las estrellas que están tras ella.

Nebulosa de emisión. Nube de gas, principalmente hidrógeno, que ionizado por estrellas próximas emiten un característico color rojo.

Nebulosa planetaria. Halo de gas con forma esférica característico de las estrellas poco masivas que han quemado todo su combustible y se han convertido en una enana blanca.

Nebulosa de reflexión. Nubes de gas que reflejan la luz de estrellas próximas sin llegar a ionizarse.

Neutrón. Tipo de partícula elemental presente en los átomos, desprovista de carga y con una masa similar a la del protón.

Nodo. Puntos de intersección de una órbita con un plano de referencia (generalmente el plano de la eclíptica).

Nube de Oort. Zona rica en materia helada que rodea al Sistema Solar a un año luz de distancia. De esta zona provienen los cometas.

Ocaso. Ocultación de un astro tras el horizonte.

Oposición. Situación en la que un planeta se encuentra alineado con la Tierra y el Sol, en este orden. En esa situación este planeta resulta visible desde la Tierra durante toda la noche.

Orto. Salida de un astro sobre el horizonte.

Paralelo. Círculos menores paralelos al ecuador de un cuerpo celeste y que sirven para determinar la latitud de cualquiera de sus puntos.

Parsec. Unidad de longitud usada en astronomía. Distancia a la que tendríamos que situarnos para apreciar la separación entre la Tierra y el Sol con un ángulo de un segundo de arco. Equivalente a 3,26 años luz.

Perigeo. Distancia mínima de la órbita de un cuerpo al centro de la Tierra.

Perihelio. Distancia mínima de la órbita de un astro al centro del Sol.

Planisferio. Mapa en el que la esfera celeste está representada en un plano. Generalmente, para una latitud determinada y mediante una ventanilla móvil, muestra el cielo visible en cada hora y fecha del año.

Plasma. Masa de gas muy enrarecido e ionizado, en el que los electrones se encuentran separados del resto del átomo.

Polo celeste. Proyección del polo terrestre en la bóveda celeste, es decir, puntos en torno a los que las estrellas aparentemente giran, debido al movimiento de rotación de nuestro planeta.

Precesión. Movimiento de balanceo del eje de rotación terrestre que tiene un periodo de giro de unos 26 000 años.

Protoestrella. Estrella en fase de formación que todavía se encuentra en proceso de acumulación de materia o *acrecimiento* y en la que no se han dado aún reacciones nucleares.

Protón. Tipo de partícula elemental presente en los átomos. Se considera como la más pequeña cantidad de carga eléctrica positiva que existe. Su masa es aproximadamente igual a la unidad de masa atómica (U. M. A.).

Protuberancia. Llamaradas de hidrógeno incandescente que se producen en la cromosfera. Son chorros de gas que escapan del Sol siguiendo las líneas del campo magnético de éste.

Púlsar. Estrella de neutrones que gira a una gran velocidad emitiendo radioondas con periodos comprendidos desde milisegundos hasta algunos segundos.



Punto Vernal. Uno de los dos puntos en donde la eclíptica corta al ecuador celeste; más concretamente, el correspondiente al equinoccio de primavera, el cual se usa como origen de ascensión recta.

Quark. Partícula constituyente de partículas elementales como el protón y el neutrón.

Quásar. Galaxia activa. Su significado literal es fuente casi estelar. Los cuerpos celestes de este tipo se considera que son los más luminosos y distantes del Universo.

Radiación. Emisión de energía desde un cuerpo en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas que se propagan a través del espacio.

Radiación de fondo cósmico. Radiación de microondas que se supone que es el remanente de la radiación originada en el Big Bang.

Reflexión. Cambio de dirección de un rayo de luz al incidir en una superficie.

Refracción. Cambio de dirección de un rayo de luz al pasar de un medio transparente a otro.

Retrógrado. Movimiento de retroceso aparente de un planeta que se aprecia cuando la Tierra lo adelanta.

Secuencia principal. Franja que podemos encontrar en un diagrama HR en la que se localizan todas aquellas estrellas que se encuentran en un periodo estable de su vida, es decir, la mayoría de ellas.

Sextante. Aparato que permite medir la altura de un astro por encima del horizonte.

Sol de media noche. Fenómeno característico de las regiones interiores a los círculos polares, Ártico y Antártico, en las que en determinadas épocas del año el Sol no se pone en todo el día.

