

SEGUNDO CICLO

E.S.O.



TALLER DE

Astronomía

JORGE BARRIO GÓMEZ DE AGÜERO

MARIO BALLESTERO JADRAQUE

AGUSTÍN LAVIÑA ORUETA

MARIO JADRAQUE ALMOGUERA





"El que sólo
busca
la salida
no entiende
el laberinto,
y, aunque
la encuentre,
saldrá sin
haberlo
entendido."

José Bergamín

■ **Autores:**

Jorge Barrio Gómez de Agüero
Mario Ballesterio Jadraque
Agustín Laviña Orueta
Mario Jadraque Almoguera

■ **Ilustraciones:**

Claroescuro

■ **Dirección y Coordinación Técnica:**

Juan José Ortega del Blanco
Felipe Pérez Blázquez
Francisco Coronel Arroba

■ **Revisión Pedagógica:**

Elías Rodríguez Suárez
Julián Domingo Rincón Mateo

■ **Diseño y maquetación:**

A.D.M. GRÁFICO, S.L.

■ **Imprime:**

Gráficas RM Color, S.L.
C/ Comercio, parcela I, nave 3
22006 HUESCA

Todos los derechos reservados. No está permitida la reimpresión de parte alguna de este libro, ni tampoco su reproducción, ni utilización, en cualquier forma o por cualquier medio, bien sea electrónico, mecánico o de otro tipo, tanto conocido como los que puedan inventarse, incluyendo el fotocopiado y grabación, ni se permite su almacenamiento en un sistema de información y recuperación, sin el permiso anticipado y por escrito del editor.

© **Ediciones del Laberinto, S. L.**

C./ San Telesforo, 15 (posterior)
28017- Madrid
Tel. (91) 327 44 10* (centralita) - Fax (91) 327 44 30

ISBN: 84-87482-27-9

Depósito Legal: HU-300/98

Printed in Spain / Impreso en España.





SEGUNDO CICLO

E.S.O.

TALLER DE Astronomía



I n t r o d

Hace algunos años, cuando se planteó la reforma del sistema educativo, la asignatura de **"Taller de Astronomía"** tomó cuerpo como asignatura optativa. Hasta ese momento tan sólo en algunos centros se había impartido algo parecido en forma de EATP del antiguo B.U.P. Aparte de eso, los demás aficionados y amantes de la astronomía que impartíamos distintas materias aprovechábamos cualquier coyuntura o resquicio que nos permitieran las programaciones de las asignaturas oficiales para meter nuestras particulares "cuñas publicitarias" astronómicas. No es pues extraño que recibiéramos con particular alborozo la posibilidad de impartir netamente "astronomía".

Algunos de los autores recordamos cómo en el transcurso de unas Jornadas para la Enseñanza de la Astronomía celebradas en Alicante en 1993 escuchamos de boca del inestimable compañero uruguayo Gonzalo Vicino que esta asignatura formaba parte del currículum oficial de enseñanzas en Uruguay desde el siglo pasado. Aquello nos llenó de envidia; sana, pero envidia al fin y al cabo. Sin embargo, nos hizo reflexionar sobre el estado de la enseñanza y algunas cosas más. Y no resulta gratificante pensar que nosotros, como habitantes de un planeta, salimos de las escuelas y las universidades sabiendo (o habiendo recibido) muchos contenidos de todo tipo, sabiendo derivar e integrar, conociendo las principales leyes de la Física y de la Química, habiendo oído hablar de Aristóteles, Kant, Descartes, Marx o incluso de Sartre, etc., pero no resistimos preguntas tan terriblemente profundas como las que nos podría hacer cualquiera de nuestros futuros hijos como, por ejemplo, ¿por qué el cielo se ve azul? ¿por qué hoy sólo se ve un trozo de Luna? ¿por qué hoy se ve la Luna por la mañana? ¿por qué en verano el Sol está más alto y anochece más tarde? ¿por qué en invierno los días son más cortos? ¿por qué hay eclipses?

¿cuántos eclipses puede haber en un año? ¿eso que brilla es una estrella o un planeta? ¿por qué el Sol calienta? ¿el Sol existirá siempre? ¿están muy lejos las estrellas? Y un largísimo etcétera de preguntas de este estilo.

No es acaso la astronomía una de las más importantes disciplinas del saber? ¿No nació la Física precisamente para dar una explicación del sistema del mundo? ¿No surgieron las grandes teorías físicas como consecuencia de la observación astronómica? ¿Y qué decir de las seculares disquisiciones filosóficas sobre el lugar de la Tierra en el universo? A decir de nuestros antepasados, éramos el centro de la creación y del universo; después y gracias al sufrimiento de abnegados observadores y pensadores (Bruno, Galileo, Kepler, Copernico, ...), supimos que no éramos el centro, que el centro era el Sol. Hoy sabemos que ni siquiera el Sol es el centro, que nuestra galaxia es una más de las de un cúmulo local como muchos otros y que, en realidad, somos una insignificancia en un vasto universo. No somos el centro de nada y eso nos debe llenar de humildad y de curiosidad para estudiar lo que nos rodea. Sin embargo, aún tenemos fuertes herencias de las creencias de nuestros antepasados; por ejemplo, las religiones son fuertemente antropocéntricas (es decir, centradas en el hombre como criatura central de una creación). Aún hay gente que piensa que el Sol gira a nuestro alrededor. Hay incluso quien dice haber sido "subducido" (¡vaya verbo!) por habitantes de Ganimedes o de no se sabe qué otros exóticos lugares. Los hay que dicen haber vivido experiencias y haber tenido contactos (incluso más allá de la tercera fase) con criaturas cuya fisonomía siempre rememora a una mezcla de bichos terrestres que nos son familiares (¡qué casualidad! ¿no?) Y lo que es peor... ¡salen en televisión para contarnos sus paranoias! (Y les pagan). Si no os habíais fijado hasta ahora, sería bueno que os fijárais en el



U c c i ó n

número de veces que aparecen en televisión adivinos, astrólogos con sus maravillosas cartas astrales sabelotodo, subducidos, contactados, mensajeros de otros mundos, paseantes de Marte, videntes, mediums, exorcistas, expertos en fenómenos paranormales, videntes de ovnis, conocedores de archivos supersecretos de la N.A.S.A. y de no se sabe qué fuerzas aéreas, etc., y lo comparáseis con el número de veces que salen astrónomos de verdad o que emiten documentales de astronomía. El balance es realmente desalentador. Tan desalentador como cuando tenemos que recorrer innumerables quioscos buscando una de las pocas revistas de astronomía que hay en el mercado, cuando sin embargo, proliferan en todos ellos las revistas de temas esotéricos y memeces del estilo. Tan desalentador como cuando le confiesas a alguien tu afición por la astronomía y te suelta aquello de a ver cuándo le lees la mano o el horóscopo.

Todo lo anterior tiene su base y su caldo de cultivo en la ingenuidad que produce el desconocimiento real de las cosas. Os ilustrará al respecto el final de la lectura de la unidad 1 en la que se narra la anécdota de Colón y los indios de la Española. Por ello deberíamos estudiar astronomía de verdad y documentarnos a

fondo para que llegue un día en que nadie pueda vivir bien a costa de la ingenuidad de los demás. Para que llegue un día (ojalá no muy lejano) en que la cadena de TV que saque a alguno de los personajes citados antes se arruine en audiencia. Para que entendamos que es bastante probable que haya formas de vida extraterrestre, pero que eso es muy distinto a que haya platillos volantes y contactos en no se sabe qué fases. Para que tengamos conciencia de nuestra fragilidad como planeta único entre los conocidos en el que se han desarrollado formas de vida y que sepamos respetarlo y preservarlo.

El libro que tienes entre manos pretende ser una herramienta que te haga más culto y, por tanto, menos ingenuo. Una herramienta para que te adentres en las maravillas de nuestro universo y empieces a conocer sus entresijos. Y una herramienta para que seas un poquito más solidario, porque el 0,7 % de lo que has gastado en adquirirlo se destina a campañas de ayuda a los más desfavorecidos.

Por todo ello esperamos que lo disfrutes junto a tus compañeros y de tu profesor o profesora. ■



UNIDAD 1

La **A**stronomía una **c**iencia **o**bservacional

• Presentación	11
• Objetivos específicos	12
• Contenidos	12
• Encuesta inicial	13
• Actividades	14
• Desarrollo conceptual	
Lectura	18
1. ¿De qué trata la Astronomía?	21
2. Las partes de la astronomía	22
3. Los dominios de la Astronomía: de lo ínfimo a lo supremo	24
4. El problema de la distancia	26
5. El cielo que vemos	27
5.1. El color del cielo de día	27
5.2. El cielo del amanecer y del atardecer	32
5.3. El cielo de noche	32
6. Constelaciones y estrellas	36
7. La medida del tiempo	41
8. Cómo orientarnos con las estrellas	43
8.1. A simple vista	43
8.2. Reconocimiento del cielo con el planisferio	47
8.3. Otros usos del planisferio	48
9. Determinación de las distancias angulares	52
10. Taller	53
10.1. El contador de estrellas	53
10.2. El medidor de paralajes	54
10.3. El nocturnlabio o reloj de estrellas	55
11. Apendice: Astrofotografía	58



UNIDAD 2

Un lugar en la Tierra

• Presentación	63
• Objetivos específicos	64
• Contenidos	64
• Encuesta inicial	65
• Actividades	66
• Desarrollo conceptual	
Lectura	70
1. La esfera terrestre	71
1.1. Formas de la Tierra	71
1.2. Tamaño de la Tierra	75
1.3. Orientación en la superficie terrestre: latitud y longitud	77
2. La esfera celeste	78
2.1. Elementos de la esfera celeste	78
2.2. La eclíptica	82
2.3. Coordenadas celestes	83
3. Movimientos de la Tierra	84
3.1. Rotación	84
3.2. Traslación	85
3.3. Precisión y otros movimientos	90
3.4. Otros movimientos	92
4. Medida del tiempo	92
4.1. La Tierra es un reloj	92
4.2. Husos horarios	94
4.3. El calendario	96
5. Taller	99
5.1. El gnomon, un aparato sencillo	99
5.2. La ballestilla	100
5.3. El cuadrante	101
5.4. El plinthon de Ptolomeo	102
5.5. Determinación de la meridiana	103
5.6. Altura del sol. Determinación de la altura de un objeto	104
6. Apéndice: Telescopios ópticos	105
6.1. El objetivo	106
6.2. El ocular	106
6.3. Lentes y espejos	107
6.4. Clases de telescopios	108
6.5. Montajes mecánicos de los telescopios	110



UNIDAD 3

Un lugar en la Vía Láctea

• Presentación	147
• Objetivos específicos	148
• Contenidos	148
• Encuesta inicial	149
• Actividades	150
• Desarrollo conceptual	
Lectura	152
1. De la teoría geocéntrica al modelo heliocéntrico	153
2. El movimiento de los planetas y la gravitación universal	156
3. Origen y evolución del sistema solar	160
4. La estrella de nuestro sistema: el Sol	162
5. Los planetas interiores	165
6. El subsistema Tierra-Luna	169
7. Los planetas exteriores	177
8. Cometas meteoros y meteoritos	187
9. Taller	191
9.1 Aplicaciones de la energía solar	191
9.2 La cara oculta de la Luna	191
9.3 Simulador de eclipses	192
9.4 ¿Cómo calcular el tamaño de la Luna?	193
9.5 Construcción de un mural del Sistema Solar	193
9.6 Modelo de cráteres por impacto de meteoritos	195
9.7. Cálculo de la aceleración de la gravedad con un péndulo	196
9.8. Observación nocturna de Venus, Marte y Júpiter	197
9.9. Movimiento anual de los planetas	198
9.10. Piensa como un astronauta	202
9.11. Resumen del Sistema Solar	203
10. Apéndice: Astronáutica	204

UNIDAD 4

El universo

• Presentación	211
• Objetivos específicos	212
• Contenidos	212
• Encuesta inicial	213
• Actividades	214
• Desarrollo conceptual	216
Lectura	217
1. Las estrellas	218
1.1. Brillo	219
1.2. Denominación	220
1.3. Color	221
1.4. Diagrama Hertzsprung-Russell	222
1.5. Distancia	224
1.6. Tamaño, masa, densidad	226
1.7. Movimiento propio	227
2. Evolución Estelar	227
2.1. Nacimiento de una estrella	228
2.2. Vida de las estrellas	230
2.3. Muerte de las estrellas	236
3. Agrupaciones de estrellas	236
3.1. Estrellas dobles	237
3.2. Cúmulos de estrellas	240
4. Nebulosas	241
4.1. Nebulosas de emisión	241
4.2. Nebulosas de reflexión	241
4.3. Nebulosas oscuras	242
4.4. Nebulosas planetarias	242
5. Galaxias	242
5.1. La Vía Láctea	244
5.2. Tipos de galaxias	247
5.3. Agrupaciones de galaxias	248
5.4. Quásar	249
6. Formación del Universo	249
6.1. El efecto Doppler	250
6.2. Expansión del Universo	252
7. ¿Hay alguien ahí?	253
7.1. Los radiotelescopios	254
7.2. Proyecto Seti	256
7.3. Mensajes en vehículos espaciales	257
7.4. Telescopios espaciales	258
8. Taller	258
8.1. Construcción de un modelo de constelación	259
8.2. Observación nocturna (invierno)	261
8.3. Recortes de prensa	262
9. Apéndice: Cielo y mitología	263
9.1. Los dioses del Olimpo	264
9.2. Constelaciones y mitología	



L Astronomía una ciencia observacional



al

Podríamos afirmar que el primer astrónomo fue el primer ser humano anónimo que alzó su vista hacia el cielo y se preguntó qué eran aquellos puntos que brillaban en lo alto. Seguramente le parecían lejanos, pero no era capaz de hacer una estimación. Otras personas, más adelante, empezaron a observar ciertas regularidades en el movimiento de los astros: todos ellos parecían salir y ocultarse de un modo similar; algunas estrellas estaban presentes en los cielos en las épocas más frías; otras, por el contrario, brillaban en las estaciones más cálidas. Y esto volvía a repetirse exactamente del mismo modo al cabo de un cierto tiempo. Surge así la idea de utilizar estas regularidades para medir el tiempo a través de los calendarios, o para saber cuál era el momento de la siembra, la labranza o la recolecta. Y, por supuesto, aparecieron los primeros pensadores que trataron de dar una explicación física de todos estos hechos: los verdaderos astrónomos.

En la presente unidad trataremos de familiarizarnos con algunas de las nociones básicas de la astronomía (medida de las distancias, de los tiempos) y con el aspecto diurno y nocturno del cielo (el porqué de su coloración, las constelaciones, etc.). Asimismo, aprenderemos a orientarnos a través del cielo por simple observación o con los mapas celestes: los planisferios. Estudiaremos su uso, así como toda la información que podemos extraer de él: a qué hora saldrá el Sol hoy, a qué hora se ocultará, qué planetas podremos observar, etc. Y también hablaremos de la naturaleza ondulatoria de la luz, algo que volverá a aparecer en las siguientes unidades.



Objetivos específicos

1. Aprender las escalas de distancia usadas en astronomía y realizar transformaciones entre ellas.
2. Conocer y comprender las principales utilidades de la astronomía para el cómputo del tiempo y la orientación.
3. Familiarizarse con las constelaciones de nuestro hemisferio y relacionarlas con las correspondientes épocas del año.
4. Vincular los aspectos del cielo con la naturaleza de la luz y su interacción con la atmósfera.
5. Interpretar los datos relativos a las posiciones de los astros que aparecen en las revistas de astronomía.
6. Utilizar con soltura y en toda su extensión el planisferio como herramienta básica.

Contenidos

Conceptos

1. ¿De qué trata la astronomía?
2. Las partes de la astronomía.
3. Los dominios de la astronomía.
4. El problema de la distancia.
5. El cielo que vemos: el color del cielo de día; el cielo del amanecer y del atardecer; el cielo de noche.
6. Constelaciones y estrellas.
7. La medida del tiempo.
8. Cómo orientarnos: a simple vista; con el planisferio celeste; otros usos del planisferio.
9. Determinación de las distancias angulares.
10. Taller y apéndice: astrofotografía.

Procedimientos

1. Explicación de los distintos aspectos que presenta el cielo y conocimiento de otros cielos.
2. Manejo de planisferios, guías y mapas celestes.
3. Localización de cuerpos celestes conociendo su ascensión recta y su declinación.
4. Deducción de ortos y ocasos, visión de planetas y duración de los días por medio del planisferio.
5. Interpretación de datos y efemérides de revistas de astronomía.
6. Orientación nocturna por medio de las estrellas, particularmente de la Polar.
7. Resolución de problemas de distancia y su interpretación espacio-temporal.

Actitudes

1. Despertar interés y curiosidad por la visión del cielo nocturno.
2. Concienciar de la importancia que tienen para la astronomía y, en consecuencia, para el conocimiento humano la preservación del medio ambiente y las políticas energéticas contrarias al derrache de iluminación.
3. Adquirir hábitos de paciencia y método como cualidades necesarias para una buena observación astronómica.
4. Reconocer la influencia de la astronomía en multitud de hechos cotidianos que nos rodean.
5. Adquirir formas de ocio naturales, distintas de las consumistas, como son la acampada al aire libre, alejados de ciudades, con el fin de observar el cielo a simple vista o con utensilios y aficionarse a la astrofotografía.



Encuesta inicial

1. ¿Cuál es tu signo del zodiaco? ¿Sabrías explicar por qué es ese tu signo?
2. ¿Cuántos signos del zodiaco crees que hay?
3. ¿Crees en la influencia de los astros y las constelaciones a la hora de determinar nuestros comportamientos?
4. ¿Crees en los horóscopos? ¿Por qué?
5. ¿Es lo mismo "astrología" que "astronomía"? Explícalo.
6. ¿Qué son las constelaciones? Cita todas las que conozcas.
7. ¿En qué constelación se encuentra la estrella Polar?
8. La estrella Polar nos orienta hacia...
 - ☐ el Sur
 - ☐ el Norte
 - ☐ el Este
 - ☐ el Oeste
9. ¿Crees que las estrellas visibles a simple vista se encuentran a distancias parecidas de la Tierra?
10. ¿Por qué es azul el color del cielo de día? ¿Será del mismo color durante el día en la Luna, Marte, etcétera?
11. ¿Por qué son rojizos los amaneceres y los atardeceres? ¿Serán igual en los demás planetas y satélites del Sistema Solar?
12. ¿Qué es lo que esperas de esta asignatura?



ACTIVIDAD 1.^a

Objetivos: 1

Contenidos: 4

Dificultad
▲▲▲

Betelgeuse (α -Orionis) se encuentra a 660 años luz de nosotros. ¿A cuántas distancias Tierra-Sol equivale? Expresa dicha distancia en pársec.

ACTIVIDAD 2.^a

Objetivos: 1

Contenidos: 4

Dificultad
▲▲▲

Cierta estrella dista de nosotros 7,42 pársec (pc). ¿Cuánto tarda su luz en llegar a nosotros? ¿Cuántas veces más lejos que el Sol se encuentra? Si el diámetro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, es de unos 100.000 años luz, ¿podemos afirmar que dicha estrella pertenece a nuestra galaxia?

ACTIVIDAD 3.^a

Objetivos: 1 y 3

Contenidos: 4 y 6

Dificultad
▲▲

Las distancias de la Tierra a las distintas estrellas de la constelación de la Osa Mayor son las siguientes: Dubhe (105 a. l.) ; Merak (78 a. l.) ; Phekda (90 a. l.) ; Megrez (63 a. l.) ; Alioth (68 a. l.) ; Mizar (88 a. l.) ; Alcor (100 a. l.) ; Alkaid (210 a. l.). Haz una representación a escala de cómo la veríamos en perspectiva lateral con respecto a su visión desde la Tierra.

ACTIVIDAD 4.^a

Objetivos: 4

Contenidos: 5

Dificultad
▲▲

Describe a grandes rasgos cuáles son las radiaciones que constituyen lo que llamamos el espectro electromagnético, ordenadas de menor a mayor energía. ¿A qué radiaciones son sensibles nuestros ojos? ¿Qué es la longitud de una onda? ¿Y la frecuencia? ¿Cómo se relaciona cada una de ellas con la energía de la radiación?

ACTIVIDAD 5.^a

Objetivos: 4

Contenidos: 5

Dificultad
▲▲

Cierta radiación en forma de onda tiene una longitud de onda de 0,7 cm, mientras que otra tiene una longitud de onda de 60 μm (micrómetros). Razona cuál de ellas tiene mayor energía asociada. ¿A cuál corresponderá una frecuencia mayor?

ACTIVIDAD 6.^a

Objetivos: 4

Contenidos: 5.1 y 5.2

Dificultad
▲▲

Explica el fenómeno óptico por el que se hace visible el haz de un láser. ¿Guarda alguna relación con el color del cielo? ¿Por qué es rojiza la luz solar al amanecer o al atardecer?

ACTIVIDAD 7.^a

Objetivos: 3 y 6

Contenidos: 5.3, 6 y 8.2

Dificultad
▲

Determina con el planisferio en qué meses será visible la constelación de Orión por las noches. Para ello haz una estimación de la hora en que suele anochecer y amanecer cada mes.





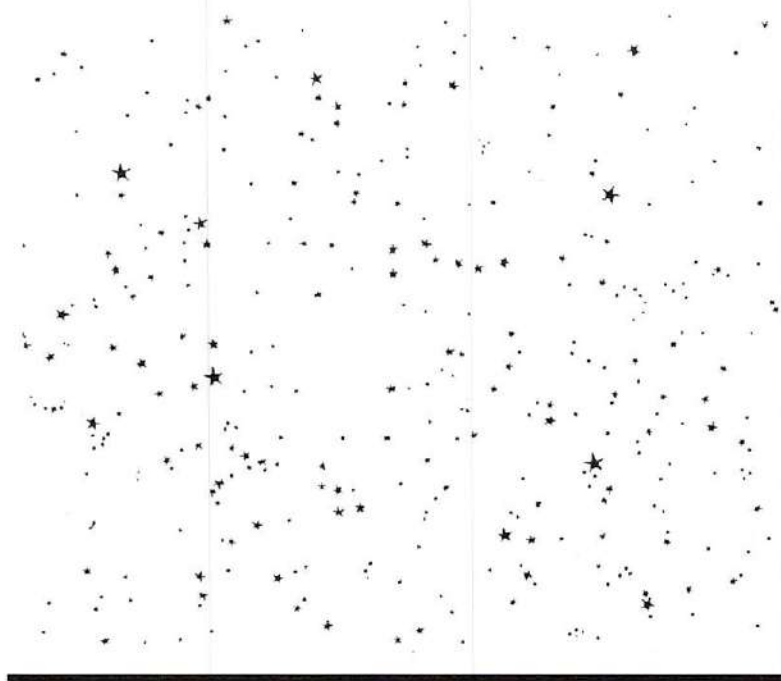
ACTIVIDAD 8.^a

Objetivos: 3

Contenidos: 6

Dificultad
▲

Dibuja todas las constelaciones que conozcas en el siguiente mapa mudo. Nombra dichas constelaciones, así como las estrellas más brillantes que conozcas.



ACTIVIDAD 9.^a

Objetivos: 6

Contenidos: 8.2 y 8.3

Dificultad
▲▲

Determina con el planisferio las horas de sol del día de hoy, especificando hora de salida (orto) y hora de ocultación (ocaso) del Sol en T.U. y en hora oficial.

ACTIVIDAD 10.^a

Objetivos: 6

Contenidos: 8.2 y 8.3

Dificultad
▲▲

Determina con el planisferio cuántas horas de sol hay los días: **a)** 21 de marzo (equinoccio de primavera boreal); **b)** 22 de diciembre (solsticio de invierno boreal); **c)** 21 de junio (solsticio de verano boreal); **d)** 22 de septiembre (equinoccio de otoño boreal).

ACTIVIDAD 11.^a

Objetivos: 6

Contenidos: 8.2 y 8.3

Dificultad
▲

Determina con el planisferio cuáles son las coordenadas del Sol en las fechas de la actividad anterior.



ACTIVIDAD 12.^a**Objetivos:** 3 y 6**Contenidos:** 8.2 y 8.3**Dificultad**
▲▲

Las coordenadas ecuatoriales de cierto astro son: ascensión recta (A. R.) = 7 h ; declinación (δ) = +30°. ¿En qué constelación se encuentra?

ACTIVIDAD 13.^a**Objetivos:** 3 y 6**Contenidos:** 8.2 y 8.3**Dificultad**
▲▲

¿Qué estrella veríamos en el cenit el 16 de agosto a las 11 de la noche? ¿A qué constelación pertenece?