Solsticio. Momento del año en el que el Sol en su movimiento aparente se sitúa en el punto de máxima

separación respecto del ecuador celeste. Existen dos solsticios: el 22-23 de junio (comienzo del verano) y el 22-23 de diciembre (comienzo del invierno). En el primero el Sol se sitúa sobre el trópico de Cáncer y en el segundo se sitúa en el de Capricornio.

Supernova. Explosión que ocurre en estrellas masivas después de abandonar la fase de gigante roja. Esta explosión genera un brillo superior al de toda la galaxia que la contiene.

Terminador. Línea que separa la parte iluminada de la parte no iluminada de un planeta, satélite o planetode.

Tiempo sidéreo. Tiempo basado en la rotación de la Tierra respecto de las estrellas y no del Sol.

Tiempo universal. Hora del meridiano de Greenwich. La hora local en Canarias coincide con ésta durante el invierno, para obtener el tiempo universal en las Islas durante el verano debemos restar una hora a la local.

Trópicos. Paralelos terrestres de latitudes $23,5^\circ$ Norte (trópico de Cáncer) y $23,5^\circ$ Sur (trópico de Capricornio).

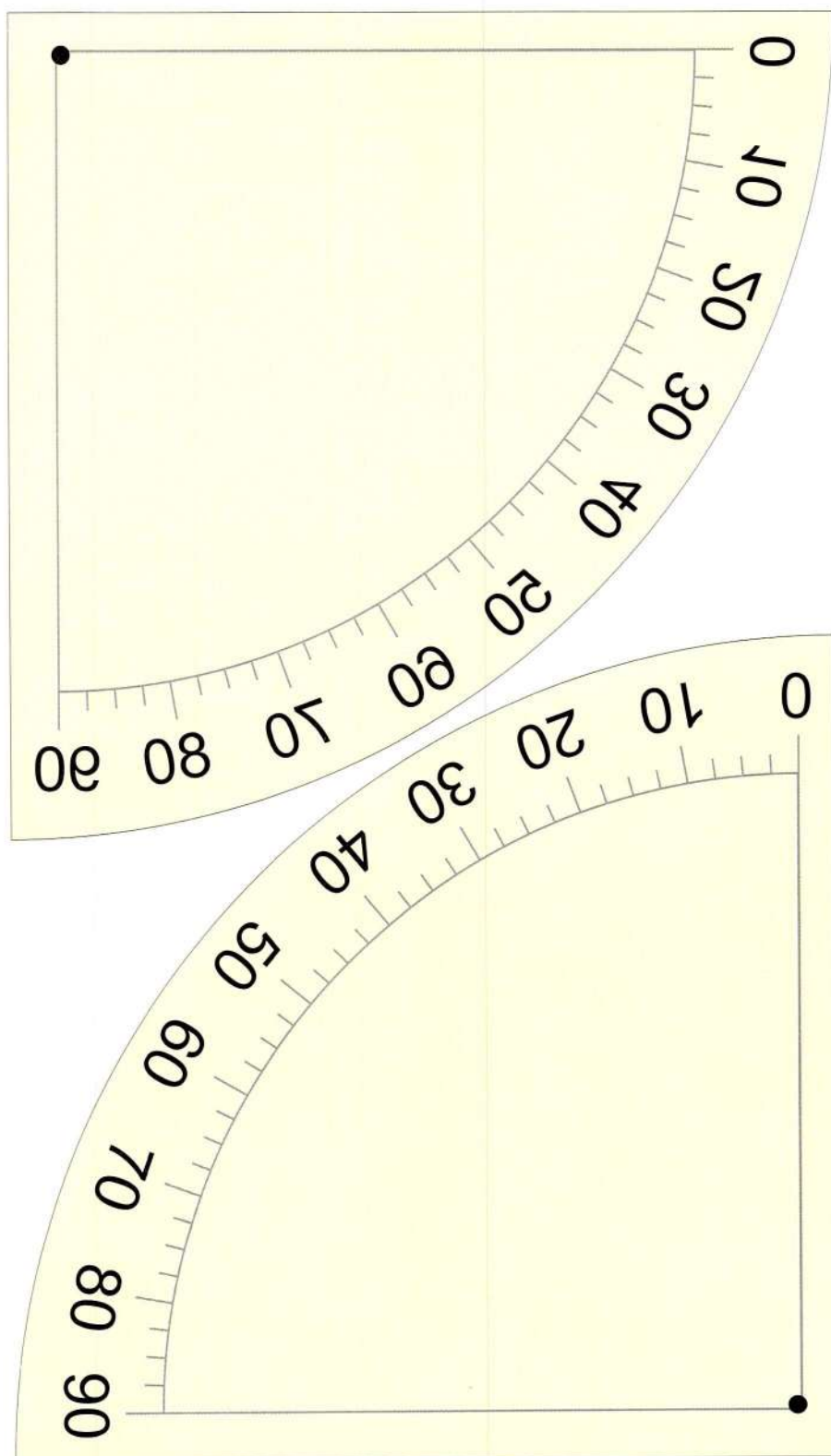
Unidad astronómica. Unidad de longitud utilizada para medir distancias dentro del sistema solar. 1 U.A. es la distancia media entre la Tierra y el Sol. Equivale a ciento cincuenta millones de kilómetros.

Vertical. Perpendicular trazada desde el astro hasta el horizonte.

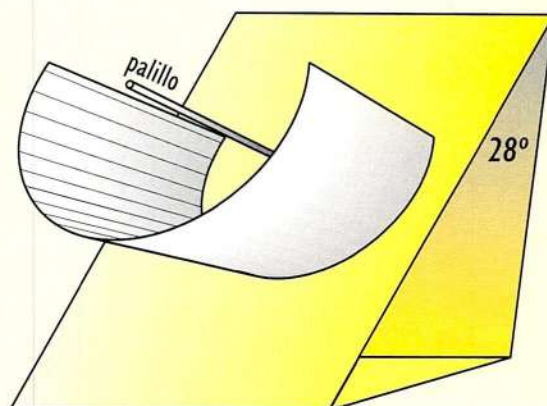
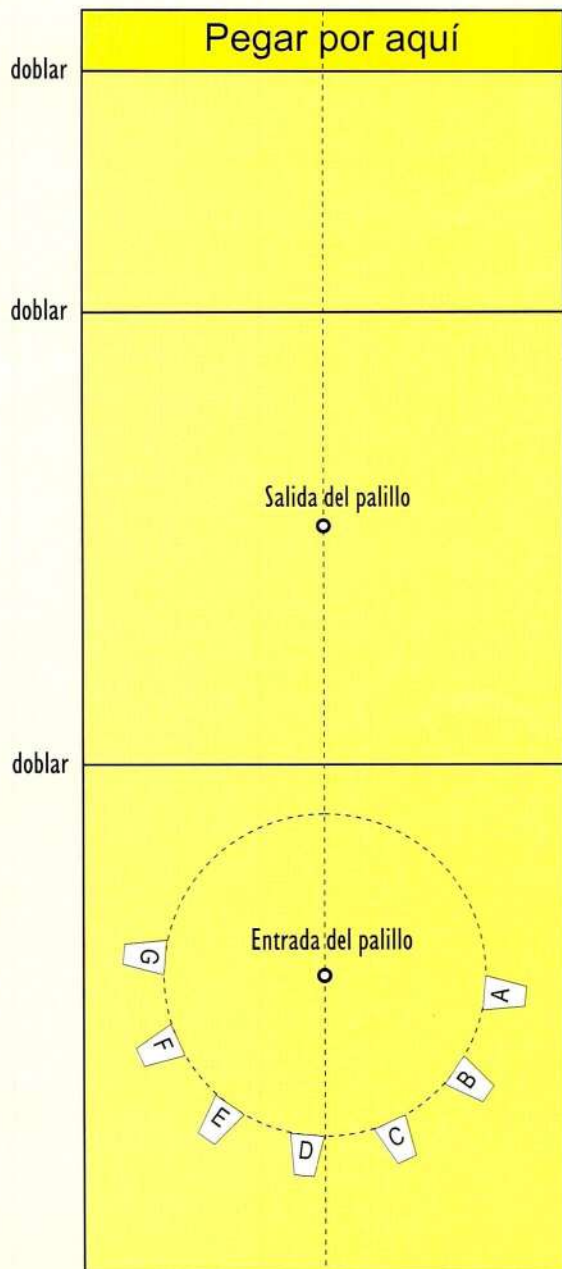
Vía Láctea. Banda luminosa que atraviesa la bóveda celeste formada por millones de estrellas. Nombre que recibe nuestra galaxia.