ACTIVIDAD 14.^a**Objetivos:** 5 y 6**Contenidos:** 8.3**Dificultad**
▲▲▲

El siguiente cuadro corresponde a las efemérides planetarias del 5 de agosto de 1997. Complétalo a partir del planisferio:

PLANETA	ORTO	OCASO	ASCENSIÓN RECTA	DECLINACIÓN
Mercurio			10h 43mn	6° 20'
Venus	7 : 34	20 : 51		
Marte	11 : 01		13h 29mn	
Júpiter		5 : 03		-16° 47' 46"
Saturno	21 : 50			5° 34'

ACTIVIDAD 15.^a**Objetivos:** 5 y 6**Contenidos:** 8.3**Dificultad**
▲▲▲

Las coordenadas de Venus el día 29 de septiembre de 1997 eran: A.R. = 15 h 06 min; δ = -19° 20'. Determina con el planisferio si será visible al amanecer o al atardecer en esa fecha y durante cuánto tiempo antes del orto o después del ocaso.

ACTIVIDAD 16.^a**Objetivos:** 3, 5 y 6**Contenidos:** 8.2 y 8.3**Dificultad**
▲▲

El día 15 de marzo de 1997, las coordenadas del cometa Hale-Bopp eran: A.R. = 23 h 02 min; δ = 43°. Determina a qué hora se ocultó y por qué parte del horizonte. Determina también cuáles eran las constelaciones que se hallaban en las proximidades y que nos sirvieron de referencia para observar el cometa.

ACTIVIDAD 17.^a**Objetivos:** 6**Contenidos:** 8.3**Dificultad**
▲▲

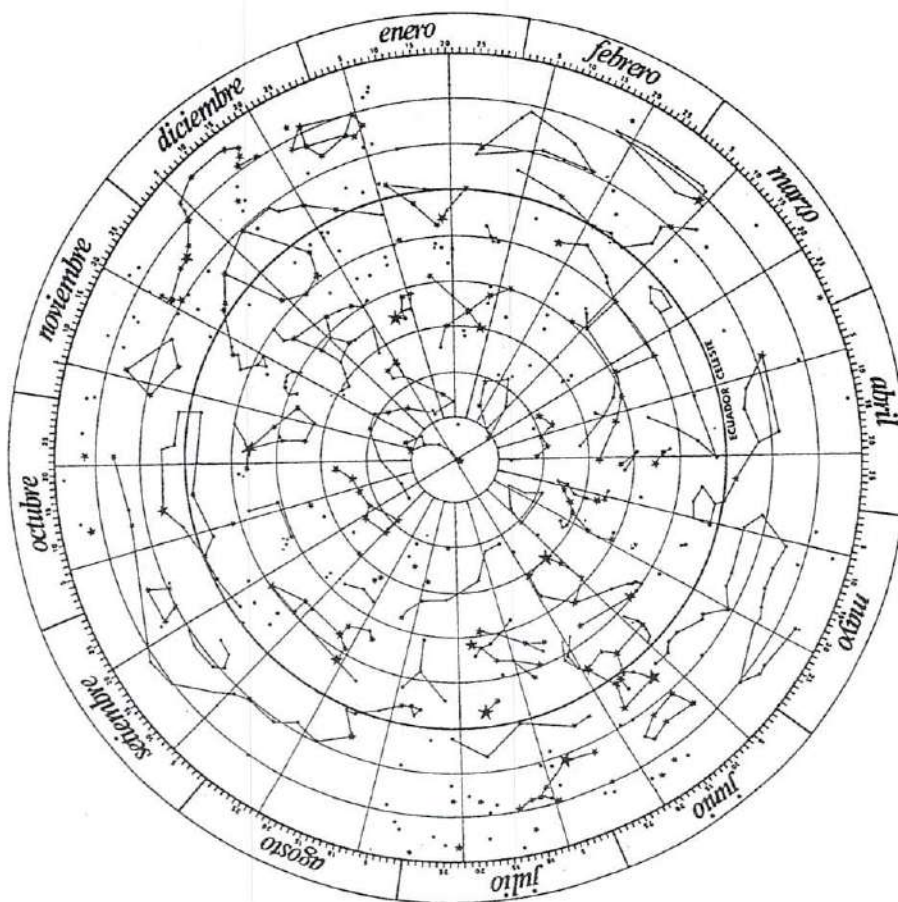
Determina con el planisferio a qué distancia angular del cenit (distancia cenital) se encuentra el Sol el día 25 de noviembre.



**ACTIVIDAD 18.^a****Objetivos: 3, 5 y 6****Contenidos: 6 y 8****Dificultad**
▲▲▲

Localiza y marca en el planisferio mudo los siguientes astros y objetos por sus coordenadas. Trata, asimismo, de nombrar la constelación a la que pertenecen:

OBJETO CELESTE	A. R.	δ
M 29 = Cúmulo abierto	20h 23 mn	38° 27'
M 13 = Cúmulo globular	16h 41min	36° 30'
M 31 = Galaxia	00h. 42min	41° 09'
NGC 869/884 = Cúmulo doble	02h 16min	56° 55'
M 36 = Cúmulo abierto	05h 35min	34° 05'
M 42 = Nebulosa	05h 34min	-05° 24'
M 51 = Galaxia	13h 29min	47° 18'
M 81/M 82 = Galaxias	09h 54min	69° 09'





LECTURA

Los cielos de nuestros antepasados se cernían a baja altura sobre sus cabezas. Cuando los antiguos astrónomos sumerios, chinos y coreanos subían los escalones de sus anchos y bajos zigurats de piedra para estudiar las estrellas, tenían razón al suponer que de ese modo lograban una visión mejor, no, como diríamos hoy, porque así dejaban atrás un poco de polvo y de aire turbulento, sino porque se acercaban considerablemente a las estrellas.

Los egipcios consideraban el cielo como una especie de toldo de tienda de campaña, apoyado en las montañas que señalaban los cuatro rincones de la Tierra, y como las montañas no eran muy altas, tampoco lo eran, presumiblemente, los cielos; las gigantescas constelaciones egipcias revoloteaban cerca de la humanidad, tan próximas como una madre que se inclina para besar a su hijo dormido.

El Sol griego estaba tan cerca que Ícaro sólo había alcanzado una altura de unos pocos miles de metros cuando el calor del astro fundió la cera de sus alas, arrojándolo al inhóspito Egeo. Tampoco las estrellas griegas estaban mucho más distantes; cuando Faetón perdió el control del Sol, viró hacia las estrellas tan repentinamente como un carro desviado que choca contra un poste indicador y luego rebotó hacia la Tierra, tostando a los etíopes en su descenso.

...Desde los días de los antiguos sumerios, y probablemente antes, hubo estudiosos del cielo nocturno deseosos de dedicar horas de la noche a la solitaria tarea de observar y forzar sus ojos por encima de piedras alineadas, o a lo largo de cuadrantes de madera o sencillamente a través de sus dedos, registrando pacientemente lo que veían. Era un fatigoso trabajo. ¿Por qué lo hacían? Quizá parte del motivo tenía alguna relación con el anhelo naciente, misterioso pero persistente, a la sazón como ahora, de expresar la creencia en un vínculo entre los hombres y las estrellas...

...También había obvios incentivos prácticos. La navegación entre ellos. Los marinos podían calcular la latitud midiendo la elevación de la estrella Polar, y podían saber el tiempo por las posiciones de las estrellas; estas ventajas eran suficientemente apreciadas como para que los pueblos marinos las codificasen en la poesía y la mitología mucho antes del advenimiento de la palabra escrita. Cuando Homero dice que la Osa Mayor nunca se



baña, transmite el conocimiento del navegante de que la Osa Mayor, la constelación que contiene el Carro, es circumpolar a las latitudes mediterráneas, es decir, que nunca se sumerge por debajo del horizonte del mar.

Otro motivo práctico era el cálculo del tiempo. Los primeros agricultores aprendieron a hacer del cielo en movimiento un reloj y un calendario, y consultaban almanaques grabados en madera o piedra como guía astronómica para decidir cuándo plantar y cuándo cosechar sus cultivos. Hesíodo, uno de los primeros poetas cuyas palabras fueron puestas por escrito, emerge de la era prelitteraria como un experto consejero para la lectura del cielo en busca de claves sobre las estaciones:

"Cuando se eleva el Gran Orión, pon a tus esclavos a aventar el sagrado grano de Deméter en la ventosa y desgastada era... Luego da un reposo a tus esclavos; desunce tu yunta. Pero cuando Orión y Sirio se desplacen a la mitad del cielo y Arturo acompaña a la rosada aurora, entonces, Perseo, arranca las uvas arracimadas y lleva la cosecha a tu casa... Cuando el Gran Orión se sumerge, el tiempo ha llegado de arar y, oportunamente, muere el viejo año."

Los cazadores-recolectores que precedieron a los agricultores también usaron el cielo como calendario. Como un indio cahuilla de California le dijo a un investigador en los años veinte:

"Los viejos solían estudiar las estrellas muy cuidadosamente y de este modo podían saber cuándo empezaba cada estación... Éste era un asunto muy importante, pues de la aparición de ciertas estrellas dependía la época de las cosechas. Después de varias noches de cuidadosa observación, cuando finalmente aparecía determinada estrella, los viejos salían precipitadamente, lloraban y gritaban, y a menudo bailaban. En la primavera, esta alegría era especialmente intensa, pues entonces podían hallar ciertas plantas en las montañas. Nunca iban a las montañas hasta que veían determinada estrella, pues sabían que antes no encontrarían alimentos allí."

Stonehenge (fig. 1.1) es uno de los miles de artilugios anti-guos para el cálculo del tiempo cuyas partes en movimiento estaban todas en el cielo. La gran pirámide de Gizeh fue alineada con la estrella Polar, y era posible leer las estaciones por la posición de la sombra de la pirámide. Los mayas del antiguo Yucatán inscribieron en monumentos de piedra fórmulas útiles para predecir eclipses solares y la aparición de Venus como estrella matutina.

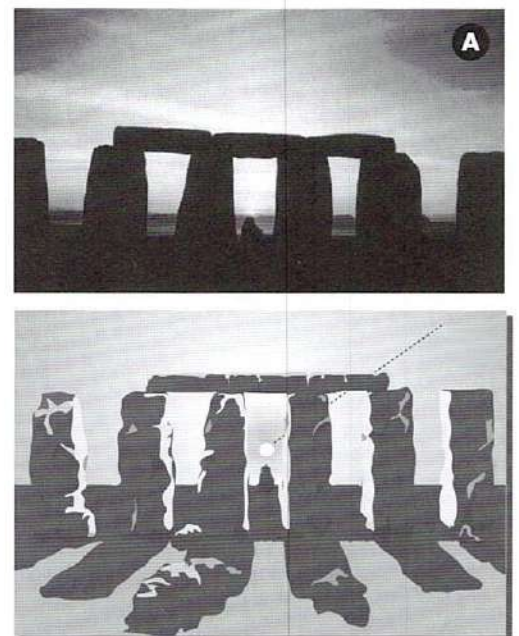


FIGURA 1.1. La piedra central (Heelstone) de Stonehenge marca la posición de salida del Sol en el solsticio de verano.

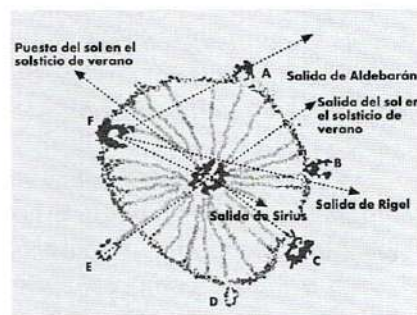
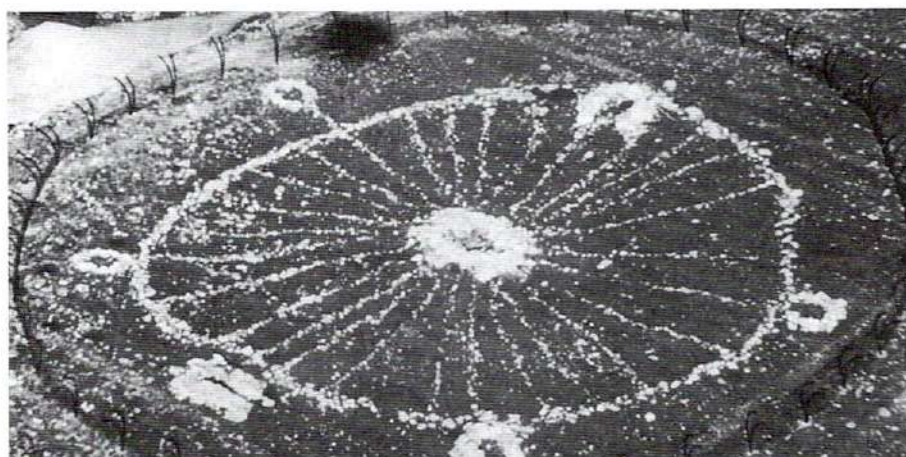


FIGURA 1.2. Las ruedas mágicas construidas por los indios de Wyoming (EE. UU.) antes de las colonizaciones europeas se alinearon señalando diversos eventos astronómicos.

Las ruedas mágicas de piedra de los indios de las llanuras de América del Norte señalaban los puntos de salida de las estrellas más brillantes (fig. 1.2), informando a sus arquitectos nómadas cuándo llegaba la fecha de emigrar a tierras de pastoreo ocasionales...

Presumiblemente, el poder político influyó en los primeros esfuerzos para identificar los movimientos periódicos del cielo, en la medida en que los hombres pretenden controlar lo que pueden predecir. El manejo del calendario dio a los sacerdotes una ventaja en la dura política de los mayas, y Cristóbal Colón, conociendo con antelación el suceso de un eclipse lunar –durante el cual la Luna se enrojece por la sombra proyectada por la Tierra (fig. 1.64 color)–, logró intimidar a los indios de La Española, reacios a colaborar, para que avituallasen a su tripulación hambrienta, advirtiéndoles que “al salir la Luna, la verían aparecer roja, llena de ira, inflamada, denotando el mal que Dios quería enviarles”.

El hijo de Colón, Hernando, en la entrada de su diario correspondiente a la noche del 29 de febrero de 1504, escribió:

“Pero comenzando el eclipse al salir la Luna, cuanto más ésta subía, aquél se aumentaba, y como tenían grande atención a ello los indios, les causó tan enorme asombro y miedo, que con fuertes alaridos y gritos iban corriendo de todas partes a los navíos, cargados de vituallas, suplicando al Almirante rogase a Dios con fervor para que no ejecutase su ira contra ellos, prometiendo que en adelante le traerían con suma diligencia todo cuanto necesitase... De allí en adelante tuvieron gran cuidado de proveerles de cuanto necesitaban, alabando continuamente al Dios de los cristianos.”

La aventura del universo. Timothy Ferris



Una vez hayas leído el texto, subrayando lo que consideres importante y consultando en un diccionario todas aquellas palabras que no entiendas, responde a las siguientes cuestiones:



CUESTIONARIO SOBRE EL TEXTO

- A. ¿Para qué usaban los primitivos astrónomos los ziguirats?
- B. ¿Cómo era el cielo para los egipcios?
- C. ¿Qué significa que "la Osa Mayor nunca se baña"? ¿Crees que eso es cierto desde cualquier punto de la Tierra?
- D. ¿Qué estrellas o constelaciones se relacionan con la primavera, que pudiesen servir de orientación a los viejos indios cahuillas?
- E. Reflexionad en clase, con vuestro profesor o profesora sobre cómo la ignorancia conduce a la superstición sobre la base de la experiencia de Colón con los indios de La Española. Al hilo de lo anterior, ¿qué base encuentras en la Astrología?

1. ¿DE QUÉ TRATA LA ASTRONOMÍA?

La astronomía es la ciencia que estudia el universo, ni más ni menos. Poca cosa, ¿no?... Es una ciencia cuyo origen y desarrollo se basa en la observación. Por eso, en el título de esta unidad se la denomina ciencia observacional.

La astronomía estudia el movimiento, el origen, el desarrollo y la estructura de los cuerpos celestes o de sistemas de cuerpos. Así, estudiaremos las estrellas, los planetas, los satélites, las constelaciones, las nebulosas, las galaxias, los cúmulos estelares, etcétera (fig. 1.3).

En el estudio de estos cuerpos celestes, la astronomía trata de dar respuesta a las siguientes cuestiones:

1. Posición, movimiento, dimensiones y forma de los cuerpos celestes.

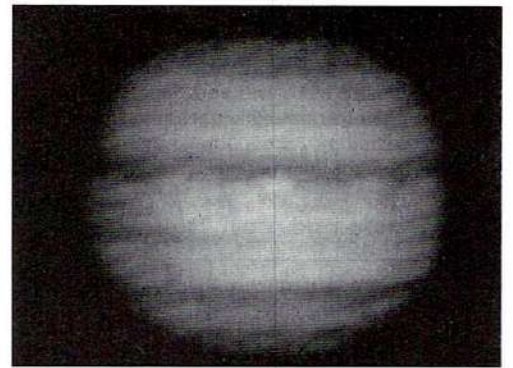


FIGURA 1.3. La astronomía trata de dar respuesta al origen, desarrollo y la estructura de los distintos cuerpos celestes. **A:** Júpiter, **B:** nebulosa, **C:** galaxia, **D:** cúmulo de galaxias.



FIGURA 1.4. Los aztecas realizaron calendarios en piedra. El de la foto es una reproducción de un original de cuatro metros de diámetro y 24 toneladas.

2. Estructura física (densidad, temperatura, etc.) y química (composición) de dichos cuerpos.
3. Origen, desarrollo y destino del universo.

La astronomía es una ciencia muy antigua; podríamos decir que las primeras preguntas que dan origen a esta ciencia nacen cuando los primeros seres humanos alzan la vista al cielo. No sería, pues, muy descabellado afirmar que la astronomía es tan antigua como la Humanidad. La visión del cielo ha servido, a lo largo de los tiempos, de referencia para la agricultura, la ganadería, la navegación, la literatura, la filosofía, por supuesto la ciencia e, incluso en ocasiones, para el predominio del poder político. En la anterior lectura has encontrado cómo los distintos pueblos han ido haciendo uso de la astronomía (fig. 1.4).

2. LAS PARTES DE LA ASTRONOMÍA

Sin duda habrás escuchado alguna vez una serie de términos relacionados con el estudio de los cuerpos celestes que no son el que da título a esta asignatura. Así, habrás oído hablar de astrofísica, cosmología, mecánica celeste, etc. Como verás, todos esos términos son parte de la astronomía.

Sin tratar de ser una división académica –pues a menudo se citan otras ramas–, podríamos decir que la astronomía cuentan con tres ramas fundamentales, que serían:

Astrometría o astronomía de posición: Estudia la posición de los cuerpos celestes apoyándose en métodos para determinar ángulos en el cielo, para lo cual establece sistemas de coordenadas celestes.

Mecánica celeste: Estudia el movimiento de los astros bajo la acción de la gravitación, elabora métodos de determinación de las trayectorias y calcula posiciones y eventos venideros (efemérides). Se basa en los datos elaborados en la astronomía de posición.

Astrofísica: Estudia el origen (cosmogonía), la estructura, composición, las propiedades físicas y la evolución que de lo anterior se deriva, tanto de los cuerpos celestes en particular, como de los sistemas y del universo en general (cosmología). Asimismo, elabora teorías basadas en la física teórica sobre el origen y la evolución del universo (ver fig. 1.5).

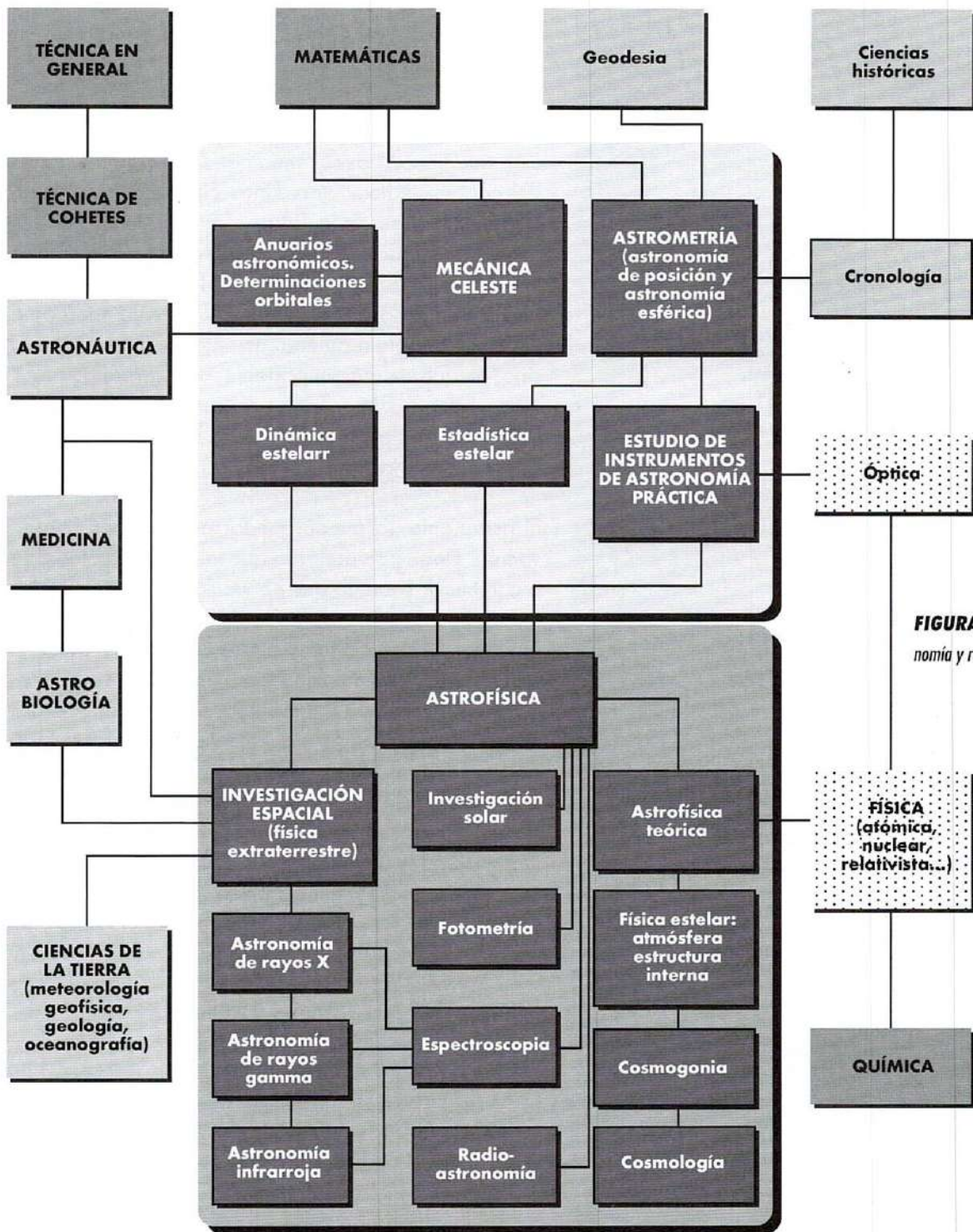


FIGURA 1.5. Partes de la astronomía y relación con otras ramas.