Zodiaco. Franja de la bóveda celeste por las que se mueven los planetas del sistema solar, la Luna y el Sol, conteniendo por tanto a la eclíptica. También es el lugar donde se encuentran las trece constelaciones zodiacales.

Recortable 1



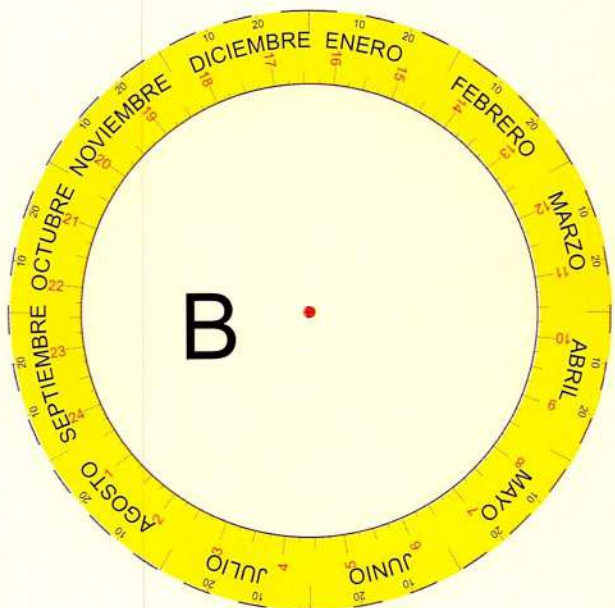
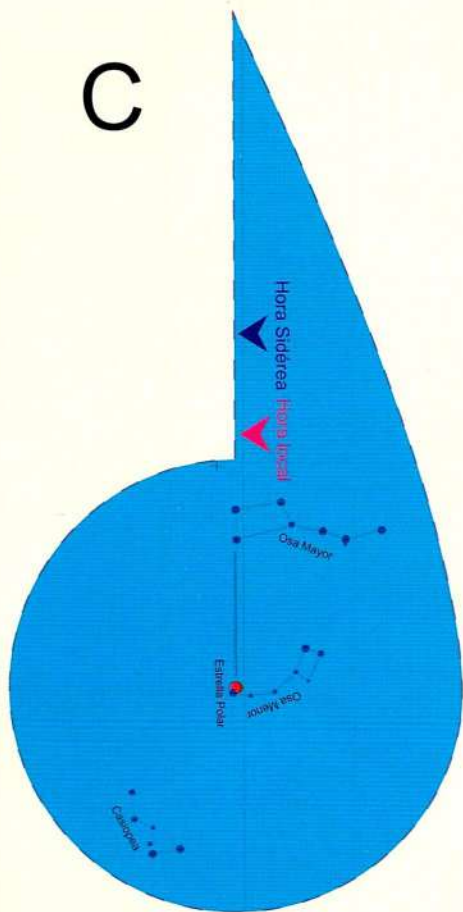
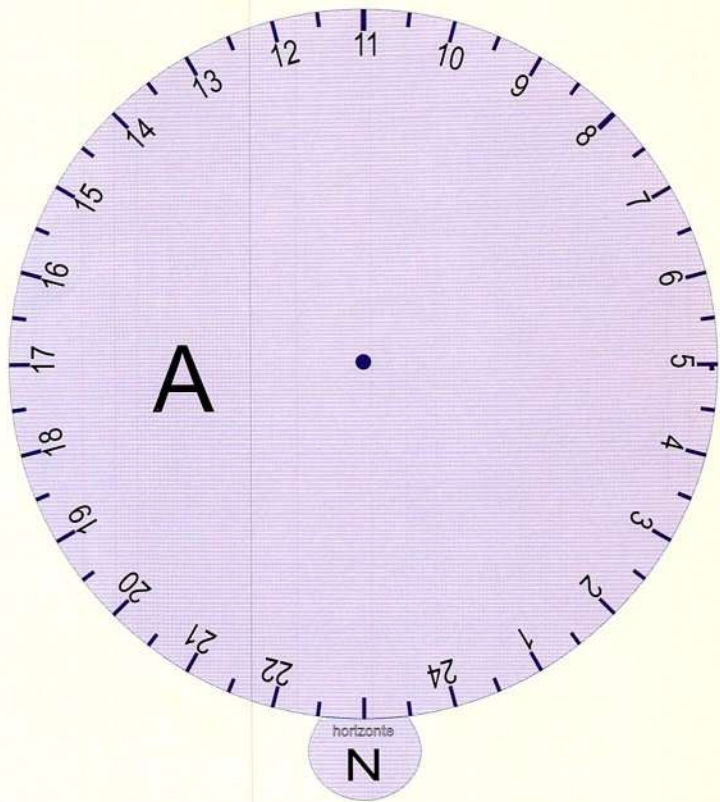
Recortable 2