- Ramas clásicas de la astronomía
- Ramas modernas de la astronomía

- Campos particulares de la astronomía
- Campos especializados sobre los que la astronomía ejerce influencia, directa o indirecta
- Ciencias auxiliares de la astronomía



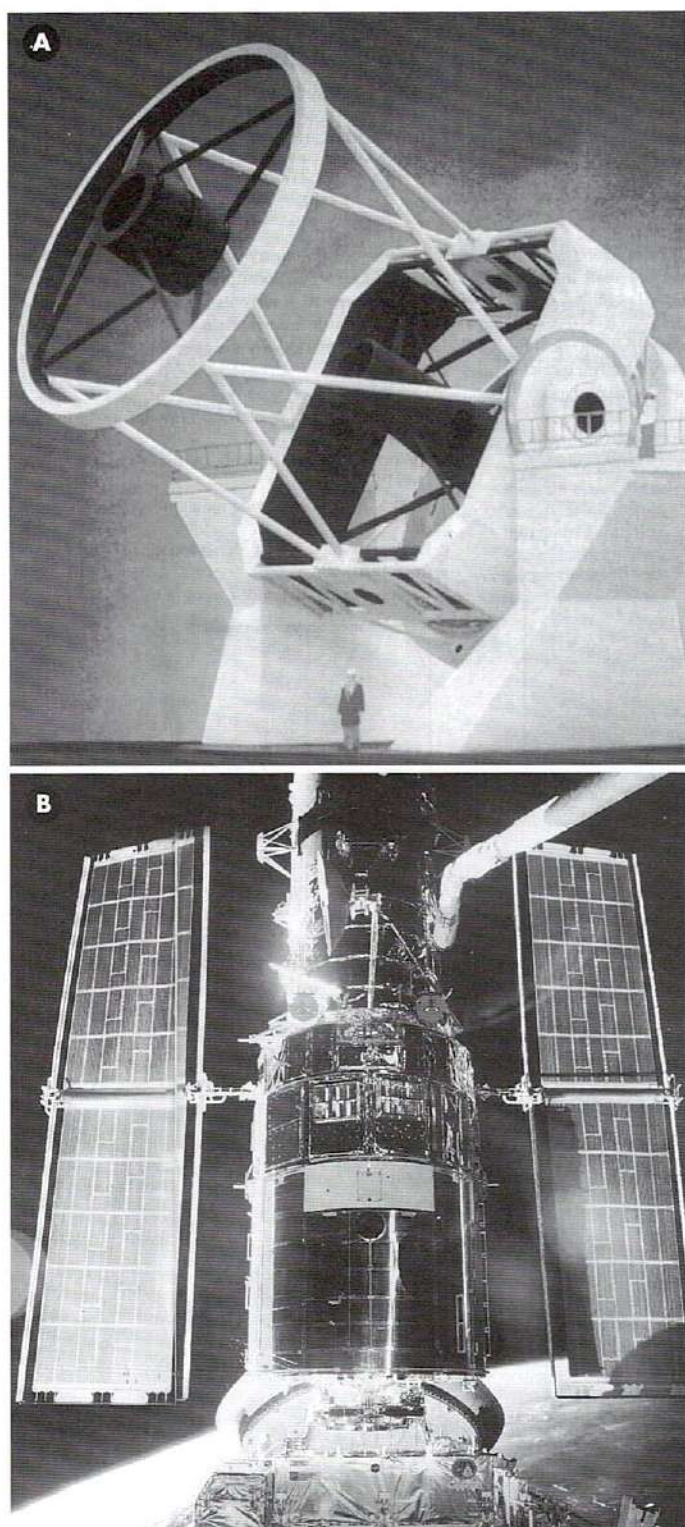


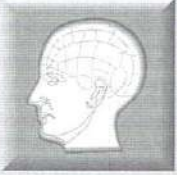
FIGURA 1.6. Los telescopios más avanzados nos adentran cada vez más en el conocimiento profundo del universo. **A:** maqueta del telescopio de 10 m de Canarias. **B:** telescopio espacial Hubble.

3. LOS DOMINIOS DE LA ASTRONOMÍA: DE LO ÍNFIMO A LO SUPREMO

En el diagrama anterior habrás observado la relación que tiene la astronomía con muy distintas ramas del conocimiento y disciplinas científicas. La observación visual desde la Tierra ofrece una información acerca del universo muy limitada, aun usando los telescopios más potentes (fig 1.6). Incluso las increíbles y maravillosas imágenes del potente telescopio espacial Hubble requieren no sólo su contemplación sino, lo que es más importante, su interpretación. Y es aquí donde entran en juego los conocimientos que forman parte de lo que llamamos los "dominios de la astronomía" (figs. 1.7 y 1.65, 66, 67 color).

El astrónomo no puede quedarse en la mera observación. Debe interpretar lo que ve e incluso atreverse a conjeturar sobre lo que no ve, sobre la base de los indicios que tiene. Así, en la astronomía no sólo nos interesa conocer dónde y a qué distancia se halla tal o cual objeto celeste, sino también cuál es su composición, su densidad, su tamaño, la fase de su evolución, su futuro, su pasado, etc. De esa manera, en la astronomía, además de manejar las grandes escalas astronómicas (el año-luz, etc.), nos introduciremos en las escalas más pequeñas imaginables; nos zambulliremos en los átomos, en sus núcleos e incluso trataremos de hurgar en el interior de sus núcleos. Sólo así entenderemos el universo desde sus inicios hasta el universo observable actualmente. Cuando estudiemos las estrellas aparecerán todas las escalas de magnitud posibles, porque hablaremos de su tamaño, de su previsible distancia a la Tierra, pero también hablaremos de los átomos que la componen, de las reacciones entre los núcleos de esos átomos, de su posible final, en el que sólo existen neutrones u otra forma de materia aún más condensada.

Por eso, en astronomía necesitaremos hacer manejables las más grandes y las más pequeñas cifras. La herramienta que nos permite hacer esas cifras manejables la encontraremos en las matemáticas, en el empleo de las **potencias de diez**.



Si el número 1 lo multiplicamos tres veces por diez, es decir, hacemos $1 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10$ obtendremos como resultado 1.000. Por tanto y como 1 es el elemento neutro en el producto, afirmaremos que cuando el 10 se multiplica por sí mismo tres veces, el resultado es 1.000. Ese triple producto lo simbolizamos mediante una potencia de diez (en este caso 3) que nos indicará el número de veces que el 10 está multiplicado por sí mismo. Por tanto:

$$10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3 = 1.000$$

Observa que el número de ceros de la cifra final coincide con el valor de la potencia. Con esta regla te será fácil hacer cualquier transformación.

Asimismo, si el número 1 lo dividimos sucesivamente tres veces entre diez, el resultado obtenido es 0,001. En este caso, las sucesivas divisiones entre 10 las simbolizamos mediante una potencia de diez negativa. Así diremos que una potencia negativa nos indica el número de veces que el 10 está dividiendo al número 1.

$$10^{-3} = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10} = 0,001$$

Observa que, en este caso, el número de ceros a la izquierda del 1, incluyendo el que está a la izquierda de la coma, coincide con el valor de la potencia negativa.

Y ahora ejercítate:

A. Expresa en potencias de 10 las siguientes cifras:

0,0000000001

1.000.000.000.000.000.

0,0000345

645.000

300.000.000 m/s

B. El diámetro solar es unos 10^6 km, mientras que el de la Tierra es de unos 10^4 km. ¿Cuántas Tierras alineadas cabrían en el diámetro solar?

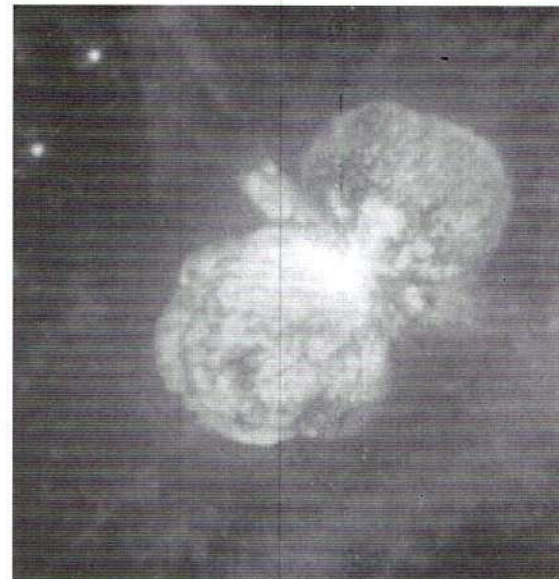


FIGURA 1.7. No basta sólo con contemplar las bellas imágenes que nos ofrecen los telescopios, hemos de interpretarlas. En la figura, una variable eruptiva eta carinae, captada por el Hubble.





FIGURA 1.8. Las escalas del universo observable.

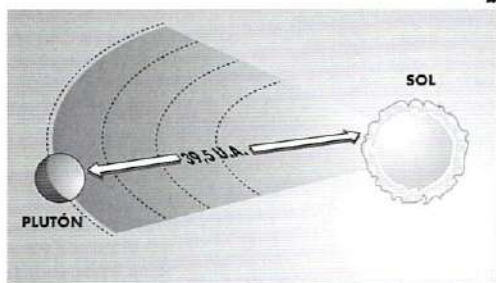
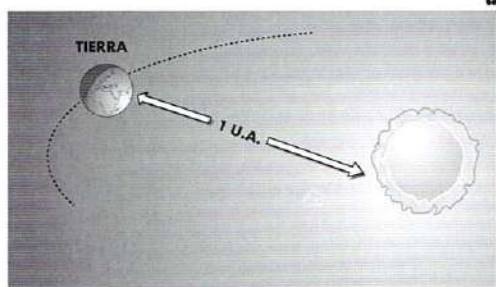


FIGURA 1.9. A: 1 U. A. es la distancia media Tierra-Sol. **B:** El planeta más externo (en términos medios), Plutón, se encuentra a una distancia media de 39,5 U. A.

De esta manera podemos expresar de un modo sencillo las increíbles escalas de nuestro universo. Así, como puedes observar en el diagrama de escalas de la figura 1.8, podemos ir de lo ínfimo (los 10^{-15} m del núcleo de un átomo) a lo supremo (los 10^{26} m estimados como diámetro del universo) con cierta sencillez y elegancia.

4. EL PROBLEMA DE LA DISTANCIA

Como acabas de ver en el apartado anterior, las escalas astronómicas son realmente grandes. Por eso, y a pesar de la ayuda que supone expresar cifras grandes en potencias de diez, no deja de ser engorroso hablar de distancias astronómicas en kilómetros, por ejemplo, pues siempre estaríamos usando potencias de diez muy elevadas. Por ello es conveniente hacer uso de escalas más versátiles o cómodas. En astronomía suelen usarse las siguientes:

Unidad astronómica (U. A.): Es la distancia media entre la Tierra y el Sol. Por tanto equivale a 149.600.000 km (suele usarse aproximadamente 150.000.000 km) (fig. 1.9).

Año luz: Es la distancia que recorre la luz en un año (propagándose a la velocidad de 300.000 km/s).

Pársec (pc): Es la distancia que corresponde al paralaje anual de $1''$. Equivale a 3,26 años luz. (NOTA: más adelante, cuando hablemos de cómo medir distancias astronómicas, entenderemos en toda su extensión la definición de pársec. De momento, basta con conocer su equivalencia).

Es fácil comprender que, dependiendo de las escalas de medida en las que estemos trabajando, usaremos unas u otras unidades. Así, por ejemplo, las distancias entre planetas o cuerpos del sistema solar será conveniente expresarlas en U. A., mientras que las distancias a estrellas o galaxias más lejanas se establecerán en años luz, pársec o múltiplos del pársec (kilopársec -kpc- = 1.000 pc o bien megapársec -Mpc- = 1.000.000 pc). (figs. 1.10, 11 y figs. color 1.68, 69, 70, 71).



CUESTIONARIO

1. Expresa la distancia correspondiente a 1 año luz en U. A., pársec y kilómetros.
2. La estrella Próxima Centauri se halla a una distancia de nosotros de 1,31 pc. ¿Cuánto tiempo tarda su luz en llegar a nosotros? ¿A cuántas U. A. se halla de la Tierra?
3. ¿Qué te sugiere el hecho de observar un objeto que puede distar 1 Mpc? ¿Podrías afirmar que ese objeto que ves realmente existe en el presente?
4. Las distancias de los planetas del sistema solar con respecto al Sol cumplen con una regla de regularidad enunciada en el siglo XVIII que se conoce como regla de **Titius-Bode**, según la cual dichas distancias vienen dadas por la fórmula:

$$d = 0,1 \cdot (3 \cdot 2^n + 4) \text{ U.A.}$$

donde d es la distancia y n adquiere un valor para cada planeta o asteroides, siendo ∞ para Mercurio, 0 para Venus, 1 para la Tierra, 2 para Marte, 3 para los asteroides y así sucesivamente. Expresa en U. A. las distancias de los planetas y asteroides al Sol. ¿Cuánto tiempo tarda la luz de Urano en llegar a nosotros (considerando el momento en que estemos entre Urano y el Sol)? ¿Y la del Sol?

5. EL CIELO QUE VEMOS

5.1. El color del cielo de día

Si tu profesor o profesora te preguntara de qué color es el cielo, la pregunta te resultaría tan banal como aquella del "caballo blanco de Santiago". ¡Pues de qué color va a ser...azul!, será tu previsible respuesta, a la que, si eres perspicaz, añadirás que también puede ser rojizo al amanecer y al atardecer y negro si es de noche. Ahora bien, fíjate en la fotografía de la figura 1.12, donde aparece el astronauta Jack Schmitt de la misión Apollo 17

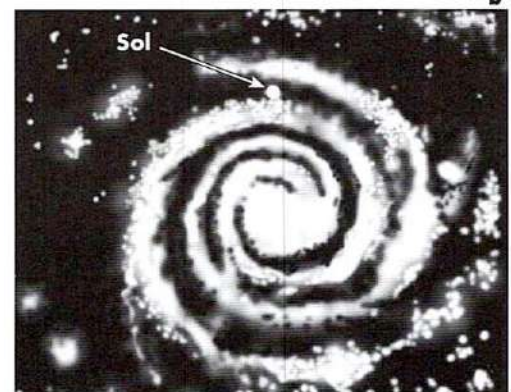


FIGURA 1.10. A: Vía Láctea vista de canto, el núcleo galáctico tiene un grosor estimado de unos 25.000 años luz. **B:** El diámetro de nuestra galaxia es de unos 100.000 años luz.

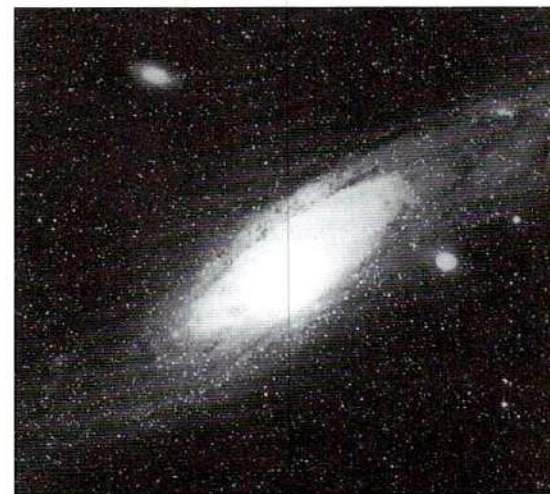


FIGURA 1.11. Andrómeda (M 31), en la figura, es una galaxia vecina y se encuentra "solamente" a 2.000.000 de años luz. La imagen que ahora observamos corresponde a la luz que emitió hace unos 2.000.000 millones de años.



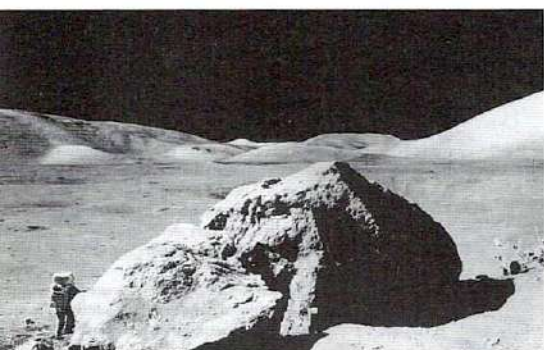


FIGURA 1.12. Astronauta Jack Schmitt, del Apolo 17, inspeccionando una roca lunar.

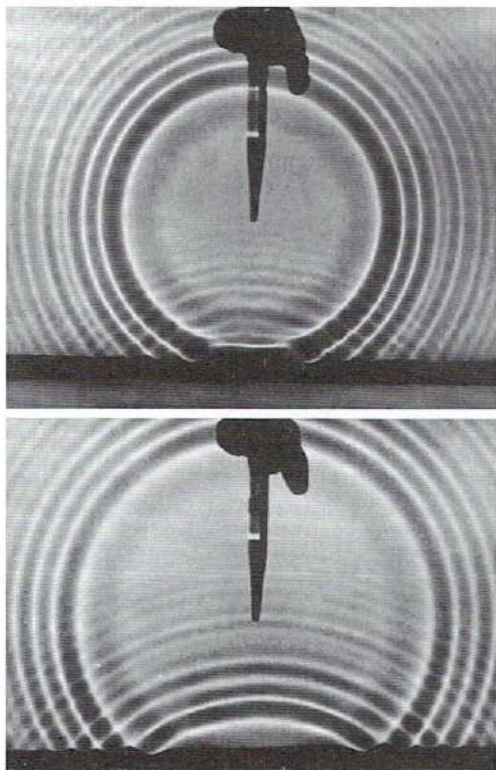


FIGURA 1.13. Las ondas de agua se reflejan al chocar con las paredes.

inspeccionando una roca en la superficie lunar. ¿Qué te llama la atención?

¿Por qué el color de nuestro cielo es azul de día? Antes de responder, te vamos a plantear unos experimentos, alguno de ellos mental.



EXPERIMENTA

EXPERIMENTO 1: Si tenéis la suerte de disponer en vuestro instituto de un láser, pedid a vuestro profesor o profesora que, una vez conectado, exhale humo de tabaco sobre la trayectoria invisible del haz. ¿Qué sucede? ¿Se te ocurre alguna explicación?

EXPERIMENTO 2: Sacude cerca de una ventana por la que esté entrando el sol algún objeto que tenga polvo (si estás en clase, el borrador te puede servir, y si estás en casa, prueba con el trapo del polvo o el felpudo de la entrada...). ¿Qué observas? ¿Se te ocurre alguna explicación? ¿Encuentras alguna relación con el experimento anterior?

EXPERIMENTO 3 (mental): Si alguna vez te ha pillado la niebla de noche estando de acampada y has tenido que hacer uso de la linterna, ¿te ha llamado algo la atención? Eso mismo lo habrás podido observar al viajar en coche de noche y con niebla.

Alguna vez habrás oído que la luz es una suerte de "onda" o que tiene un comportamiento ondulatorio. Así, por ejemplo, si en un barreño con agua en calma golpeas en un lateral, verás que se forma una onda que al llegar al otro extremo del barreño se refleja y vuelve (fig. 1.13). Pues bien, la luz también se refleja en las paredes, en los espejos, etc. (fig. 1.14). Otros comportamientos de las ondas de los que no vamos a hablar aquí para no extendernos, también los tiene la luz. El aspecto de las ondas de agua te será familiar; es algo parecido al dibujo de la figura 1.15.

En él hemos denotado uno de los parámetros característicos que definen una onda y que nos pueden servir para diferenciar unos tipos de ondas de otras: la longitud de onda. Otro de los parámetros característicos de la onda es la frecuencia. La longitud de onda la podemos definir como la distancia entre dos crestas sucesivas de la onda (o bien dos valles sucesivos y, en cualquier caso, entre dos posiciones idénticas en la onda). Por



FIGURA 1.14. La luz, al igual que las ondas de agua, se refleja en muchas superficies. En la fotografía, la reflexión de la luz en la superficie del lago nos da una imagen tan nítida como la real.

otra parte, la frecuencia la podemos definir como el número de crestas por unidad de tiempo.



CUESTIONARIO

5. Si aumentamos la longitud de onda, ¿qué pasará con la frecuencia? ¿Qué relación guardan la longitud y la frecuencia de onda?
6. Imagínate que las olas del mar chocan contra un pequeño muro. En un caso, llega una ola cada 1.5 segundos, mientras que en otro llega cada 5 segundos. ¿En cuál de los dos es mayor la longitud de onda? ¿Y la frecuencia? ¿En qué caso será más probable que se rompa el muro? ¿En qué caso es, por tanto, mayor la energía asociada a las olas? ¿Serías capaz de encontrar alguna relación entre la energía de las ondas y la frecuencia? ¿Y entre la energía y la longitud de onda?

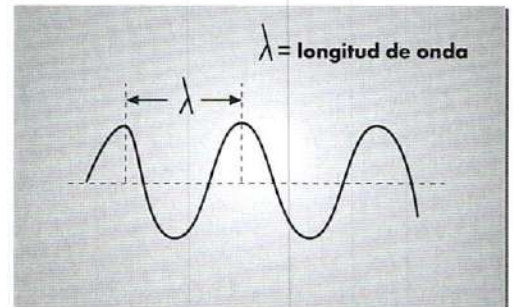


FIGURA 1.15. La distancia entre dos posiciones idénticas consecutivas de la onda se denomina longitud de onda (λ). Se mide en unidades de distancia.

Pues bien, la luz, con todos sus colores, pertenece a un tipo de ondas llamadas electromagnéticas que tienen la particularidad de poder propagarse también por el vacío, a la increíble velocidad de 300.000 km/s. También se caracterizan por su frecuencia y su longitud de onda, además de por su energía asociada. A esta familia de ondas pertenecen algunas que nos resultan tremendamente familiares, como las ondas de radio y TV, las microondas, los infrarrojos, los rayos ultravioleta, los rayos X y



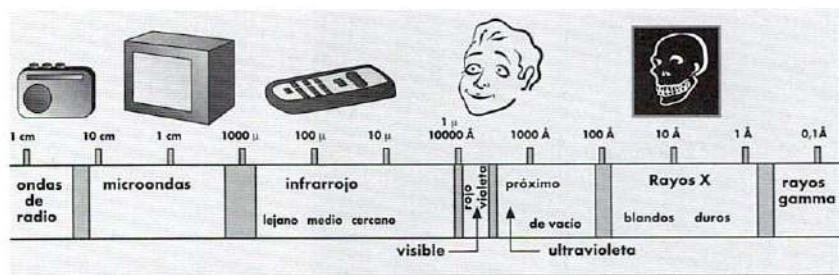


FIGURA 1.16. Foto de familia de las radiaciones electromagnéticas, ordenadas de menor (izda.) a mayor (dcha.) energía.



FIGURA 1.17. El mecanismo por el que se hacen visibles los rayos láser o los rayos solares que entran por una ventana es el mismo: la dispersión de la luz originada por partículas en suspensión.

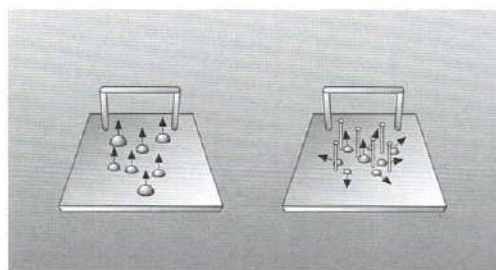


FIGURA 1.18.

A: Las partículas no sufren desviación alguna.

B: Las partículas son "dispersadas" por los clavos cuando la separación entre éstos es del orden del tamaño de las partículas.

los terribles rayos gamma. La foto de familia de estas ondas agrupadas según crece su energía hacia la derecha sería la siguiente (fig. 1.16):

Para lo que vamos a hablar a continuación, a nosotros nos interesa sólo esa zona que hemos denominado "visible", pues es la única que nuestros ojos (receptores de ondas, como las antenas) pueden captar. Observad que los colores de mayor energía o frecuencia del visible son el azul y el violeta.

Y ahora respondamos a esos experimentos que te habíamos propuesto y a aquello de por qué es azul el cielo que vemos en la Tierra y sin embargo es negro profundo en la Luna pese a ser de día. Si habéis discutido los experimentos en clase, os habréis dado cuenta de que son las partículas de polvo y del humo las que provocan que se vea la luz que entra por la ventana o el haz del láser (fig. 1.17). Asimismo, las finísimas gotas de agua presentes en la niebla hacen que la luz se disperse mucho y resulte poco eficaz la linterna convencional en la niebla o los faros normales del coche. En cualquier caso, estamos hablando de un fenómeno que ocurre comúnmente con la luz, que se llama **dispersión de la luz**.

Pero, ¿en qué consiste la dispersión de la luz? Imagínate mentalmente la siguiente experiencia: disponemos de un conjunto de canicas; en un instante dado las lanzamos todas contra una portería de fútbol. Lo normal será que ninguna sufra desviación alguna. ¡Es tan grande la portería que a ver quién no mete gol! Ahora imagínate que ponemos una línea de clavos que se hallen separados entre sí por una distancia similar a la del diámetro de las canicas y lanzamos las canicas contra esa línea de clavos (fig.1.18). ¿Qué sucederá? Es fácil imaginar que unas pasarán, otras no y la mayoría, en general, serán desviadas en distintas direcciones. Pues bien, se habrá producido la **dispersión** de las canicas. Imagínate ahora que el tamaño de las canicas es la lon-



CUESTIONARIO

- ¿Qué requisito crees que debe cumplirse para que se produzca dispersión de la luz?



gitud de una onda y que los clavos son los átomos de las moléculas atmosféricas.

Ese requisito que acabas de deducir lo cumplen las moléculas de oxígeno, nitrógeno y el resto de moléculas que componen nuestra atmósfera. Ahora bien, el fenómeno de dispersión de la luz se rige por una ley que fue deducida por **Lord Rayleigh** y que viene a decir lo siguiente: *"la cantidad de luz dispersada o esparcida es directamente proporcional a la energía (o frecuencia) de esa luz elevada a la cuarta potencia"*. Por tanto:

La luz que nos llega del Sol es blanca. Pero el blanco no es más que la combinación o superposición de todos los colores que hemos llamado del "visible" (es decir, del rojo al violeta). Por eso, cuando la luz blanca llega a la atmósfera, cada uno de sus colores componentes sufre su dispersión particular, siendo el azul y violeta los que se dispersan en mayor cantidad en todas las direcciones. Por eso, **cuando es de día el cielo se nos presenta de un color azul aplastante**, al ser el color cuya dispersión predomina sobre las demás. Sin embargo, en la Luna, al no haber atmósfera, no hay dispersión y el color del cielo se presenta en su color real (negro). (ver figs. color 1.72 a 77).

CUESTIONARIO

8. Qué color del visible, a la vista del diagrama del espectro, será el que más se esparza o disperse en nuestra atmósfera? ¿Te da eso alguna pista para explicar la coloración de nuestro cielo?



¿SABÍAS QUE...?

Nuestros ojos son como antenas receptoras de ondas, pero sólo son sensibles a la llamada "radiación visible", es decir, la que comprende desde el color rojo al violeta. Sin embargo, la sensibilidad del ojo también depende del color, que resulta máxima para la zona verde-amarilla del espectro de colores (para una longitud de onda de unos $5,6 \cdot 10^{-7}$ m). La visión es el producto de las señales transmitidas al cerebro por dos elementos presentes en la retina (fondo del ojo), que son los "conos" y los "bastoncillos". Los conos constituyen los elementos sensibles en presencia de luz intensa (ej. luz diurna) y son sensibles al color, mientras que a baja intensidad de luz (ej. noche), son los bastoncillos los responsables de la visión, estos últimos insensibles al color. De ahí que por la noche, en completa oscuridad, no seamos capaces de distinguir colores. Por la misma razón, la visión de objetos como nebulosas, galaxias, cúmulos, etc. (de una intensidad de luz muy tenue) a través del telescopio suele aparecer en "blanco y negro" para nuestros ojos. Sin embargo, al fotografiar esos objetos con carretes de alta sensibilidad aparecen con sus bellos colores.

Por el contrario, y como puede observarse en la gráfica que representa la sensibilidad relativa de los conos a la visión de los colores, éstos son sensibles a todos los colores que van del rojo al azul, pero son prácticamente insensibles al violeta. Tal es la razón de que el color que observamos en el cielo diurno sea azul y no violeta, como cabría esperar según el criterio de Lord Rayleigh.

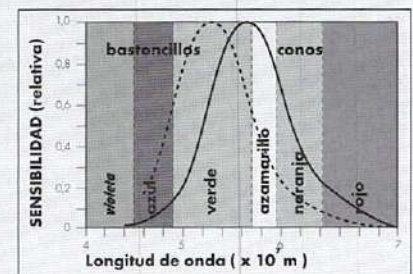


FIGURA 1.19. Sensibilidad relativa de los conos y bastoncillos a los colores.



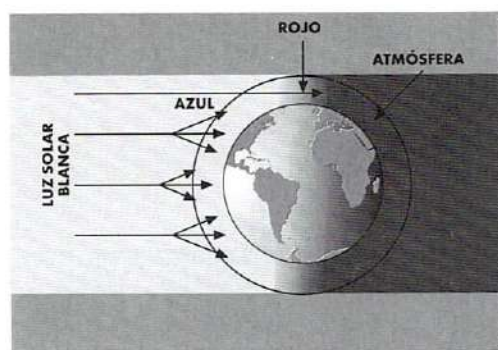


FIGURA 1.20. La luz roja, de baja frecuencia, sufre menor dispersión y logra atravesar más capa atmosférica.



FIGURA 1.21

A: Península Ibérica de día en foto satélite.

B: Península Ibérica de noche en foto satélite

C: Boina luminosa sobre Madrid vista a 60 km de la capital.

5.2. El cielo del amanecer y del atardecer

Ahora bien, habrás observado que cuando amanece o atardece el cielo se pone su traje de luces, en el que el color predominante es el rojizo. ¿Por qué ocurre esto? Imagínate de nuevo el siguiente experimento mental: contra la hilera de clavos de antes mandamos ahora un puñado de rodamientos muy pequeñitos. En este caso no habrá tanta dispersión como en el caso de las canicas, por lo que casi todos los rodamientos lograrán atravesar la hilera de clavos. ¿En qué se traduce esto? Pues, sencillamente, en que llegarán más lejos que las canicas. Pues bien, la luz roja, al sufrir menos dispersión, logrará atravesar más capa de atmósfera que los demás colores. Por eso, al atardecer o al amanecer, como los rayos de sol son más rasantes con respecto a nosotros, tienen que atravesar mayor longitud de atmósfera hasta llegar a nuestros ojos, como puedes ver en el dibujo de la figura 1.20. Y esa mayor longitud sólo es capaz de alcanzarla el color rojo, debido a lo cual el Sol y el cielo circundante se ven de color rojo-anaranjado al amanecer y al atardecer (ver fig. color 1.78).

5.3. El cielo de noche

Si tenemos la posibilidad de alejarnos de nuestras ciudades, pueblos o cualquier otra zona iluminada y adentrarnos en pleno campo de noche, al alzar la vista al cielo nos encontraremos con una visión realmente estremecedora; el cielo se puebla de multitud de puntos luminosos, unos más brillantes que otros y algunos con distintas coloraciones. ¡Qué diferencia con respecto a nuestros cielos urbanos, donde cada vez observamos menos estrellas y los puntos luminosos predominantes en el cielo son los aviones o las farolas en el horizonte! (fig. 1.21).

Habitualmente solemos decir que lo que se ve en el cielo nocturno como puntos luminosos son "estrellas". Sin embargo, pronto descubriremos (a lo largo de este curso) que no todo lo que luce son estrellas, sino que pueden ser también cúmulos o agrupaciones de estrellas, nebulosas, galaxias, planetas y, ocasionalmente, cometas u otros cuerpos menores. Por tanto, nos referiremos a ellos en conjunto con el término de "objetos celestes".

Si la operación que se te propone en la actividad anterior la continuas haciendo al cabo de más horas, verás que el aspecto del cielo cambia; aquellas estrellas que estaban casi sobre el horizonte en dirección este, de repente se encuentran altas en el cielo. Por el contrario, las que aparecían sobre el horizonte oeste han desaparecido. Otras, sin embargo, siguen viéndose, aunque su situación en el cielo ha cambiado. Pero... ¿por qué se mueven las estrellas?



PRACTICA EN CASA

Asómate a tu ventana, terraza o jardín y dibuja el horizonte que veas (casas, antenas, etc.). Cuando sea de noche, elige una hora determinada y dibuja las estrellas más brillantes sobre tu horizonte. Repite la misma operación al cabo de una hora. Para determinar la altura relativa de las estrellas sobre el horizonte puedes ayudarte con una regla transparente (más adelante haremos una práctica similar pero midiendo las distancias relativas con mayor precisión mediante el empleo de aparatos que construirás tú).

Anota el resultado de tus observaciones para discutirlos en la próxima clase.

Realmente no son las estrellas las que se desplazan, sino que el "movimiento aparente de las estrellas" (o lo que llamamos el **movimiento aparente de la bóveda celeste**) es el resultado de nuestra visión desde una Tierra que gira alrededor de su eje Norte-Sur (fig. 1.22). Por tanto, la explicación es la misma que la del "movimiento aparente del Sol" de Este a Oeste. Desde nuestro punto de vista de observadores anclados en Tierra, es lo que nos circunda lo que parece moverse a nuestro alrededor. Algo así como cuando vamos en un tiovivo y vemos a la gente que está de pie girar a nuestro alrededor (fig. 1.23).

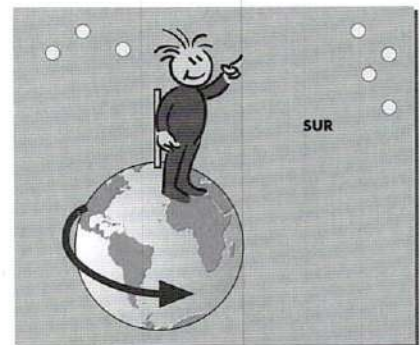
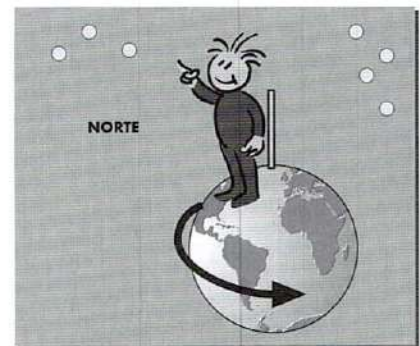


FIGURA 1.22. Las estrellas que vemos por la noche parecen desplazarse. Sin embargo, somos nosotros los que giramos conjuntamente con la Tierra, cambiando nuestra perspectiva del cielo.



PRACTICA EN CASA

- Vuelve a salir al cabo de veinticuatro horas a tu ventana, terraza o jardín y repite la misma operación de la actividad anterior. ¿Qué conclusiones obtienes?
- Si dispones de una cámara de vídeo (ya sea en casa o en el instituto), colócala encima del plato giradiscos de un tocadiscos y hazlo girar mientras la cámara está grabando. Coloca en su campo de visión algunos objetos (p. ej. pelotas). Observa después la grabación en la televisión. ¿Qué es lo que "parece moverse"?

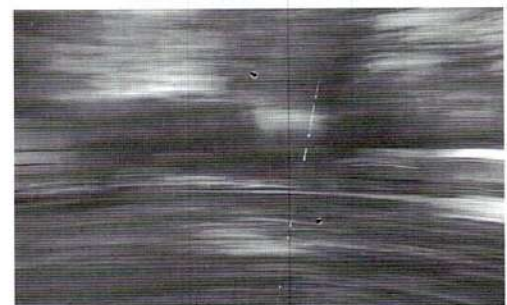


FIGURA 1.23. A: Visto desde fuera, el tiovivo está girando. **B:** Visto desde el tiovivo, parecen ser las personas de fuera las que giran en sentido contrario.



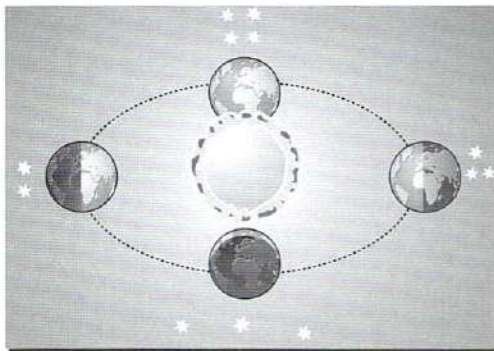


FIGURA 1.24. Debido a la traslación anual de la Tierra alrededor del Sol, el aspecto del cielo nocturno cambia de perspectiva.

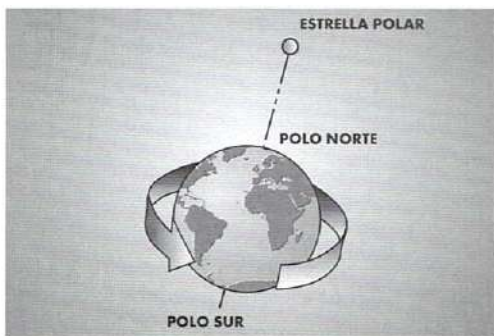


Figura 1.26. El movimiento aparente de las estrellas es el resultado del movimiento de giro de la Tierra alrededor de su eje.



Figura 1.27. La mayoría de los telescopios llevan acoplado en la montura un motor de seguimiento que permite "fijar" la imagen de los cuerpos celestes.

Asimismo, el aspecto del cielo nocturno cambia en las distintas estaciones del año debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, con lo que varía nuestra perspectiva visual nocturna, como puede observarse en la figura 1.24.

El movimiento aparente de la bóveda celeste a lo largo de un día puede constatarse realizando una fotografía de larga exposición centrada en la estrella Polar. El resultado, como puede observarse en la figura 1.25, es que todas las estrellas parecen girar alre-



FIGURA 1.25. En esta figura de larga exposición centrada en la Polar observamos el movimiento aparente de las estrellas.

dedor de un punto muy próximo a dicha estrella Polar; dicho punto es el que denominaremos **polo norte celeste**. La razón estriba, como podemos observar en la figura 1.26, en que si prolongamos hacia el cielo la línea del eje de rotación de la Tierra, dicha línea apuntará muy aproximadamente hacia la estrella Polar (de ahí su nombre), por lo que, a la vez que la Tierra gira alrededor de su eje, el resultado aparente observado desde la Tierra será que las estrellas del firmamento parecen rotar alrededor de ese polo norte celeste.

Dicho movimiento aparente puede constatarse también, en pocos segundos, centrando cualquier objeto celeste en un telescopio sin motor de seguimiento; observaremos cómo el objeto se desplaza por el campo de visión del telescopio hasta que desaparece. La razón es la explicada anteriormente; nuestro telescopio, anclado en Tierra, se mueve con ella, por lo que observaremos las estrellas moviéndose. Este problema se soluciona acoplando en los telescopios el llamado "motor de seguimiento", que hace girar al telescopio con la misma velocidad con que lo hace la Tierra pero



en sentido contrario, con lo cual el telescopio queda en reposo con respecto al cielo (fig. 1.27).

Al final de esta unidad se te darán indicaciones para que puedas obtener tu propia fotografía del movimiento aparente.

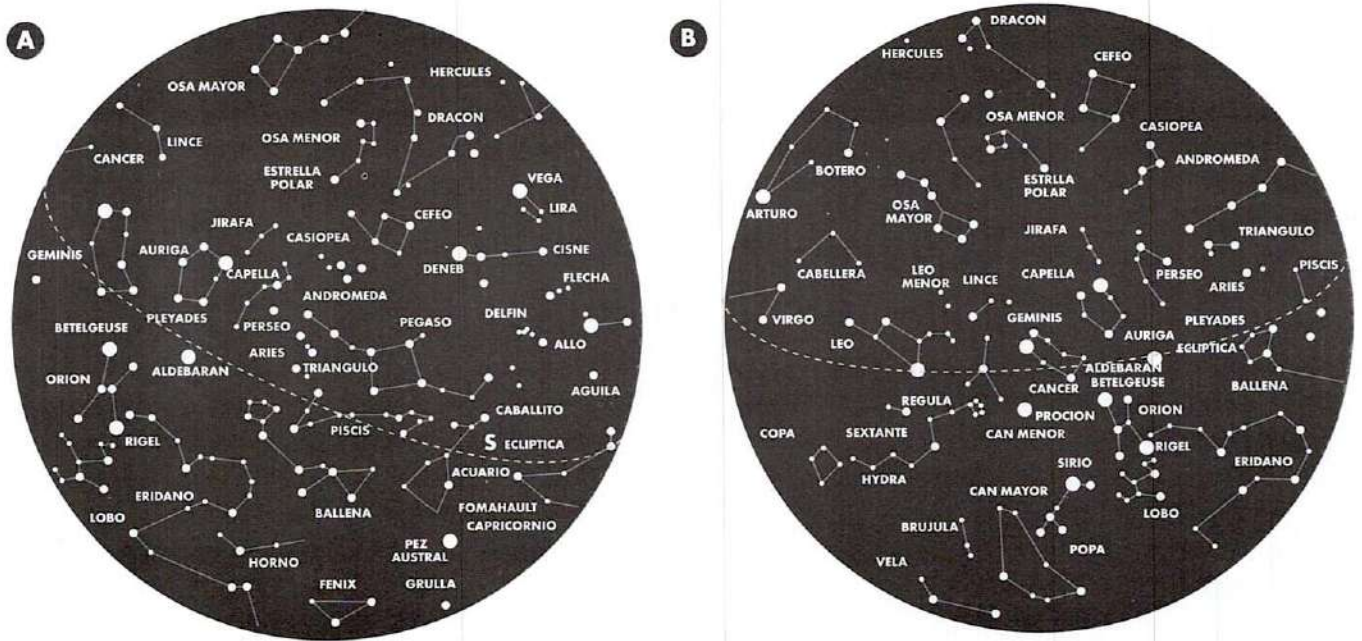
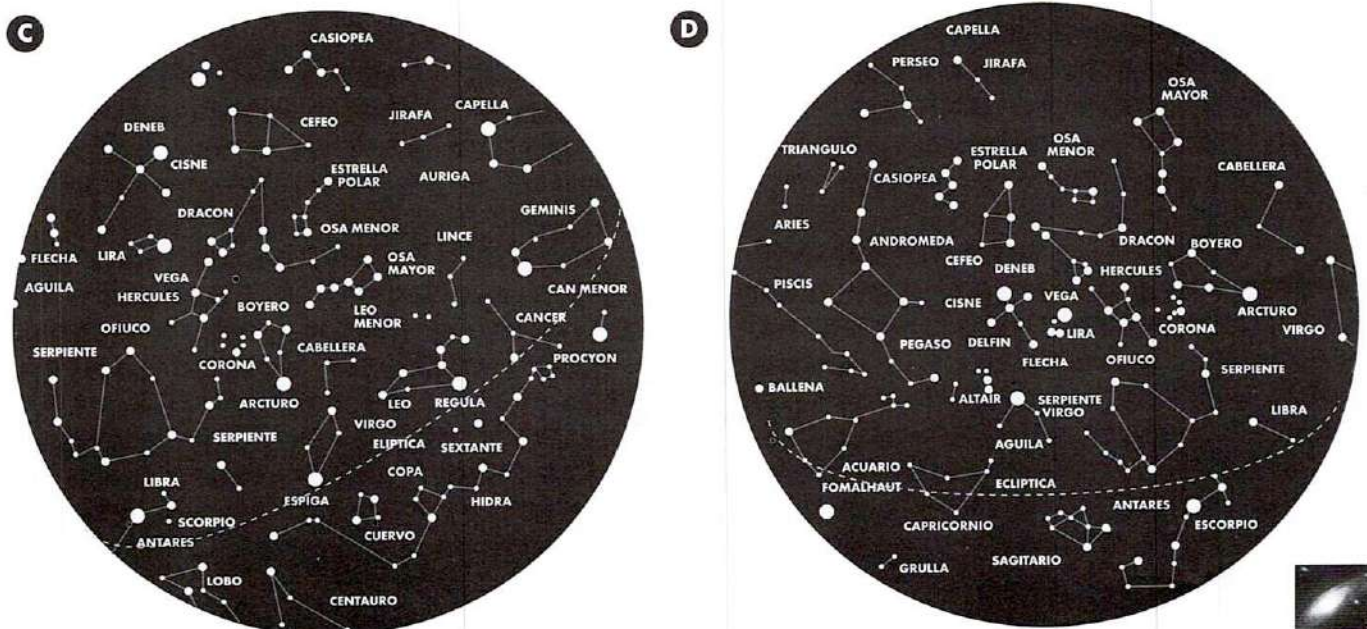


FIGURA 1.28. **A:** Aspecto del cielo en otoño (octubre). **B:** Aspecto del cielo en invierno (enero). **C:** Aspecto del cielo en primavera (abril). **D:** Aspecto del cielo en verano (julio).



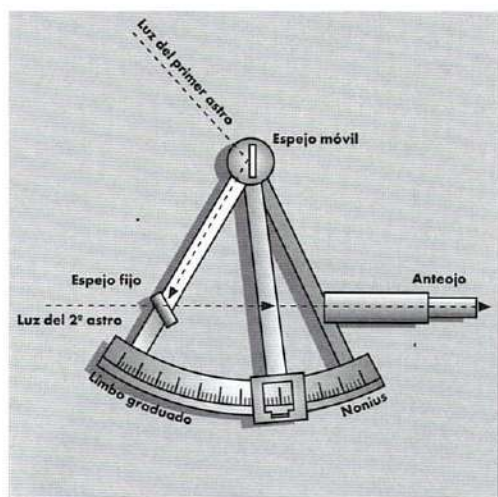


FIGURA 1.29. Sextante.



FIGURA 1.30. Aspecto del cielo en una noche estrellada.

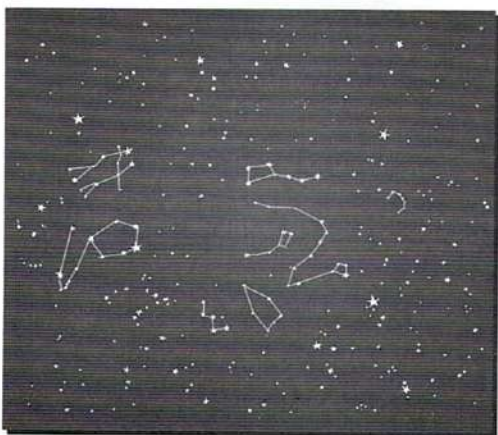


FIGURA 1.31. Las figuras de las constelaciones nos facilitan el reconocimiento de las estrellas.

A su vez, y como hemos citado anteriormente, el aspecto del cielo también cambia según las estaciones del año. De nuevo, la única estrella inmutable es la Polar. En las siguientes ilustraciones puedes observar el aspecto del cielo en las distintas estaciones (fig. 1.28).

Asimismo, podéis comprobar cómo aparecen, desaparecen y rotan las constelaciones. Algunas de ellas, sin embargo, no desaparecen de nuestro cielo en ningún momento del año; tan sólo bailan alrededor de la Polar. Son las llamadas estrellas o constelaciones circumpolares.

6. CONSTELACIONES Y ESTRELLAS

En la lectura del comienzo de la presente unidad habrás observado que la aparición de ciertas estrellas en el cielo marcaba hitos como la recogida de cosechas, o el momento de la siembra, se asociaban con el comienzo de los fríos o, en otras ocasiones, era motivo de alborozo porque suponía la llegada del buen tiempo, etc. Es decir, muchas civilizaciones basaban sus actividades en función del aspecto del cielo.

Por otra parte, los primeros marinos fueron los que con más ahínco escudriñaron el cielo buscando estrellas que les sirvieran de referencia, que les orientaran. ¿Quién no ha oído hablar del sextante como uno de los instrumentos fundamentales de navegación? (fig. 1.29). Su cometido era orientarse a través de las estrellas del cielo.

Todo ello requería un conocimiento profundo del cielo. Actualmente disponemos de grandes telescopios, incluso de telescopios espaciales, pero...¿cómo conocieron el cielo en la antigüedad?

Si alzas la vista al cielo en una noche oscura y estrellada podrás observar un panorama parecido al de la ilustración 1.30.

Es evidente que reconocer alguna estrella dentro de ese enjambre requiere algo más que agudeza visual.

Los antiguos pobladores de Mesopotamia y, posteriormente, los griegos, creyeron ver en el cielo figuras de animales y míticos.



cas, tanto de dioses como de héroes o bellezas. Ciertos grupos de estrellas se asemejaban, según ellos, a dichas figuras. Imaginación y capacidad de abstracción, dicho sea de paso, no les faltaban, pues hay que hacer un gran esfuerzo imaginativo para reconocer, por poner un ejemplo, a Casiopea, esposa de Cefeo, rey de Etiopía, en lo que a nosotros se nos antoja como una simple uve doble. Pero dichas figuras han llegado hasta nosotros como las llamadas constelaciones. Algunas se designan con nombres de animales: **Osa Mayor, Osa Menor, Dragón, León, Escorpión, Toro, Serpiente, Cangrejo, Carnero, Ballena**, etc. Otras reciben nombres de la mitología griega: **Casiopea, Andrómeda, Pegaso, Cefeo, Perseo, Orión, Hércules**, etc., y otras se denominan mediante los objetos que rememoran: **Balanza (Libra), Corona Boreal, Triángulo, Sagitario**, etc. (fig. 1.32)

Todas estas constelaciones aparecen recogidas en el *Almagesto* de Ptolomeo, del año 137 de nuestra era, que se basan en el catálogo de Hiparco del siglo primero antes de nuestra era.

Por otra parte, las constelaciones propias del cielo austral (del hemisferio sur) no fueron popularizadas hasta después del descubrimiento. Así, Bayer introduce en 1603 doce constelaciones más en su obra *Uranometría*. Son: Pavo, Tucán, Grulla, Fénix, Pez Espada, Pez Volador, Hidra Macho, Mosca, Camaleón, Ave del Paraíso, Triángulo Austral e Indio. Más tarde, en 1679, Royer dibujó la Paloma y la famosa Cruz del Sur. (fig. 1.33).

Observa ahora las estrellas anteriores pero agrupadas en algunas constelaciones (fig. 1.31).

Como habrás observado, si uno se acostumbra a dichas figuras, resultará más fácil encontrar algunas estrellas u objetos celestes. Deberás practicar en casa trazando constelaciones en mapas celestes mudos para familiarizarte con las principales de ellas.

No obstante, los límites de las constelaciones trazados en la antigüedad, bastante sinuosos, fueron alterados en 1922, entendiéndose actualmente las constelaciones como regiones del cielo más que como figuras. De este modo, algunas constelaciones grandes fueron divididas en constelaciones más pequeñas. Ahora, todo el cielo se divide convencionalmente en 88 regiones, también denominadas constelaciones (fig. 1.34).