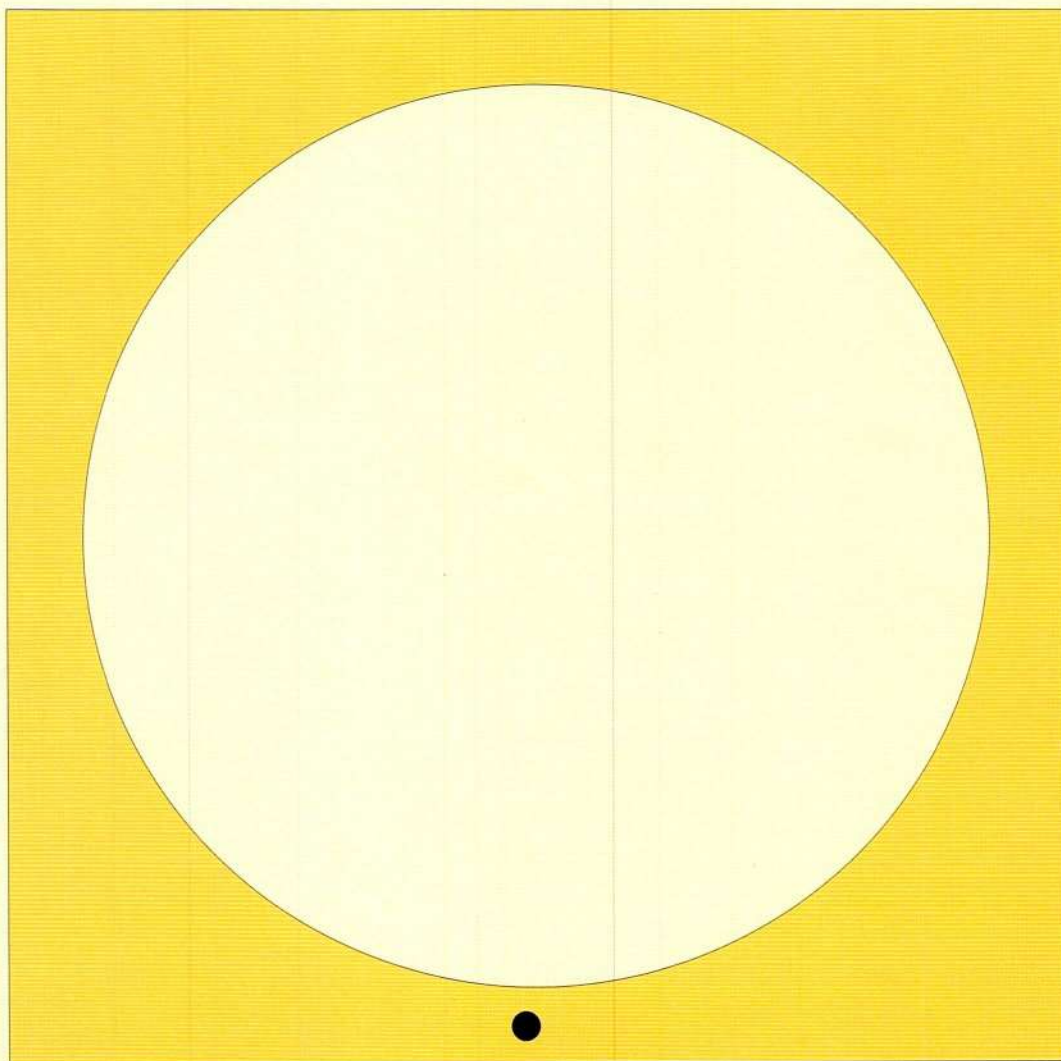
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	B	C	D	E	F	G						



Recortable **3**



Recortable 4





ISBN 84-930259-5-X



9 788493 025953