MAPA DEL CIELO BOREAL

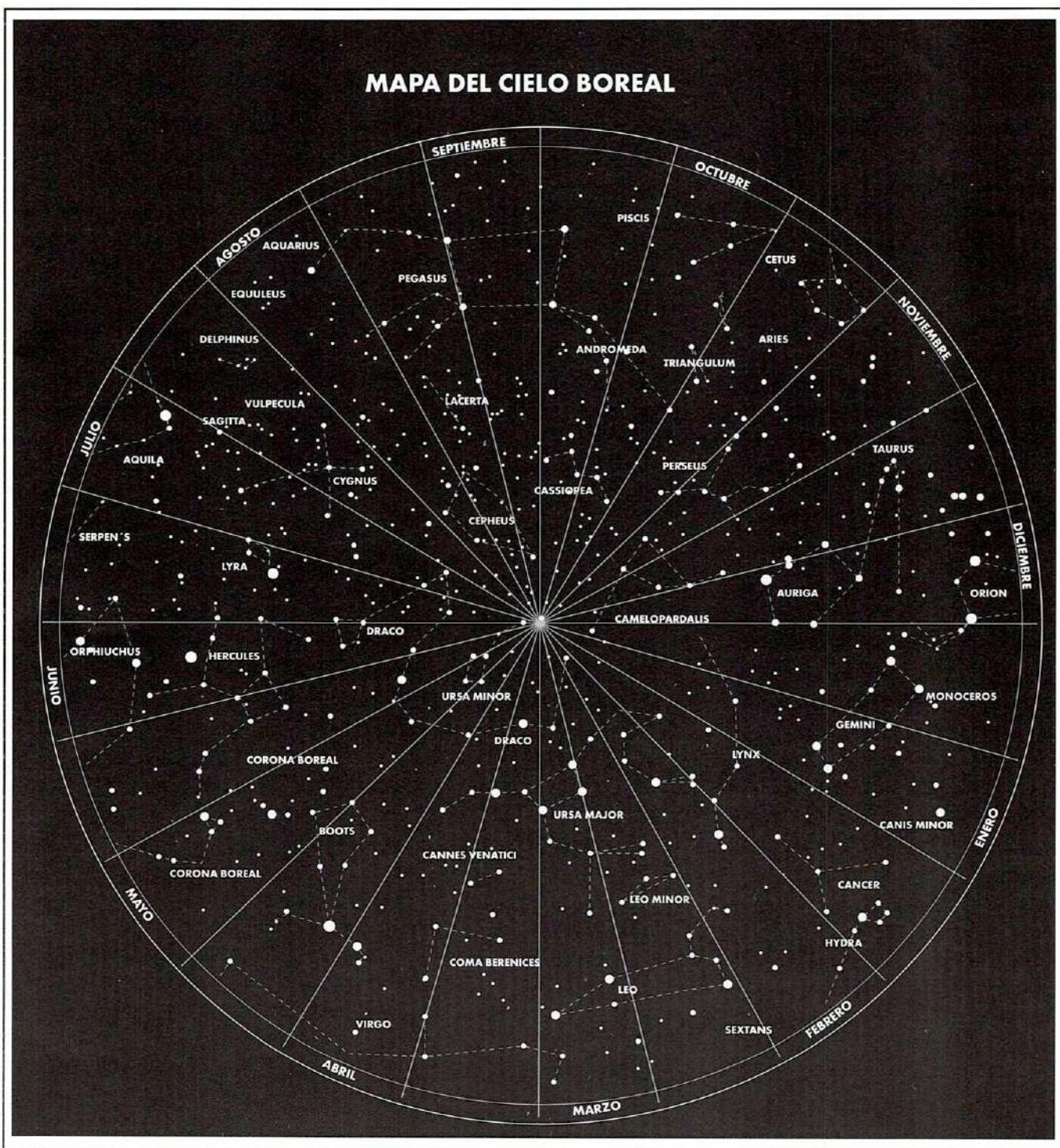


FIGURA 1.32. Constelaciones del hemisferio boreal (Norte).

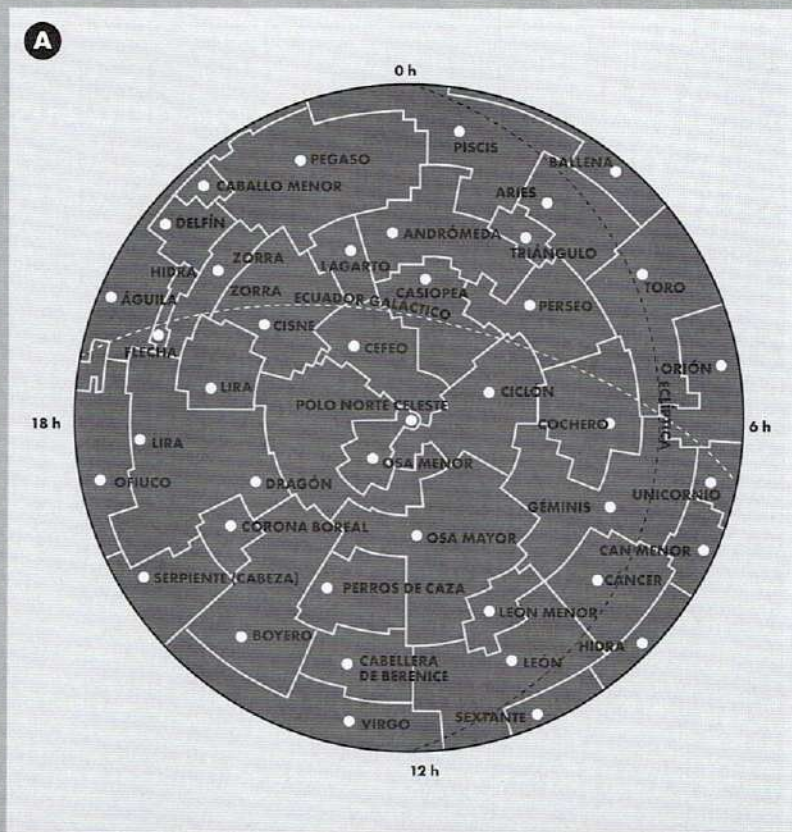


39

FIGURA 1.34. En la actualidad, el cielo se ha dividido en regiones correspondientes a una constelación.

A: Hemisferio norte.

B: Hemisferio sur.



¿SABÍAS QUE...?

Las constelaciones del zodiaco son 13 y no 12, como siguen sosteniendo los astrólogos. ¿Hay alguno de vosotros que se reconozca bajo el signo zodiacal de Ofiuco? Pues, es el decimotercer signo y se encuentra entre Escorpión y Sagitario, así que algunos de los que os creáis Sagitario, bien podéis ser Ofiuco. La razón es que el Sol, en su movimiento anual aparente a través de las constelaciones zodiacales, atraviesa una zona que pertenece, según la división de 1922, a la constelación de Ofiuco. Así pues, Ofiuco es una constelación, por derecho propio, tan zodiacal como las demás.

Por otra parte, desde el siglo XVII, a instancias del anteriormente mencionado Bayer, se empezaron a designar con letras del alfabeto griego las estrellas más brillantes de cada constelación. De esta forma, la letra griega α (alfa), designa a la estrella más brillante de la constelación; la letra β (beta) es la segunda más brillante, seguida de las estrellas γ (gamma), δ (delta), ϵ (épsilon), etc., así hasta ω (omega). Estas letras las encontraremos junto a las principales estrellas en todos los planisferios y en cualquier artículo astronómico referido a las estrellas. La forma de nombrar las estrellas es mediante las letras citadas seguidas del genitivo latino del nombre de la constelación. Así, por ejemplo, la **estrella Polar** se denomina **Alfa Ursae Minoris**, textualmente alfa de la Osa Menor. En los catálogos puede aparecer como α -U Mi.

Por otra parte, cerca de 130 estrellas brillantes tienen nombres propios. Algunos de ellos son los siguientes:



41

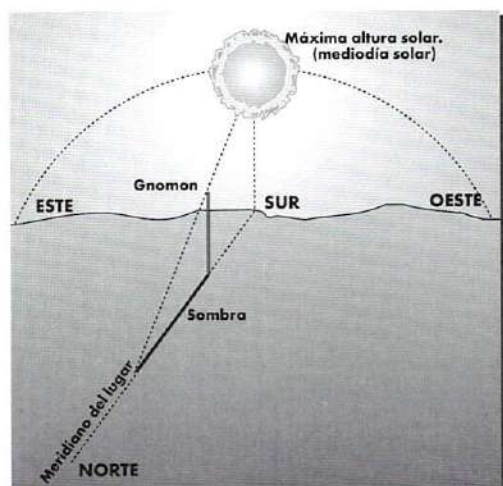


FIGURA 1.35. En el momento en que la sombra de un gnomon (palo vertical) señala al norte, el Sol está en su máxima altura en el Sur: es el mediodía solar.

De todos los tiempos que se definen en astronomía, nos vamos a centrar en los dos más utilizados: el **tiempo universal (T. U.)** y el **tiempo sidéreo (T. S.)**

TIEMPO UNIVERSAL: Es el tiempo solar correspondiente al meridiano de Greenwich. Se entiende por tiempo solar verdadero el que transcurre entre dos pasos sucesivos del centro del Sol por el mismo meridiano. Al pasar por el meridiano de un lugar, el Sol se encuentra, en ese punto, en su máxima culminación diurna (máxima altura) o sea, en lo que llamamos el mediodía. Así pues, cuando atraviere el meridiano de Greenwich serán las 12 h T. U. (fig. 1.35).

Por consideraciones políticas y económicas, basadas sobre todo en el acomodo de la jornada laboral a las horas de sol, los relojes se adelantan o atrasan para distinguir un "horario de verano" y otro de "invierno" en la mayoría de los países de la U. E. **En España, el tiempo oficial es una hora más que el T. U. en invierno y dos horas más que el T. U. en el horario de verano** (ver fig. 1. 36) lo que tendremos que tener en cuenta cuando queramos observar un evento astronómico (p. ej.: un eclipse), ya que todos los datos astronómicos que aparecen en las revistas de astronomía o en los anuarios de los observatorios vienen en T. U. También, como veremos más adelante, los planisferios se leen en T. U.



FIGURA 1.36. Por razones fundamentalmente económicas, en la mayoría de los países de la UE se distingue un horario de verano y otro de invierno.

$$\text{Así pues, para España:} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Horario de invierno} = \text{T. U.} + 1 \text{ h} \\ \text{Horario de verano} = \text{T. U.} + 2 \text{ h} \end{array} \right.$$

Por tanto, en un día de diciembre, el mediodía solar se producirá a las 13 h en España (más rigurosamente, en Castellón o cualquier otra localidad situada exactamente en el meridiano de Greenwich), mientras que en un día de junio, dicho mediodía solar tendrá lugar a las 14 h oficiales.

Como comienzo del día solar verdadero en un determinado meridiano se considera el momento de la culminación inferior del Sol en ese meridiano (medianoche verdadera), es decir, cuando el Sol se halla al mediodía en el meridiano opuesto 180° .



TIEMPO SIDÉREO: Se define como el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de una estrella cualquiera por un meridiano dado. Es decir, en lugar del Sol se considera una estrella cualquiera.

El día sidéreo así definido es algo menor que el día solar en aproximadamente 4 minutos (exactamente 3 minutos y 56 segundos), por lo que también habrá una diferencia entre "año solar" y "año sidéreo".



CUESTIONARIO

9. Teniendo en cuenta que el año solar medio tiene 365,2422 días solares medios, determinad cuántos días sidéreos tiene el año.

La razón de esa diferencia estriba en la proximidad del Sol como estrella. Debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, cuando la Tierra efectúa una rotación sobre sí misma, el Sol ya no se encuentra exactamente sobre el fondo estelar que estaba el día anterior, sino que se ha desplazado aproximadamente 1° sobre ese fondo (ese desplazamiento es aparente; en realidad, como ya sabemos, es la Tierra la que se ha desplazado con respecto al Sol). Dado ese desplazamiento, al cabo de una rotación completa hallaremos el mismo fondo estelar, pero la Tierra habrá de girar un poquito más para encontrarse con el Sol. Ésta es la situación que se describe en el dibujo (de forma un poco exagerada) (fig. 1. 37).

8. CÓMO ORIENTARNOS CON LAS ESTRELLAS

8.1. A simple vista

La orientación con las estrellas es mucho más fiable que la orientación con brújula, debido a que ésta nos orienta según los polos magnéticos, que no coinciden exactamente con los polos geográficos. Sin embargo, sabemos que la **estrella Polar**

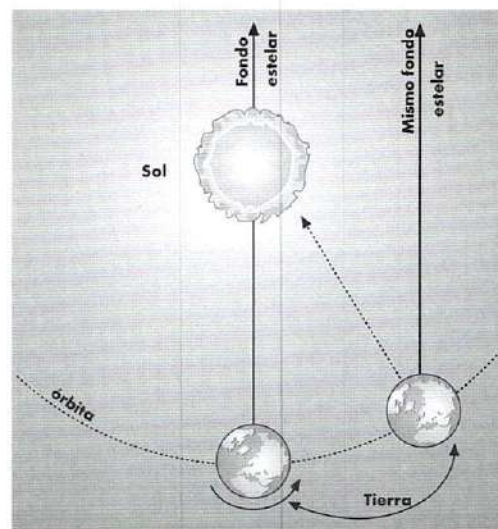


FIGURA 1.37. A la vez que gira, la Tierra se traslada alrededor del Sol, por lo que cuando ha efectuado un giro completo (23 h 56 min), hallaremos el mismo fondo estelar, pero ha de girar un poco más para volver a encontrar al Sol (24 h).



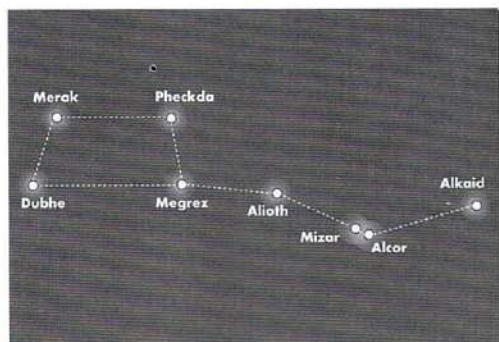


FIGURA 1.38. El Carro de la Osa Mayor.

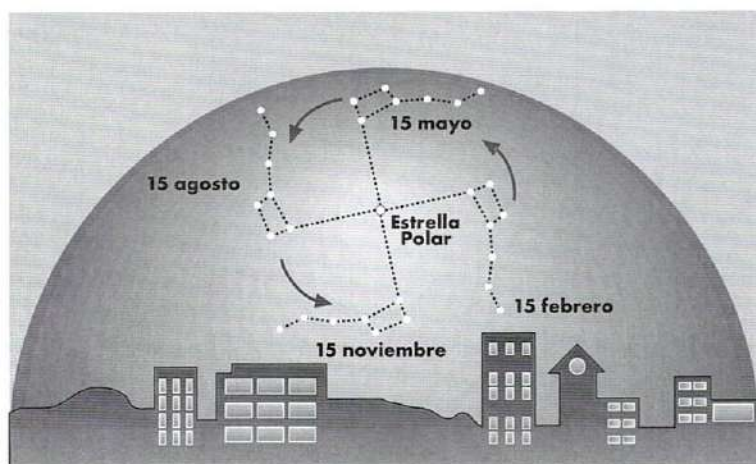


FIGURA 1.39. Movimiento anual de la Osa Mayor alrededor de la Polar. Las posiciones corresponden a las 21 h T. U.



FIGURA 1.40. Al mirar a la Polar, miramos en dirección Norte; nuestra espalda señala el Sur; el brazo izquierdo el Oeste y el derecho el Este.

nos orienta indefectiblemente hacia el Norte. Así pues, será la Polar nuestra brújula más fiable. Por otra parte, cualquiera que haya mirado hacia el cielo habrá observado que la Polar no es una estrella muy brillante y que a veces, sobre todo en cielos urbanos, cuesta mucho dar con ella. Hay un modo muy sencillo de encontrarla, utilizando la verdadera "llave del cielo": la **Osa Mayor**. Esta constelación, incluso en los peores cielos urbanos, es bien visible y además tiene la virtud de ser circumpolar (no se oculta por el horizonte), por lo que es visible durante todo el año. Veamos esta constelación con todas sus estrellas (fig. 1. 38).

Como hemos dicho, es circumpolar, lo que hace que aparezca en diferentes situaciones con respecto a la Polar en distintas fechas observándola a la misma hora. En la figura 1.39 se reproduce cómo se vería esta constelación el 15 de noviembre, el 15 de febrero, el 15 de mayo y el 15 de agosto, en todos los casos a las 21 h T. U.

Pues bien, si prolongamos imaginariamente unas cinco veces el segmento que une Dubhe y Merak en el sentido Merak-Dubhe, encontraremos la Polar y, por tanto, el Norte geográfico. Situándonos cara al Norte y con los brazos en cruz, nuestra espalda señalará el Sur, nuestro brazo izquierdo el Oeste y el derecho el Este (Fig. 1. 40).

A partir de las referencias de la Osa Mayor y la Polar, podemos también identificar a simple vista algunas constelaciones y estrellas bien visibles. Por ejemplo, si desde Alioth trazamos una recta imaginaria que atraviese la Polar, descubriremos en el lado opuesto la famosa W **Casiopea**.

Asimismo, si prolongamos la cola de la Osa (o el mango del cazo) con la curvatura que nos sugiere, nos encontraremos con una de las estrellas más brillantes del cielo y algo rojiza, que es **Arturo**, la estrella de la constelación del Boyero (el que lleva los bueyes). Si seguimos prolongando la curvatura de la cola, llegaremos a Spica, otra estrella brillante (algo menos que Arturo), que es la estrella de la constelación de Virgo.

Por otra parte, si al prolongar la línea Merak-Dubhe hasta la Polar, giramos allí 90° en el sentido opuesto a la cola de la Osa Mayor, hallaremos otra estrella muy brillante: **Capella**, la



estrella α del Cochero (Auriga). Continuando en esa dirección, llegaremos hasta la constelación más famosa de los cielos de invierno: **Orión**, con sus "tres marías" (las tres estrellas en línea que forman su cinturón), sus estrellas **Rigel**, **Betelgeuse** y **Bellatrix**, y con su imponente nebulosa **M 42**, bien visible con prismáticos. A su vez, si seguimos la recta que nos sugiere el cinturón de Orión en el sentido opuesto al arco del cazador, nos encontraremos con la estrella más brillante de los cielos de invierno; **Sirio**, la α del Can Mayor.

En el lado opuesto del cielo, si trazamos una recta entre Megrez y la Polar y giramos 90° en el sentido de la cola de la Osa Mayor, llegaremos a **Vega**, la α de Lira, una de las estrellas más brillantes de los cielos de verano.

Estas situaciones descritas las podéis ver en el dibujo de la figura 1.41.

Orientación con el planisferio celeste

Uno de los instrumentos que no pueden faltar a la hora de reconocer las estrellas del cielo es el **planisferio**. Igual que sería impensable aprender geografía sin mapas, tampoco será posible aprender a reconocer las estrellas sin **mapas celestes** o planisferios. En el caso que vamos a referir hablaremos, lógicamente, del planisferio correspondiente a las estrellas observables desde el hemisferio norte (fig. 1.42).

El planisferio consta de dos partes: una **parte fija** y una **parte móvil** que gira. Vamos a describir la información que contiene cada una de las partes.

- a) **Parte móvil:** La parte móvil o giratoria es de plástico y en ella podemos distinguir una zona transparente que nos indicará la porción de cielo visible a la latitud correspondiente en la que nos encontramos (en la Península, 40 grados de latitud media) y una zona blanca que delimita la "línea de horizonte" a esa latitud, con los puntos cardinales. Como es lógico pensar, las estrellas que están por debajo del horizonte no son visibles. En la zona transparente está dibujada la línea Norte-Sur y en el punto medio de esa recta aparece un punto a tener en consideración: el **cenit**, que es el punto del cielo que se encuentra en la vertical de nuestra cabeza. Así pues, las estrellas que aparezcan en el planisferio cerca del cenit serán las que veamos sobre nuestras cabezas en el cielo.

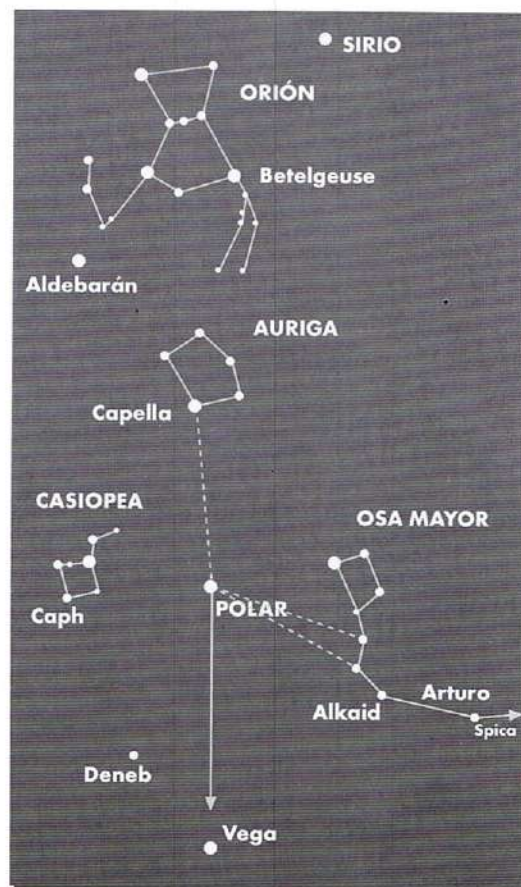


FIGURA 1.41. El Carro de la Osa Mayor es la "llave del cielo", que nos permite reconocer algunas de las estrellas principales.

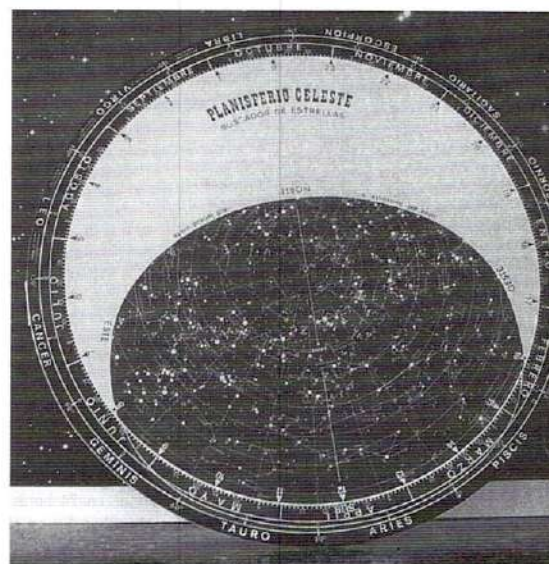


FIGURA 1.42. Planisferio celeste.

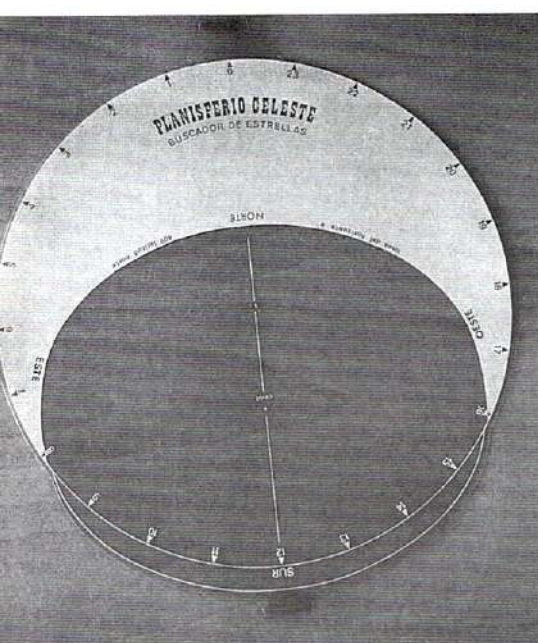


FIGURA 1.43. Parte móvil (de plástico transparente) del planisferio.

En el contorno de la parte móvil hay una numeración del 0 al 23 ordenada en sentido contrario a las agujas del reloj; es la escala horaria con la que fijaremos la hora correspondiente al aspecto del cielo que deseamos observar. Hay que tener en cuenta que dicha escala corresponde a **T. U. (tiempo universal)**, por lo que habrá que restar a la oficial una o dos horas según la época que sea (fig. 1.43).

- b) **Parte fija:** (fig. 1.44) La parte fija suele ser de cartón rígido y coloreada de negro, como el cielo nocturno. Sobre ella están dibujadas las constelaciones, estrellas y otros objetos celestes que pueden verse a lo largo de un año en el hemisferio norte. El nombre de las constelaciones suele venir en mayúsculas y en minúsculas el de las estrellas principales. Las estrellas aparecen dibujadas como puntos blancos cuyo diámetro es relativo a su brillo. Así, las estrellas más brillantes del cielo aparecen en el planisferio como puntos blancos más grandes.

En el centro de esta parte fija se halla el polo norte celeste (muy aproximadamente, la Polar). Es el punto central del planisferio en el que se juntan 24 líneas radiales, los **meridianos celestes**, que estudiaremos en la siguiente unidad. A su vez es el centro de un conjunto de círculos concéntricos, los **paralelos celestes**. Observad que esta notación es exactamente la misma que la usada para los mapas terrestres convencionales (meridianos y paralelos) y que el aspecto del planisferio es idéntico al de un mapa terrestre centrado en el polo norte geográfico con los meridianos saliendo de él y los paralelos como círculos concéntricos.

Asimismo, al igual que un punto geográfico terrestre se localiza mediante las coordenadas latitud y longitud (midiéndose la latitud a lo largo de los meridianos y la longitud a lo largo de los paralelos), un punto celeste se localiza mediante dos coordenadas equivalentes a las terrestres, que son la **declinación** (equivalente a la latitud) y la **ascensión recta** (equivalente a la longitud). Al igual que hacemos con el ecuador y el polo norte terrestre (de latitudes 0° y 90° , respectivamente), el ecuador y el polo norte celestes tienen 0° y 90° de declinación, respectivamente. Los distintos paralelos del planisferio están trazados de 15 en 15 grados. En el meridiano cero (entre Piscis y Aries) aparecen señalados los distintos valores de declinación.

En el contorno de la parte fija aparecen nombradas las constelaciones zodiacales según el criterio astrológico (p. ej.: Tauro,



comprendido entre el 22 de abril y el 22 de mayo). Observad que no se corresponde en nada con la posición astronómica de su constelación, lo que demuestra la falacia y el engaño de las predicciones astrológicas basadas en el supuesto signo zodiacal.

Entre los nombres zodiacales y en el círculo concéntrico que se encuentra justo debajo de esos nombres aparece una numeración que va desde 0° hasta 360° (al cabo de una vuelta completa) y que se corresponde con otra que va desde 0 hasta 24. Ambas escalas miden la **ascensión recta**, en un caso en grados (el menos frecuente) y en otro en horas, minutos y segundos (éstos imposibles de medir con el planisferio). La razón de medirlo así es porque el cielo efectúa, como vimos, una rotación aparente completa (360 grados) en 24 horas, o lo que es lo mismo, gira 15 grados cada hora. Por eso puede apreciarse en el planisferio que 1 hora de ascensión recta equivale a 15 grados. El cero de A. R. (ascensión recta) se encuentra entre Piscis y Aries. En la siguiente unidad estudiaremos estas coordenadas en profundidad. Aquí tan sólo las hemos citado para entender el planisferio en toda su extensión.

Debajo de la escala de A. R. aparecen los meses con sus días. Cada rayita corresponde a un día del mes. Fijaos además que la división de 1 hora de A. R. se corresponde con 15 rayitas de días, con lo que podemos precisar más nuestras medidas en A. R. teniendo en cuenta que cada rayita correspondiente a un día del mes serán 4 minutos en A. R. (pues $4 \times 15 = 60$ minutos o 1 hora).

Pues bien, habiendo entendido ya toda la información que contiene un planisferio, vamos a ver ahora cómo se usa para reconocer las estrellas, así como otras utilidades.

8.2. Reconocimiento del cielo con el planisferio

Imaginad que deseamos conocer el aspecto que presentará el cielo el día 25 de noviembre a las diez de la noche hora oficial (es decir, 21 h T. U). El mecanismo a seguir será el siguiente:

- Haced coincidir el 21 de la parte móvil con la rayita correspondiente al día 25 de noviembre.



FIGURA 1.44. Parte fija del planisferio.

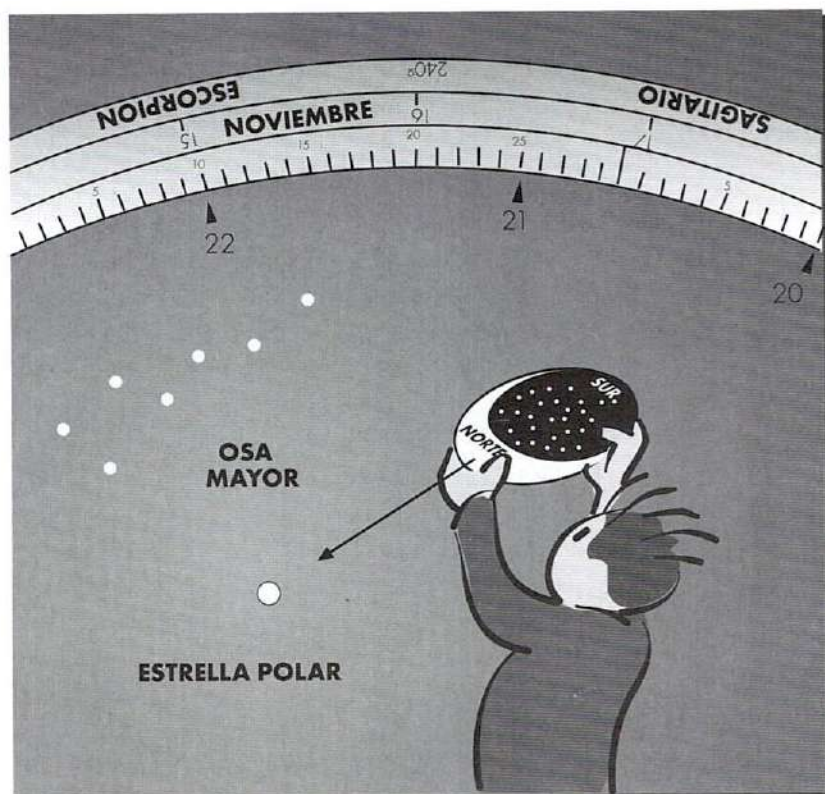


FIGURA 1.45. Reconocimiento del cielo a las 10 de la noche (hora oficial) del 25 de noviembre. Al ser horario de invierno, son las 21 h T. U. Abajo, colocación correcta del planisferio.

- Situada el planisferio por encima de vuestras cabezas y orientad el norte del planisferio hacia la Polar en el cielo. Una vez hecho esto, tendréis reflejado en el planisferio el aspecto del cielo que estaréis observando en ese momento, por lo que podréis ir reconociendo las estrellas y las constelaciones. En las figuras de la página siguiente aparecen las situaciones aquí descritas (fig. 1.45).

Sin duda os llamará la atención la enorme diferencia entre el tamaño real de una constelación en el cielo y su tamaño aparente en el planisferio. Esto es especialmente llamativo en el caso de las constelaciones circumpolares, que en el planisferio aparecen muy pequeñas. Se debe a la inevitable distorsión que se produce al representar una bóveda aparentemente semiesférica en un plano. Las constelaciones más próximas al Ecuador celeste aparecen sobredimensionadas en relación a las circumpolares.

?

CUESTIONARIO

10. ¿Qué estrella está aproximadamente en el cenit el día 24 de diciembre a las diez de la noche, hora oficial?
11. ¿A qué hora oficial aparece Betelgeuse (alfa de Orión) por el horizonte Este el día 13 de diciembre? La hora así estimada es la hora de su orto.
12. ¿A qué hora se ocultará por el Oeste dicha estrella ese mismo día? Esa será la hora de su ocaso.

8.3. Otros usos del planisferio

a) Localización del Sol y determinación de su orto y ocaso

Para saber dónde se encuentra el Sol en un día determinado, se procede de la siguiente manera: desde la rayita correspondiente a ese día se traza una recta imaginaria hasta el centro. El punto de corte de esa recta con la línea de trazos que representa la eclíptica (órbita aparente del Sol por el cielo) nos da la posición del Sol.

Una vez situado el Sol podemos averiguar su hora de salida (orto) y su hora de ocultación (ocaso) del siguiente modo: supongamos que queremos averiguar el orto y el ocaso del Sol el día 6 de diciembre. Localizaremos el Sol como ya hemos explicado. A continuación giraremos la parte móvil hasta que la línea de horizonte Este coincida con la posición del Sol (de este modo

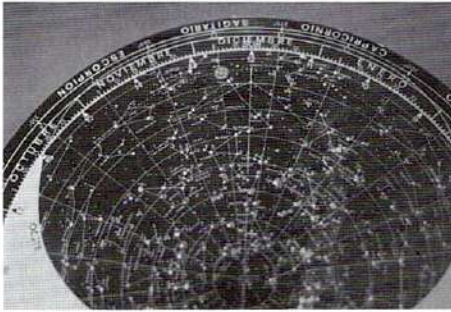


FIGURA 1.46.
Posición del Sol sobre el fondo estelar el día 6 de diciembre.

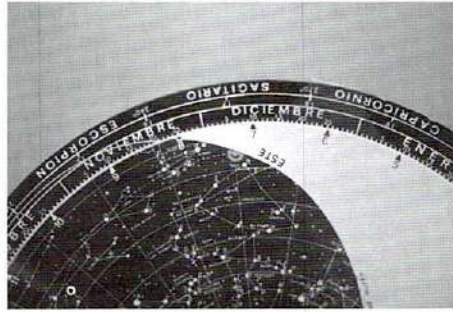


FIGURA 1.47. *Simulación con el planisferio de la salida del Sol el 6 de diciembre por el horizonte Este. Podemos leer la hora del orto el 6 de diciembre, que se produce a las 7 h 16 min (T. U.), aproximadamente.*

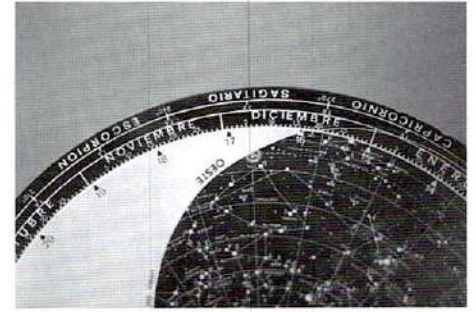


FIGURA 1.48. *Simulación con el planisferio del ocaso del Sol el 6 de diciembre. El ocaso tiene lugar a las 16 h 40 min (T. U.).*

simulamos la salida del Sol por el horizonte Este). Leemos en la parte móvil la hora que coincide con la rayita del 6 de diciembre recordando que, en caso de no coincidir una hora exacta, cada rayita correspondiente a un día equivale a 4 minutos. De este modo, podéis observar que el orto tendrá lugar aproximadamente a las 7 h 16 min T. U. (8 h 16 min, hora oficial). Para determinar el ocaso haremos lo mismo, pero en este caso haciendo coincidir la línea Oeste con la posición del Sol. Al leer la hora debajo del 6 de diciembre observaremos que el ocaso tendrá lugar a las 16 h 40 min T. U., aproximadamente (17 h 40 min, hora oficial). De este modo, restando ambas horas obtendremos las horas de sol de ese día (figs. 1.46, 47, 48).

b) Localización de los planetas

En las revistas de astronomía (fig. 1.49) aparecen las coordenadas en A. R. y declinación de todos los planetas del sistema solar. Por tanto, a partir de esos datos nos resultará sencillo situar los planetas en el planisferio. Nos daremos cuenta en seguida de que prácticamente todos ellos se mueven sobre la eclíptica, lo que significa, como veremos en otra unidad, que el movimiento de la mayoría de los planetas se produce en el mismo plano.

Una vez localizados en el planisferio, podremos ver qué planetas serán observables en el cielo nocturno de hoy, por ejemplo. Bastará saber a qué hora anochece y si a esa hora y en las posteriores el planeta queda en la parte transparente del planis-



FIGURA 1.49. *Revistas de astronomía que pueden encontrarse en el mercado. Lamentablemente, se encuentran muchas más revistas dedicadas a la astrología y temas esotéricos que revistas de astronomía o de divulgación seria de ciencias.*

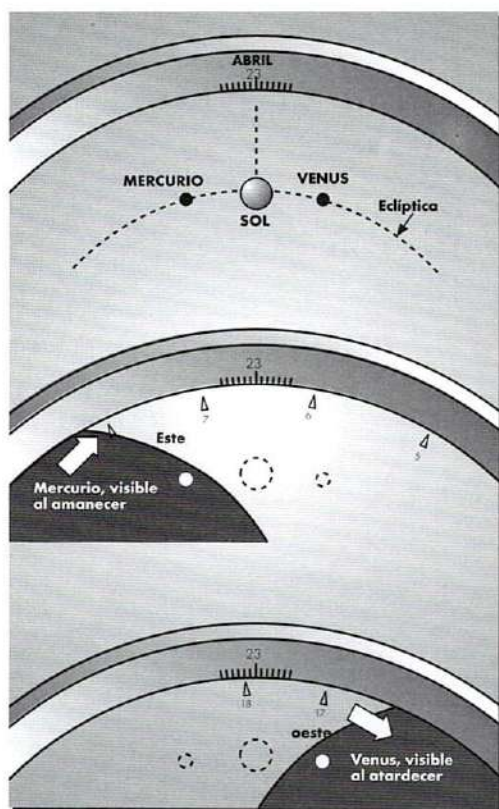


FIGURA 1.50. A: Simulación de posiciones de Mercurio y Venus un 23 de abril. **B:** Al girar la parte móvil, Mercurio aparece antes que el Sol por el horizonte Este: será visible al amanecer. **C:** El último en ocultarse por el Oeste es Venus: resultará, pues, visible después de ponerse el Sol (al atardecer).

ferio (es decir, en la porción de cielo observable). También podremos conocer, siguiendo el método explicado para el Sol, las horas de sus ortos y ocasos y compararlas con los datos que vienen en las revistas.

Los planetas Mercurio y Venus son, por este orden, los más próximos al Sol. Lo cual quiere decir que los veremos siempre como fieles acompañantes del Sol en su aparente movimiento diurno. Dado que durante el día la luz del Sol nos impedirá verlos, sólo podremos observarlos al amanecer (es decir, poco antes de que salga el Sol) o al atardecer (poco después de la puesta de sol). Mercurio siempre se verá muy bajo en el horizonte en esas circunstancias por hallarse más próximo al Sol, mientras que Venus será más favorable en muchas circunstancias, y podrá verse hasta tres horas antes o después de la salida o puesta del Sol (el famoso "lucero del alba" o "del crepúsculo"). Para saber con el planisferio si, a día de hoy, serán visibles al amanecer o al atardecer o si, por el contrario, no resultarán visibles por estar casi en las mismas coordenadas que el Sol, habrá que proceder del siguiente modo:

- Situar el Sol a día de hoy como se ha explicado en el apartado anterior.
- A continuación, y según sus coordenadas, situar Mercurio o Venus.
- Girar la parte móvil del planisferio en el sentido de las agujas del reloj (es decir, hacia la derecha) y observar cuál aparece antes por el horizonte Este. Si el primero que aparece es el planeta, que sale por tanto antes que el Sol, significa que será visible al amanecer. Si seguís girando veréis que, en esas circunstancias, el planeta se oculta por el horizonte Oeste antes que el Sol. Si, por el contrario, es el Sol el que aparece antes que el planeta, también se ocultará antes que él, por lo que, en esas condiciones, el planeta será visible al atardecer (fig. 1.50).

c) Localización exacta de los puntos cardinales Este y Oeste

Como estudiaremos en la siguiente unidad y podréis comprobar en la práctica de seguimiento de la trayectoria solar, el Sol sólo sale exactamente por el Este y se oculta exactamente por el



Oeste dos días al año, que son, aproximadamente, el 22 de marzo y el 22 de septiembre. Sitúa el Sol en el planisferio en cualquiera de esas fechas (¿hay algo que te llame la atención?). Haz coincidir la línea de horizonte Este y posteriormente la del Oeste exactamente con la posición del Sol. Marca con un lápiz o bolígrafo el punto del horizonte Este y posteriormente el del Oeste, que coincida exactamente con la posición del Sol en esa fecha. Esos serán exactamente los puntos cardinales Este y Oeste. En cualquier caso, como verás, son los puntos de corte del horizonte con el ecuador celeste.

d) Diferencia entre día solar y día sidéreo

Elige una estrella cualquiera. ¿A qué hora sale por el este el 10 de noviembre? ¿Y al día siguiente? Observa cómo sale cuatro minutos antes.



CUESTIONARIO (a resolver con el planisferio)

13. ¿Por dónde sale y se oculta el Sol entre los días 22 de marzo y 22 de septiembre? ¿Y entre los días 22 de septiembre y 22 de marzo?
14. ¿Qué días del año se aleja más el Sol de los puntos cardinales Este y Oeste?
15. ¿A cuántos grados del cenit se encuentra el Sol al mediodía el 21 de junio? ¿Y el 21 de diciembre? Teniendo en cuenta que el cenit se encuentra sobre la vertical de nuestras cabezas y, por tanto, a 90° de la línea del horizonte, ¿qué ángulo se ha elevado el Sol al mediodía del 21 de junio? ¿Y del 21 de diciembre?
16. Según lo respondido en la anterior cuestión, ¿cuándo será más larga la sombra proyectada a mediodía por un árbol? ¿Y cuándo será más corta?
17. ¿En qué dirección apunta nuestra sombra al mediodía? (He aquí otra pauta para orientarte sin brújula).



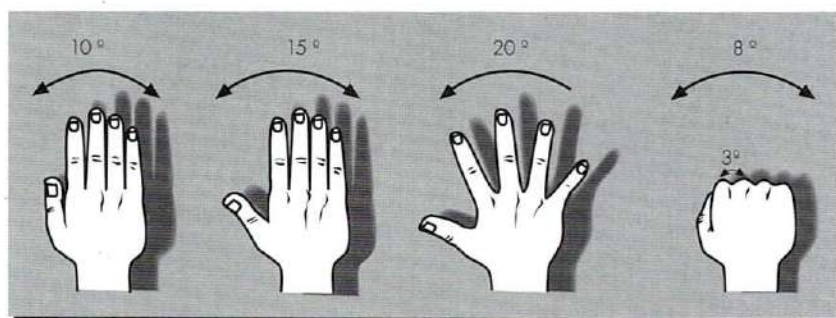


FIGURA 1.51. Usando la mano para medir distancias angulares en el cielo. En todos los casos el brazo ha de estar extendido.

9. DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS ANGULARES

Como hemos citado antes, la diferencia entre el tamaño real de una constelación y su tamaño relativo en el planisferio es, a veces, sorprendente. Cuando hablamos de distancias entre estrellas del cielo o del tamaño aparente de algunos

objetos celestes, lo hacemos siempre en términos angulares. Es decir, aquella estrella está a tantos grados de esta otra o el tamaño angular de la Luna y el Sol es de medio grado.

Con el planisferio, teniendo en cuenta que la distancia angular entre meridianos o paralelos sucesivos es de 15° , nos podemos hacer una idea de las distancias angulares. Sin embargo, y a falta de otros instrumentos que construiremos como actividad para otras unidades, la **mano** es una buena herramienta para determinar aproximadamente las distancias angulares. En el dibujo se detallan los ángulos que podemos medir directamente con la mano (fig. 1.51).



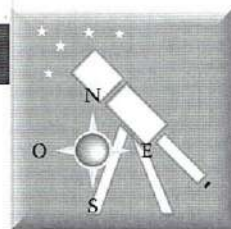
CUESTIONARIO

18. Determinad, con el procedimiento de la mano, las distancias angulares entre las estrellas de la Osa Mayor.
19. Orión, sobre el planisferio, parece una constelación de mayores dimensiones que Casiopea o la Osa Mayor. Determinad con la mano la distancia angular entre las estrellas más alejadas de Casiopea (los extremos de la W) y comparadla con la distancia angular entre Rigel y Betelgeuse de Orión.

Comparad, asimismo, la distancia entre Dubhe y Alkaid de la Osa Mayor con las citadas de Orión.
20. Determinad las distancias angulares entre las estrellas citadas con el planisferio. Podéis ayudaros con una regla milimetrada.



10. TALLER



10.1. El contador de estrellas

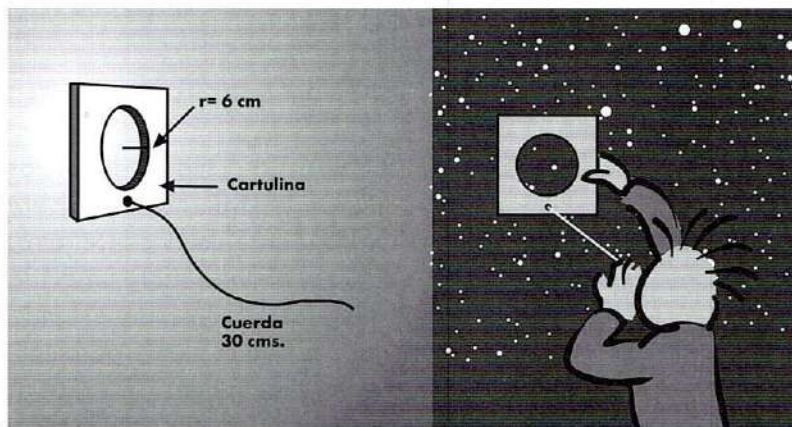


FIGURA 1.52. Contador de estrellas.

FIGURA 1.53. Usando el contador de estrellas.

Con este sencillo instrumento podremos estimar cuántas estrellas se ven a simple vista en nuestra bóveda celeste.

CONSTRUCCIÓN

Necesitáis el siguiente material:

- Cartulina
- Cuerda

- Con un compás, trazad una circunferencia de 6 cm de radio sobre la cartulina y recortadla. La ventana circular que nos queda es, sencillamente, el "contador de estrellas". Haced un agujerito en la cartulina y anudad el cordel. Haced ahora otro nudo exactamente a 30 cm (fig. 1.52).

¿CÓMO SE USA?

Situad el nudo lo más cerca posible del ojo. La porción de cielo que somos capaces de ver a través de la ventana circular a esa distancia del ojo representa un 1% de la bóveda celeste visible (fig. 1.53). Dirigid la ventana a distintas porciones del cielo y contad el número de estrellas que sois capaces de ver en cada



caso. Sumad todas las estrellas que habéis contado y promediad entre el número de visiones. Si el resultado lo multiplicáis por 100, habréis determinado aproximadamente el número de estrellas visibles a simple vista.

10.2. El medidor de paralajes

¿QUÉ ES?

Este sencillo aparato nos servirá para medir distancias usando la técnica del paralaje. Si observáis vuestro dedo sobre el fondo de la pared, primero con un ojo y luego con el otro, observaréis cómo en cada caso aparece el dedo sobre un fondo distinto. Ese desplazamiento "aparente" del dedo sobre el fondo de la pared es lo que denominamos "desplazamiento paraláctico" o, simplemente, "paralaje" del dedo. Pues bien, para muchas estrellas ocurre algo semejante; si hacemos una fotografía de cierta región del cielo en diciembre y otra de la misma región pasados seis meses, podremos observar en ciertas circunstancias cómo alguna estrella parece haberse desplazado ligeramente de su posición. La razón es que, al igual que ocurre con un ojo y otro, en realidad lo que se ha desplazado es el lugar de observación, lo que da lugar a que ciertas estrellas se vean sobre un fondo estelar distinto. Por otra parte, si alejáis progresivamente vuestro dedo, os daréis cuenta de que el desplazamiento paraláctico es cada vez menor. Por tanto, os podéis imaginar que cuando hablamos de paralajes de estrellas, estamos hablando de desplazamientos casi imposibles de medir, por lo que, en realidad, es un **método sólo válido** para estrellas relativamente "cercanas".

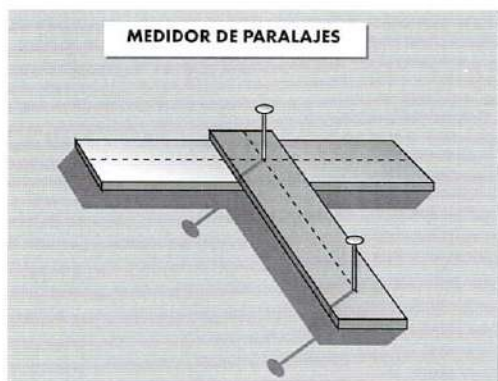


FIGURA 1.54. Medidor de paralajes.

CONSTRUCCIÓN

En la presente actividad vamos a construir un sencillo aparato para medir distancias usando esta técnica, el material necesario es el siguiente:

- Dos láminas de madera fina de contrachapado de 50 x 5 cm
- Tres clavos medianos o largos
- Disponed las dos maderas en forma de "T" como se indica en el dibujo y clavad dos de los tres clavos en la posi-



ción indicada (fig. 1.54). Trazad a su vez con bolígrafo o rotulador una recta perpendicular a la primera y que pase por el clavo superior.

¿CÓMO SE USA?

Elegid un objeto que esté a bastante distancia (por ejemplo, un árbol). Situaros de cara a ese objeto a lo largo de una dirección conocida o determinada con una brújula (por ejemplo, Norte-Sur). Alinead el medidor en la dirección del objeto como se indica en el dibujo A. Ahora desplazaos en dirección perpendicular y con la mayor precisión una distancia determinada y volved a alinear el objeto (cuya orientación no puede cambiar) con el tercer clavo en la dirección de la visual (fig. 1.55).

Una vez hecho esto, los triángulos ABO y OCD son semejantes. ¿Como te las apañarías, usando tus grandes recursos matemáticos, para conocer la distancia AB al objeto?

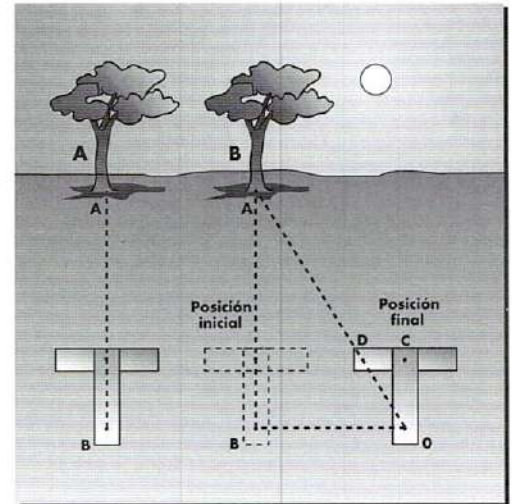


FIGURA 1.55. Midiendo la distancia a una árbol con el medidor de paralajes.

10.3. El nocturnlabio o reloj de estrellas

¿QUÉ ES?

Es un aparato de sencilla construcción que nos permitirá leer la hora por la posición de las estrellas. En esta unidad hemos aprendido que el aspecto del cielo cambia a cada momento y en cada estación. Sin embargo en nuestra latitud la Osa mayor es una constelación circumpolar y da una vuelta alrededor de la polar en 24 horas. Ello va a servir de fundamento a nuestro reloj estelar. El punto de partida es el siguiente: el día 6 de marzo a medianoche en T. U. la línea que une Dubhe y Merak con la polar es exactamente vertical, como se observa en el dibujo (fig. 1.56).

Podemos imaginar que ésa es nuestra aguja estelar, con algunas matizaciones: sólo contamos con una aguja que se mueve en sentido inverso a las agujas habituales. Por tanto habrá que dividir el círculo horario celeste en 24 divisiones en lugar de las 12 habituales, y además en sentido contrario a las marcas del reloj. También, hemos de introducir la corrección necesaria por el hecho de que el día sidéreo tiene 23 h 56 min, por lo que al día siguiente

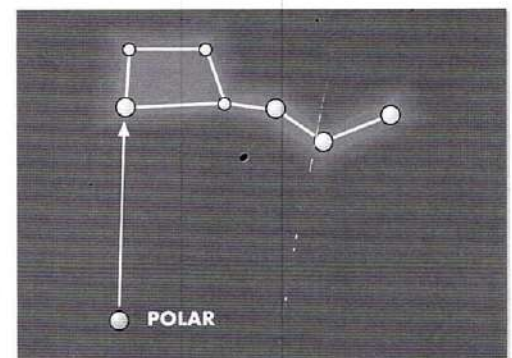


FIGURA 1.56. Posición de la Osa Mayor con respecto a la Polar el día 6 de marzo a las 24 h T. U.



te (7 de marzo) ocupará la misma posición a las 23 h 56 min y, si multiplicásemos los 4 minutos por los 30 días de un mes, descubriríamos que el día 6 de abril, la posición de nuestra manecilla estelar resulta idéntica a las 22 h T. U. Es decir, cada mes habrá que introducir una corrección de 2 h y cada día de 4 minutos. Todas estas correcciones las realiza de un modo automático nuestro nocturnlabio.

CONSTRUCCIÓN

Necesitas el siguiente material:

- Tres círculos graduados de cartulina de 11, 17 y 20 cm (por ejemplo)
- Un remache central con orificio para localizar la polar
- A continuación se te ofrecen plantillas graduadas para la construcción. El aspecto final corresponde al que aparece en la ilustración del aparato ensamblado (fig. 1.57).

¿CÓMO SE USA?

Situa con el círculo intermedio la fecha de la observación, de modo que coincida con la flecha 23 del horizonte Norte. Manteniendo el lóbulo hacia el suelo, sitúa visualmente la polar dentro del orificio central. A continuación giras el cursor hasta situar sobre el círculo menor el dibujo de la Osa Mayor tal y como se ve en el cielo. La hora se leerá directamente sobre el disco horario central, teniendo en cuenta que la escala es en T. U.

A su vez, la escala horaria externa muestra la hora sidérea.

Como variante, y usando tu imaginación, puedes construirlo en escalas más reducidas y adaptarlo a tu muñeca. El único inconveniente es que sólo lo podrás utilizar por la noche, pero durante el día te puedes quedar con el personal con tu "nocturnlabio de pulsera".

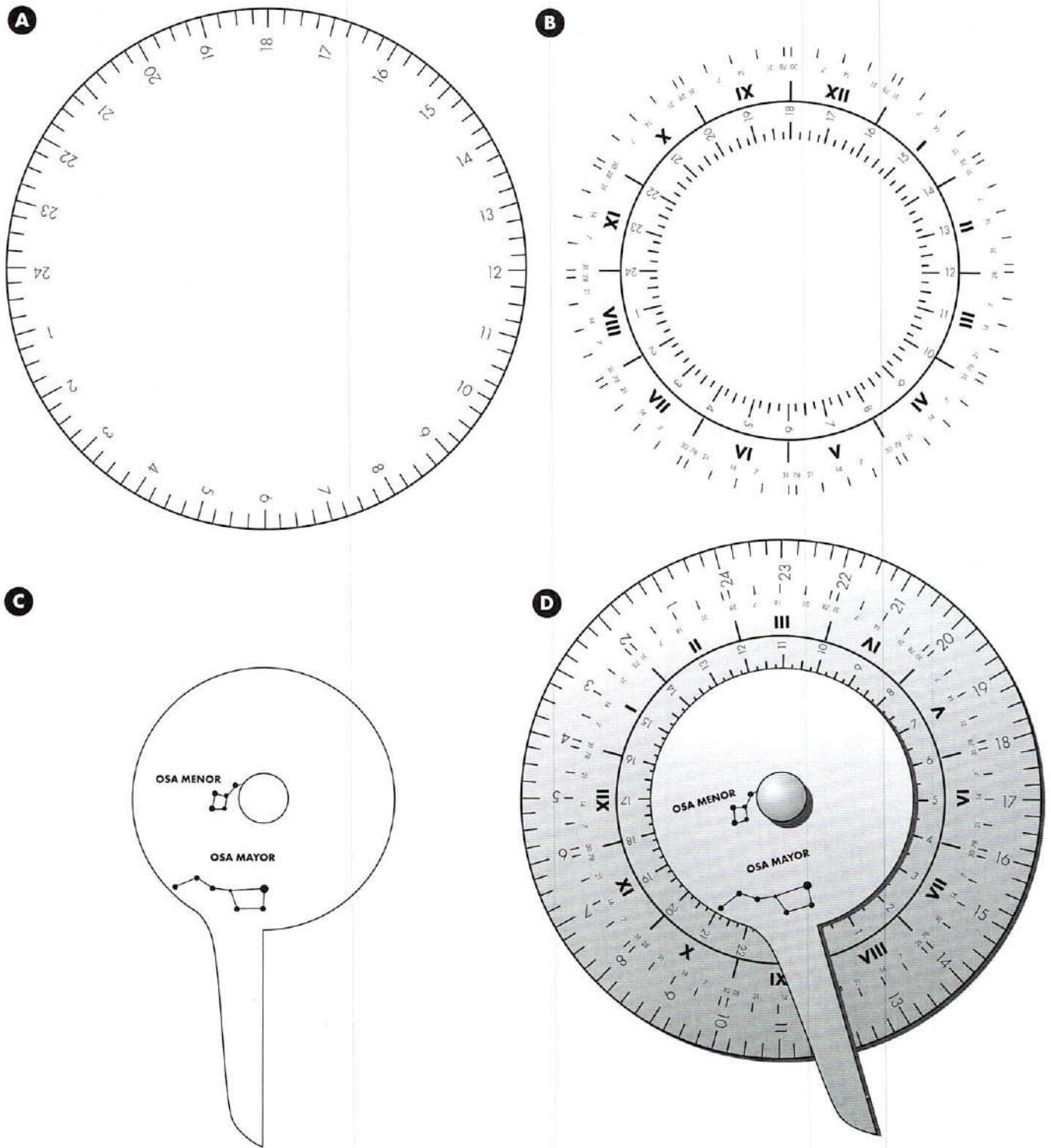


FIGURA 1.57. Plantillas del nocturlabio (a, b, c) y ensamble final (d).



11. APÉNDICE: ASTROFOTOGRAFÍA



FIGURA 1.58. Cámara réflex.

Sin duda habremos contemplado algunas de esas maravillosas diapositivas o imágenes donde se nos muestran coloridas nebulosas, cometas con colas espectaculares, etc. Sin embargo, nuestros ojos en la oscuridad de la noche sólo nos transmiten imágenes en blanco y negro. ¿Por qué no vemos esos colores ni siquiera a través del telescopio? La razón la habréis encontrado en la presente unidad; sólo con una gran intensidad de luz podemos percibir los colores. Sin embargo, una película fotográfica sensible es capaz de captar los maravillosos colores de la nebulosa que nosotros vemos en blanco y negro, o es capaz de mostrarnos detalles de las colas de los cometas que nosotros no distinguimos a simple vista. Por tanto, la astrofotografía es una herramienta muy útil en la astronomía. Pero, ¿cómo podemos iniciarnos en la astrofotografía?

Para empezar, necesitas un material básico que requiere, si no lo tienes, una cierta inversión, aunque la gama de precios es muy variada. Éste es el material:

- Cámara réflex con funcionamiento manual
- Trípode
- Cable disparador automático

a) Cámara reflex

Para hacer astrofotografía debes olvidarte de esa pequeña instantánea que tan útil te ha sido en tus excursiones y que



FIGURA 1.61. Distintas aperturas de diafragma.



FIGURA 1.59. Mandos de una cámara réflex.

te regalaron en tu cumpleaños o al hacer tu primera comunión o al pedir una pizza familiar. Sigue conservándola para esos cometidos.

Para hacer fotografías astronómicas debes hacerte con una cámara tipo réflex con posibilidad de funcionamiento manual que incluya la función B de obturador abierto (fig. 1.59). Estas cámaras se caracterizan por la posibilidad de intercambiar los objetivos. Además, el visor está a distinta altura del objetivo. Las más elementales y "de batalla" las puedes encontrar a partir de unas 15.000 pta.

En esta cámara te encontrarás con una serie de botones y números. Vamos a describirte algunos de ellos: en el objetivo hay dos círculos graduados giratorios, el de **distancias** y el de **apertura del diafragma**. El de distancias está graduado desde menos de 1 metro hasta infinito. Obviamente, para nuestros menesteres de fotografiar estrellas, lo giraremos hasta la posición "infinito". El diafragma es una especie de cortinilla múltiple que se puede abrir más o menos para permitir el paso de más o menos luz. En situaciones de luz intensa, por ejemplo a pleno día en el campo, la playa, la nieve, etc., no será necesario abrir mucho el diafragma; más bien al contrario, habrá que cerrarlo lo más posible para no velar la foto por un exceso de luz. Por el contrario, en situaciones de penumbra o poca luz, deberemos abrir al máximo el diafragma para que entre la mayor cantidad de luz posible. Es obvio que



FIGURA 1.60. Distintos tipos de objetivos: **A:** gran angular; **B:** normal; **C:** zoom.



para fotografías nocturnas tendremos que mantener el diafragma lo más abierto posible. La rueda de apertura de diafragma suele tener números del tipo 1'4 2 2'8 4 5'6 8 11 16 22. La mayor apertura del diafragma corresponde al 1'4 (los números bajos), mientras que la menor apertura corresponde a los números altos (figs. 1.60, 61).

En el cuerpo de la cámara y alrededor del botón disparador se encuentra el selector de velocidades con indicaciones del tipo: B 1 1/15 1/30 1/60 1/125 1/250 1/500 1/1000, etc. Estos números nos indican el tiempo en segundos que durará la apertura del diafragma. Así, 1/60 nos indica que el diafragma se abrirá un sesentavo de segundo. De igual modo que hemos explicado anteriormente, cuanto más tiempo permanezca el diafragma abierto, más cantidad de luz entrará. La posición B permite regular el tiempo de exposición a voluntad y será la función que más nos interese.

En el extremo opuesto al botón disparador está el círculo selector de la sensibilidad del carrete. Dicha sensibilidad viene expresada en el carrete que compramos en la tienda en unidades ASA (americanas) o DIN (alemanas). Los carretes de uso cotidiano suelen ser de 100 o 200 ASA, mientras que los más útiles en astronomía suelen ser de 400 ASA en adelante (1000 o 1600 ASA), que nos permiten una gran sensibilidad en menos tiempo de exposición. Debemos ajustar, normalmente, el selector de ASA a la sensibilidad del carrete adquirido.



FIGURA 1.62. Tripode.

b) Tripode

Conviene que sea extensible para facilitar su transporte. Permite fijar la cámara evitando los movimientos "manuales". Su precio medio es de unas 5.000 pta. (fig. 1.62).

c) Disparador de cable

Su uso es fundamental. Si apretamos el botón disparador de la cámara con la mano, inevitablemente moveremos la imagen, cosa que no tiene particular importancia si la velocidad de obturación es de 1/250, 1/500, etc., pero sí a velocidades menores: la imagen aparecerá movida. Por ello se usa el disparador de cable (fig. 1.63), que nos permite hacer esta operación sin tocar la cámara. Su precio ronda las 1.000 pta. Y ahora... ¿qué fotos podemos hacer? He aquí



algunas pautas que puedes seguir y... suerte. Por cierto, cuando las lleves a revelar no olvides decir que son fotografías de cielo nocturno y, sobre todo, llévalas a laboratorios especializados y olvídate de los revelados de 1 hora.

- **FOTO 1:** Observación del movimiento aparente de la bóveda celeste.

Antes que nada, busca un lugar alejado de ciudades, pueblos, autopistas o cualquier lugar iluminado. Adquiere un carrete de 400 ASA y con el objetivo de 50 mm en tu cámara sitúala sobre el trípode. Abre el obturador al máximo y elige la posición B de velocidad de obturación. Pon el disparador de cable, enfoca a la Polar y dispara. El diafragma permanecerá abierto hasta que vuelvas a apretar el disparador. Dale un tiempo de exposición de 1 hora aproximadamente. La belleza de la fotografía se verá realzada si captas detalles como un árbol, el horizonte, etcétera. (fig. color 1.79).

- **FOTO 2:** Constelaciones.

Mismas consideraciones que la foto anterior, pero teniendo en cuenta que para fotografiar constelaciones no puedes dar tiempos de exposición largos, pues las estrellas aparecerían como trazos. Puedes probar con 10, 15 o 20 segundos, pero no pases de 40 s. Te sorprenderá ver los distintos matices y coloraciones de las estrellas (figs. color 1.80, 81).

- **FOTO 3:** Cometas.

Sigue con las recomendaciones anteriores. Exposiciones de 20 segundos con carretes de alta sensibilidad te darán imágenes sorprendentes (fig. color 1.82).

Si te ha picado el "gusanillo" y te atreves a continuar, lo mejor que puedes hacer es adquirir algún libro o manual de astrofotografía y fomentar tu afición. ■

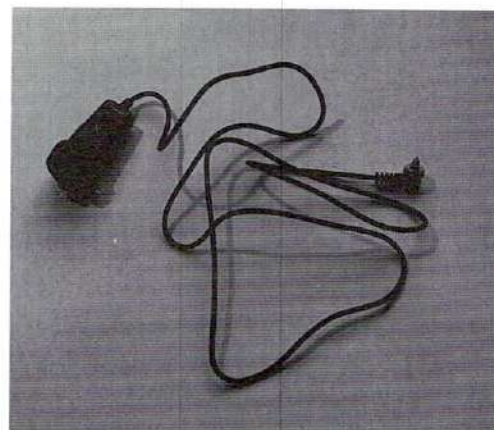


FIGURA 1.63. Disparador de cable.



Un lugar
● en la
Tierra

Los movimientos de la Tierra, junto con la inclinación del eje del planeta, originan una serie de fenómenos cíclicos que han permitido evolucionar a la vida, adaptándose a ellos.

Por otra parte, la explicación de estos fenómenos ha supuesto un reto para una de las especies que habita en el planeta y que, ostentadamente, ha buscado para sí misma el calificativo de "inteligente".

Cuestiones como, ¿cuál es la forma de la Tierra?, ¿cómo es de grande?, ¿se mueve o está quieta en el espacio?, ¿a qué se deben las estaciones?, ¿por qué la mayoría de los fenómenos celestes son tan regulares?, etc., siempre han interesado a la especie humana y ha buscado respuestas. En esta unidad encontrarás algunas.

Objetivos específicos

1. Conocer y valorar el esfuerzo realizado por los sabios de la antigüedad por intentar deducir la forma y el tamaño del mundo donde vivimos.
2. Comprender las nociones básicas de astronomía de posición referentes a los movimientos de la Tierra, relacionándolos con los fenómenos observados.
3. Valorar la influencia que tienen los fenómenos astronómicos sobre el desarrollo cultural de la Humanidad.
4. Construir algunos instrumentos sencillos necesarios para realizar prácticas de observación.
5. Analizar e interpretar los datos recogidos en las observaciones según los pasos del método científico.
6. Apreciar la importancia que tiene el método y la constancia en el estudio de los fenómenos celestes.

Contenidos

Conceptos

1. La esfera terrestre: forma de la Tierra; tamaño de la Tierra y orientación en su superficie.
2. La esfera celeste: elementos de la esfera celeste; la eclíptica; coordenadas celestes.
3. Movimientos de la Tierra: rotación; traslación; precesión y otros movimientos.
4. Medida del tiempo: la Tierra es un reloj; husos horarios; el calendario.
5. Taller.
6. Apéndice: telescopios ópticos.

Procedimientos

1. Localización de un lugar de la Tierra, dadas sus coordenadas.
2. Orientación diurna por la posición del Sol.
3. Construcción de instrumentos: gnomon, ballestilla, cuadrante y plinthon de Ptolomeo.
4. Realización de medidas con los instrumentos anteriores: lugares de salida y puesta del Sol; determinación de la meridiana; determinación de la altura de un objeto; cálculo de la altura de culminación del Sol.
5. Organización de los datos recogidos y análisis e interpretación de los mismos.

Actitudes

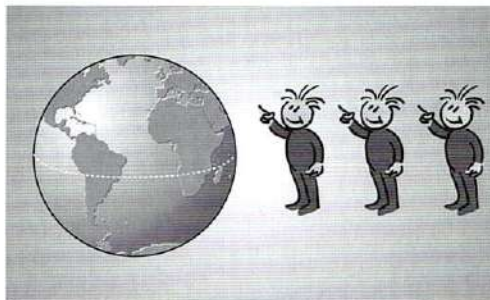
1. Valoración del esfuerzo que supone la comprensión de los fenómenos celestes.
2. Comprensión de la importancia de los modelos para explicar la realidad observada.
3. Percepción del hecho de que muchas actividades humanas están reguladas según ciclos celestes.



Encuesta inicial

Contesta en tu cuaderno las cuestiones siguientes utilizando los conocimientos que actualmente tienes:

1. ¿Qué le ocurre al Sol por la noche? ¿Dónde está?
2. ¿Sale el Sol todos los días por el mismo punto del horizonte?
3. ¿Se puede ver la Luna durante el día? ¿Por qué?
4. ¿Todas las noches del año, a la misma hora, se ven las mismas estrellas?
5. ¿Se pueden observar los planetas a simple vista desde la Tierra?
6. Las estaciones se deben a:
 - a. que la Tierra se traslada y unas veces se encuentra más cerca del Sol que otras
 - b. que la Tierra se traslada y tiene inclinado su eje de rotación
 - c. que la Tierra se traslada y muestra al Sol, unas veces una cara y otras veces otra
7. Para ir desde España a Marruecos hay que:
 - a. subir
 - b. bajar
 - c. ni subir ni bajar
8. La Tierra, en su órbita alrededor del Sol:
 - a. se mueve a velocidad constante
 - b. unas veces va más deprisa y otras va más despacio
 - c. ninguna de las dos cosas
9. Sabemos que mientras en Madrid son las 12 h, en Canarias son las 11 h. ¿A qué se debe?
10. Dibuja la Tierra y coloca en ella tres monigotes en: el hemisferio norte, el sur y el ecuador.



ACTIVIDAD 1.^a

Objetivos: 1 y 3

Contenidos: 1.1, 1.2

Dificultad



Indica en qué siglo y mediante qué prueba se pudo demostrar que la Tierra presenta forma esférica.

ACTIVIDAD 2.^a

Objetivos: 1 y 2

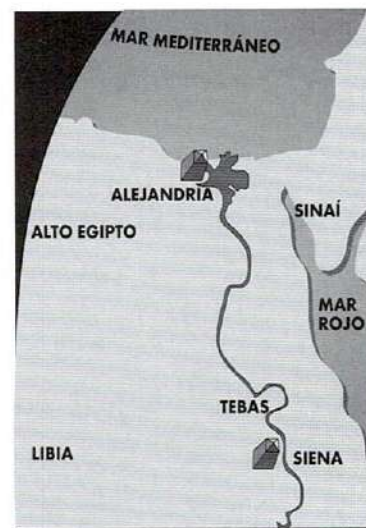
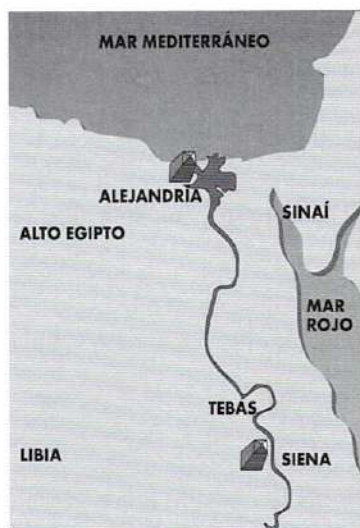
Contenidos: 1.2

Dificultad



Observa las figuras y dibuja cómo serían las sombras de dos obeliscos, uno clavado en el suelo de Alejandría y otro en el de Siena, si:

- la Tierra fuese plana y el Sol estuviese encima de nuestra cabeza
- la Tierra fuese esférica y el Sol estuviese encima de la ciudad de Siena.

**ACTIVIDAD 3.^a**

Objetivos: 1 y 3

Contenidos: 1.2

Dificultad



Observando los datos de la tabla 2.16, estima el error cometido por Aristarco de Samos en la deducción de las distancias de la Tierra a la Luna y de la Tierra al Sol.

A pesar de este error, ¿piensas que fue importante su contribución y la de otros sabios de la antigüedad al conocimiento de la Naturaleza?, ¿por qué?

ACTIVIDAD 4.^a

Objetivos: 2

Contenidos: 1.3, 3.2

Dificultad



¿Qué ángulo forma el eje de la Tierra con el plano de la órbita terrestre?

ACTIVIDAD 5.^a

Objetivos: 2

Contenidos: 2.1

Dificultad



¿Cuánto vale el azimut de un astro cuando se encuentra en su culminación superior?

ACTIVIDAD 6.^a

Objetivos: 2

Contenidos: 2.1

Dificultad



Elige la respuesta correcta:

- en cualquier lugar, la altura de las estrellas permanece invariable en el transcurso del tiempo
- únicamente en los polos, la altura de las estrellas permanece invariable
- únicamente en el ecuador, la altura de las estrellas permanece invariable

**ACTIVIDAD 7.^a****Objetivos: 2****Contenidos: 2.3, 3.3****Dificultad**
▲▲▲

¿Por qué muchas tablas suelen ofrecer los datos de ascensión recta y declinación referidos a una posición dada del eje de rotación terrestre? Por ejemplo, la estrella Rigel...

$$\alpha_{2.000} = 05 \text{ h } 14 \text{ m } 32 \text{ s}$$

$$\delta_{2.000} = -08^{\circ} 12'$$

ACTIVIDAD 8.^a**Objetivos: 2****Contenidos: 2.3 y 3.2****Dificultad**
▲▲

¿Por qué las coordenadas celestes del Sol dependen de la época del año?

ACTIVIDAD 9.^a**Objetivos: 2****Contenidos: 3.2 y 4.1****Dificultad**
▲

¿Duran lo mismo todas las estaciones?

ACTIVIDAD 10.^a**Objetivos: 2 y 3****Contenidos: 3.2 y 3.3****Dificultad**
▲

¿Se corresponden los signos del zodiaco con las constelaciones del zodiaco? Es decir, si yo soy Aries, ¿cuando nací estaba el Sol en Aries? Explícalo.

ACTIVIDAD 11.^a**Objetivos: 2****Contenidos: 4.1****Dificultad**
▲▲

Utiliza un atlas y averigua la diferencia de tiempo local más extrema entre dos ciudades españolas.

ACTIVIDAD 12.^a**Objetivos: 3****Contenidos: 4.3****Dificultad**
▲

¿Por qué el año 1900 no fue bisiesto y sí el año 2000?

ACTIVIDAD 13.^a**Objetivos: 3****Contenidos: 4.3****Dificultad**
▲▲

Elabora un informe acerca de la influencia de los fenómenos astronómicos en el desarrollo de la sociedad humana.

ACTIVIDAD 14.^a**Objetivos: 4****Contenidos: 5.1, 5.2, 5.4****Dificultad**
▲▲

Construye un gnomon, una ballestilla y un plinctor de Ptolomeo.



ACTIVIDADES DE SÍNTESIS

ACTIVIDAD 1.^a

Objetivos: 2, 5 y 6

Contenidos: 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 5.2

Dificultad
▲▲

LUGARES DE SALIDA Y PUESTA DEL SOL

Es un error la frase "el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste"; eso sólo sucede dos días al año, el resto de los días no sale y se pone por esos puntos. Por ello es conveniente observar las salidas y puestas a lo largo de un año y, posteriormente, sacar las oportunas conclusiones.

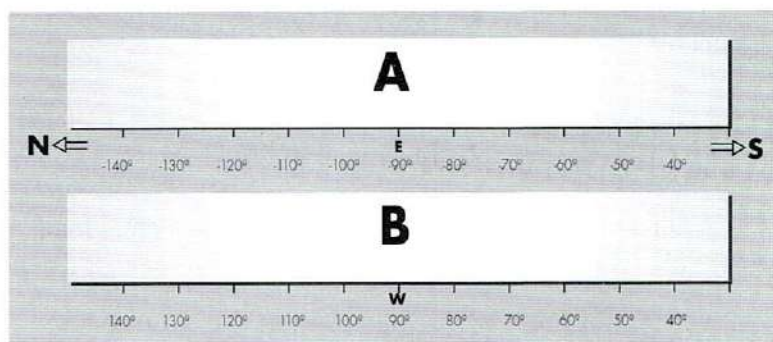
DESARROLLO

Elegir un lugar con un amplio horizonte, o, en el peor de los casos, un sitio desde donde se pueda ver el Sol del amanecer y el del atardecer. Escoger bien este punto, ya que desde él se realizarán siempre las observaciones.

En dos cuadros similares a los de la figura debes dibujar el horizonte Este y el Oeste que ves desde el lugar de observación seleccionado: en el centro del recuadro dibujarás el detalle (edificio, árbol, montaña, etc.) que se encuentra justo en el Este y en el Oeste (estos puntos cardinales los hallarás con ayuda de una brújula); a ambos lados, y siguiendo arcos de 10° , 20° , 30° ..., dibujarás el resto de los detalles que se aprecian (estos arcos los puedes medir con la ballestilla).

En la primera observación dibujarás el Sol del amanecer y el del atardecer en el lugar que le corresponde dentro de los recuadros anteriores, indicando encima la fecha y hora (en T. U.) de la observación. Entérate por los periódicos, anuarios, planisferios, etc., de las horas en que sale y se pone el Sol y las anotas también.

A partir de esa fecha y a intervalos aproximados de unos 15 días, continuarás dibujando nuevos soles del amanecer y del atardecer tal y como se ha indicado en el párrafo anterior. Si el cielo estuviera cubierto de nubes, debes esperar al primer día despejado a partir de aquél.



CUESTIONARIO SOBRE LA ACTIVIDAD DE SÍNTESIS 1

1. Diseña dos tablas donde recoger la fecha, hora (en T. U.) y el acimut de la salida y de la puesta del Sol.
2. ¿Coincide la hora de salida/puesta con la recogida en los anuarios? Si hubiera diferencia, ¿a qué crees que se debe?
3. Calcula, para las fechas de observación, la duración del día natural (período en que el Sol está sobre el horizonte).
4. Calcula, para las mismas fechas, la duración de la noche.
5. Representa gráficamente los valores obtenidos en las cuestiones 2ª y 3ª a lo largo de un año. Utiliza un color para la gráfica "Día" y otro distinto para la gráfica "Noche".
6. Representa gráficamente los acimutes de salida y puesta del Sol a lo largo de un año.
7. Presenta un informe de la actividad.

**ACTIVIDAD 2.ª****Objetivos:** 2, 5 y 6**Contenidos:** 1.3, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 4.1, 5.1, 5.4, 5.6**Dificultad****ALTURA DE CULMINACIÓN DEL SOL**

De todos es conocido que el Sol se encuentra más alto en verano que en invierno, pero, ¿conocemos esas alturas?, ¿varían de forma regular?, ¿en todos los lugares de la Tierra se dan por igual? La mejor forma de conocer las respuestas es realizar la observación y sacar conclusiones.

DESARROLLO

Seguiremos el método indicado en los epígrafes 5.1 y 5.6 para la determinación de la altura del Sol, pero en el momento de su culminación superior: cuando el Sol alcanza su máxima altura sobre el horizonte. Como ese instante no va a producirse todos los días a la misma hora, debes mirar en un anuario o mediante el planisferio la hora a la que va a culminar el día de la observación.

En cada observación deberás tomar registros de longitudes de sombras: un poco antes, durante y algo después de esa hora (puedes ir colocando piedras pequeñas en los extremos de las sombras). La sombra más corta corresponderá al momento de la culminación. Mide la longitud de esa sombra y la altura del gnomon y, con ambas, calcula la altura del Sol.

En lugar del gnomon puedes utilizar el plinthon de Ptolomeo.

Repite el proceso cada 15 días, aproximadamente.

Hay cuatro fechas en el año en las que resulta muy necesaria tal medición: los equinoccios de primavera y otoño y los solsticios de verano e invierno; midiendo la altura del Sol en el equinoccio de primavera (o el de otoño) tendremos el dato de la colatitud del lugar. Hallando el complementario de ese ángulo obtendremos la latitud del punto de observación. La altura meridiana del Sol en el día del solsticio de verano, o el de invierno, permite el cálculo de la inclinación del eje terrestre.

**CUESTIONARIO SOBRE LA ACTIVIDAD DE SÍNTESIS 2**

1. Diseña una tabla donde registrar las observaciones (fecha, hora en T. U., longitud de la sombra, altura del gnomon, altura del Sol).
2. Dibuja la gráfica de la altura de culminación del Sol en el transcurso del año para la latitud del lugar de observación e indica en qué épocas esa altura es ascendente y en cuáles descendente.
3. ¿Cuál es la altura media alcanzada por el Sol en un año y en qué fechas alcanza esa altura? ¿Qué dato geográfico importante de tu lugar de observación se puede hallar calculando el complementario de esa altura media?
4. ¿Cuál es la máxima altura que el Sol puede alcanzar en tu localidad y en qué fecha se alcanza? ¿A cuántos grados por encima de la altura media corresponde el dato anterior? ¿Con qué dato geográfico coincide ese incremento?
5. ¿Cuál es la mínima altura que el Sol puede alcanzar en tu localidad y en qué fecha se alcanza? ¿A cuántos grados por debajo de la altura media corresponde el dato anterior? ¿Con qué dato geográfico coincide ese incremento?
6. Elabora un modelo que dé explicación a los hechos observados.
7. Según el modelo anterior:
 - a) ¿cuál debería ser la altura del Sol al mediodía en Valencia el día del solsticio de verano? b) ¿En qué lugares de la Tierra y en qué fechas el Sol de mediodía llega al cenit? c) ¿Hay alguna relación entre altura de culminación del Sol y la duración del día? d) ¿Cuál es la máxima, media y mínima altura que el Sol de mediodía alcanza en el polo Norte? ¿En qué fechas se dan las alturas anteriores? Explica a qué se deben los seis meses de luz y los seis meses de oscuridad de los que gozan en el polo Norte. ¿Sucede todo igual en el polo Sur?





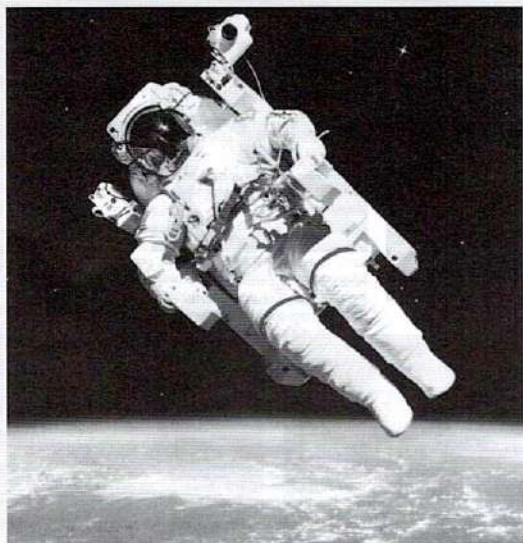
LECTURA

La Tierra se me aparecía ahora como un gran orbe brillante, cien veces mayor que la luna llena. La imagen del Sol se reflejaba en el océano como una centelleante mancha de luz. La circunferencia del planeta era un anillo indefinido de niebla luminoso que se borraba gradualmente hasta confundirse con la negrura del espacio. Parte del hemisferio norte, inclinado de algún modo hacia mí, era una extensión de nieve y nubes. Pude distinguir los contornos de Japón y China; sus vagos castaños y verdes mellaban los vagos azules y grises del océano. Cerca del ecuador, donde el aire era más claro, el océano parecía oscurecerse. Había un menudo torbellino de nubes brillantes que era quizá la superficie superior de un huracán. Las Filipinas y Nueva Guinea tenían formas muy precisas. Australia se perdía en las neblinas del sur.

El espectáculo era extrañamente conmovedor. La pura belleza de nuestro planeta me sorprendía. Era una perla enorme, montada en ébano estrellado. Era nácar, era ópalo. No, era algo más hermoso que ninguna joya, de dibujados colores, sutiles, etéreos. Tenía la delicadeza, y el brillo, la complejidad y la armonía de una cosa viva. Era raro que yo sintiese desde tan lejos, como nunca había sentido antes, la presencia vital de la Tierra; una criatura viva, pero dormida, que anhelaba oscuramente despertar.

Ninguna forma visible de esta joya celestial y viva revelaba la presencia del hombre. Allá abajo, ocultos, estaban algunos de los centros más poblados del mundo. Allá abajo vastas regiones industriales ennegrecían el aire con humo. Y sin embargo, aquel tropel de vida y aquellas empresas tan importantes para el hombre no habían dejado ninguna marca notable en el planeta. Desde esta altura, la Tierra no hubiera parecido muy diferente antes de la aparición del hombre. Ningún ángel visitante, ningún explorador de otro planeta, hubiera podido sospechar que en este orbe suave proliferaban las alimañas, unas bestias incipientemente angélicas que se torturaban a sí mismas y dominaban el mundo.

"Hacedor de estrellas". Olaf Stapledon. 1937





CUESTIONARIO SOBRE EL TEXTO

1. ¿Cómo llamamos al "anillo indefinido de niebla luminosa que se borra gradualmente hasta confundirse con la negrura del espacio"?
2. ¿Qué quiere decir el escritor cuando afirma que el planeta "era una perla enorme, montada en ébano estrellado"?
3. ¿Crees que la Tierra puede ser "una criatura viva"?
4. ¿Cuáles son las *alimañas* a las que hace referencia Olaf Stapledon en la última parte del texto? ¿Por qué también las llama *bestias incipientemente angelicales*?

1. La esfera terrestre

1.1. Forma de la Tierra

Las antiguas civilizaciones sugirieron formas distintas para la Tierra que, actualmente, nos hacen sonreír por su ingenuidad, pero que debemos saber apreciar por el intento que supone de querer explicar la Naturaleza.

Así, para los hindúes de hace siglos, la Tierra era como una gran losa que reposaba sobre las espaldas de cuatro gigantes elefantes, los cuales, a su vez, se apoyaban en cuatro enormes tortugas que se movían lentamente en el "océano" de la bóveda celeste (fig. 2.1).

Entre los **griegos**, Tales de Mileto (s. VI antes de nuestra era) sugería que la Tierra era un gran disco flotante o, quizás, un cilindro con fuego en su interior.

En realidad, la primera hipótesis acerca de la forma de la Tierra la dieron los "pitagóricos" (s. VI antes de nuestra era), escuela de filósofos que seguían las doctrinas y enseñanzas científico-matemáticas del gran Pitágoras (fig. 2.2). Uno de sus discípulos, Filolao de Tarento (s. V antes de nuestra era), señaló que la Tierra debía tener forma de esfera. No sabemos cómo llegó a esta conclusión, tal vez por analogía con la forma del Sol o la Luna, o quizá porque

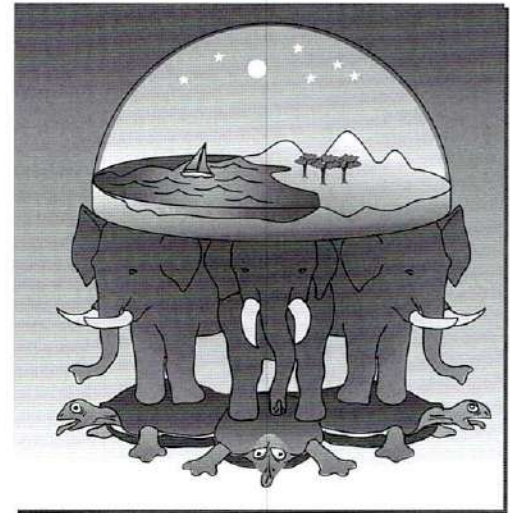


FIGURA 2.1. La Tierra a lomos de elefantes.

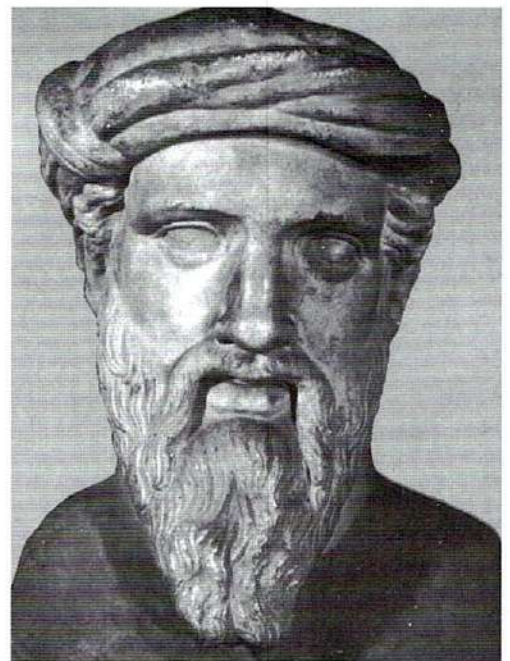


FIGURA 2.2. Pitágoras.



CUESTIONARIO

1. Si pudieras retroceder 4.000 años en el tiempo, qué argumentos darías a la gente de aquella época que pudiera demostrar que la Tierra es esférica?
2. ¿Cuál de las posibles formas de la Tierra que aparecen en la figura 2.4 podría dar una sombra curva como la que vemos en los eclipses?

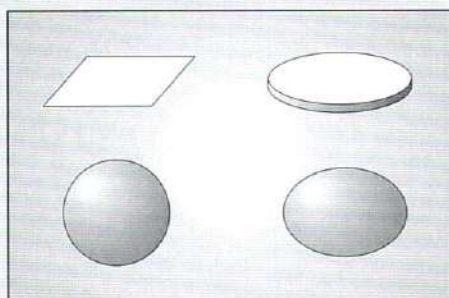


FIGURA 2.4

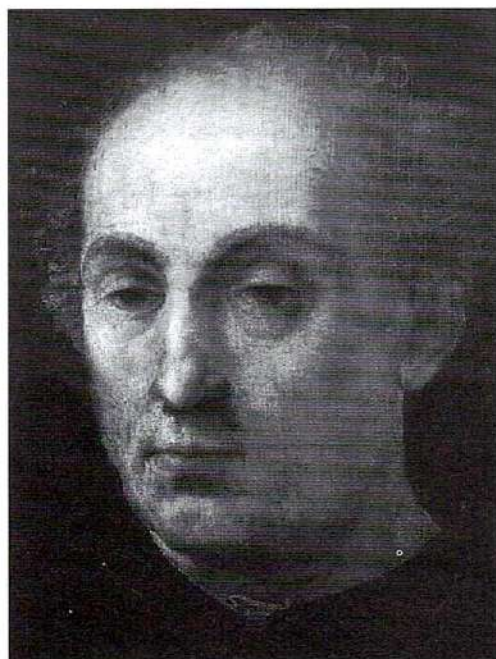


FIGURA 2.5. Cristóbal Colón (1451-1506).



FIGURA 2.3. Ciudades que produjeron escuelas filosóficas en el mundo griego.



¿SABÍAS QUE...?

Los pitagóricos estaban convencidos de que las matemáticas eran la clave de la naturaleza divina e intentaron ocultar el descubrimiento de la irracionalidad de $\sqrt{2}$, un número imperfecto, según ellos.

Filósofos posteriores como Platón (s. IV antes de nuestra era) aceptaron la forma esférica para la Tierra y la extendieron a todos los astros.

la esfera, desde el particular punto de vista de la escuela pitagórica, era considerada como el volumen geométrico más perfecto.

Los navegantes españoles de los siglos XV y XVI contribuyeron a la confirmación de la forma de la Tierra. El viaje de **Colón** (fig. 2.5) en 1492 perseguía establecer una ruta de acceso desde Europa a China por el Oeste, atravesando el océano Atlántico. Para convencer a los Reyes de España, Isabel y Fernando, Colón presentó un proyecto de viaje suponiendo que la distancia desde España a China era de 750 leguas, es decir, unos 5.000 km. No sabemos si sus cálculos eran equivocados, o si falsificó adrede dicha distancia para hacer posible el proyecto y así conseguir el dinero necesario para esa empresa. El 12 de octubre de 1492 creyó que lo había conseguido. Sin embargo, en su ruta hacia China había tropezado con un continente desconocido, América.

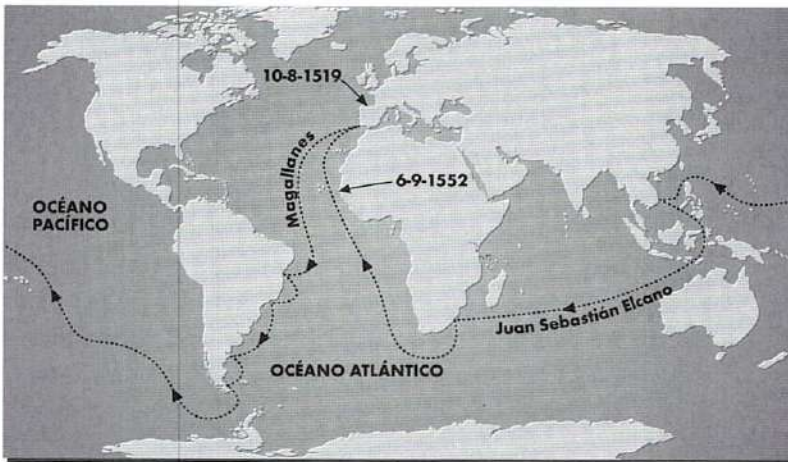


FIGURA 2.6. Trayecto de la primera vuelta al mundo de Magallanes y Elcano.

El primer viaje que dio una vuelta completa alrededor de la Tierra, fue realizado en 1521 por los navegantes **Magallanes** y **Elcano** al servicio del rey de España Carlos I (fig. 2.6)

Pero la Tierra no es una esfera perfecta. En el siglo XVII, **Isaac Newton** (fig. 2.7) realizó un completo estudio sobre la mecánica de los cuerpos celestes. En dichos trabajos se establece que un *fluido esférico* sometido a un movimiento de rotación debe achatarse.



FIGURA 2.7. Isaac Newton (1642-1727).



EXPERIMENTA

Este hecho se puede comprobar experimentalmente mediante un sencillo montaje como el de la figura 2.8. Para ello necesitas el siguiente material, que se puede obtener de algún mecánico:

- Un soporte metálico con agujeros
- Una varilla metálica de unos 25 cm
- Dos poleas de distintos diámetros con tornillos fijadores
- Un manubrio
- Una goma elástica fuerte
- Una tira de papel pegada y con dos orificios

Realiza el montaje de la figura 2.8 y gira el manubrio. Cuanto más deprisa hagas girar la tira de papel, mayor será el achatamiento que se produce en los extremos superior e inferior, que corresponderían a los polos de la Tierra.

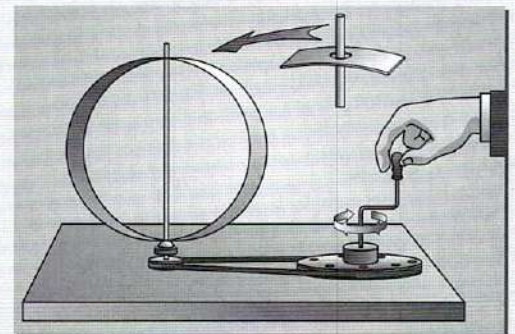


FIGURA 2.8



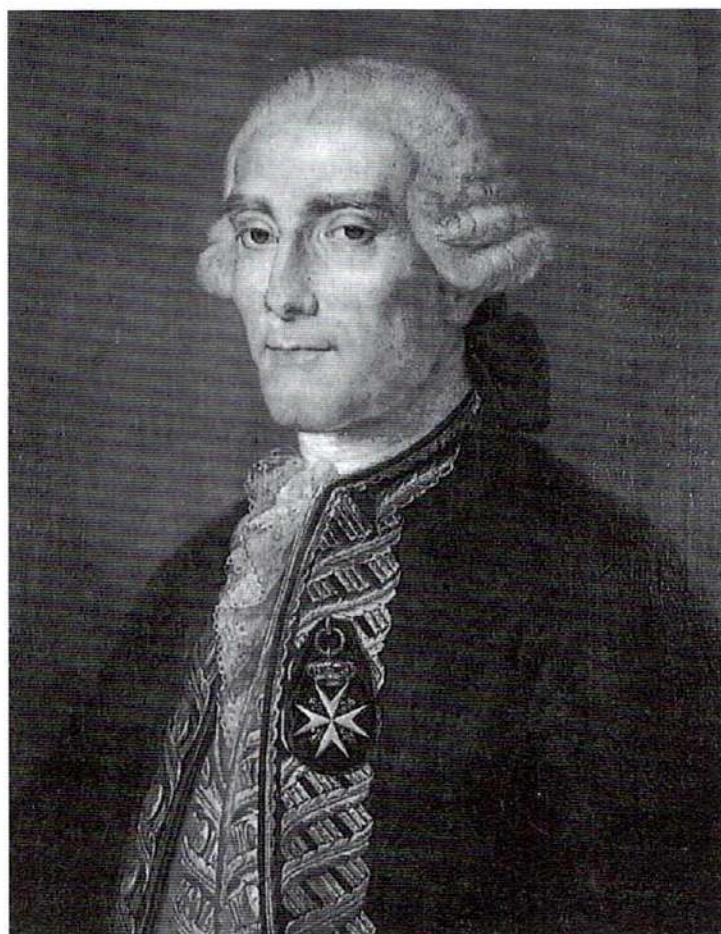


FIGURA 2.9. Jorge Juan (1713-1773).

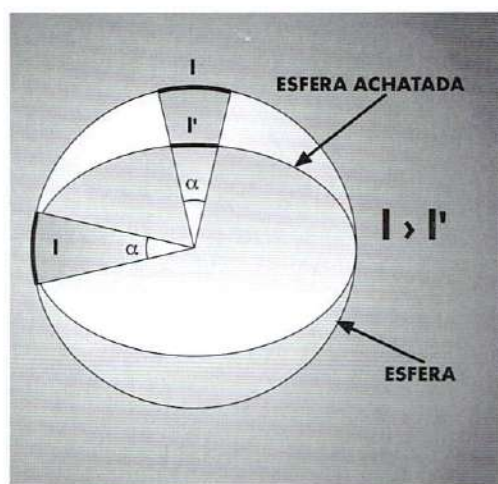


FIGURA 2.10. Mientras que en cualquier región de una esfera se cumple que a ángulos iguales le corresponden arcos de meridiano iguales; en una esfera achatada no ocurre lo mismo: es menor el correspondiente al lugar del achatamiento.

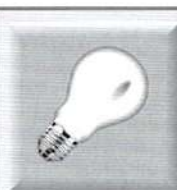
El achatamiento se confirmó en el siglo XVIII. En 1734, la Academia de Ciencias de París encargó dos expediciones científicas para medir, sobre la superficie terrestre, la longitud de un arco correspondiente a un ángulo de 1 grado. De esta manera se pretendía comprobar experimentalmente el achatamiento de la esfera terrestre previsto por la teoría de Newton. Una expedición bajo el mando de **Maupertius** se dirigió hacia el polo Norte (Laponia) y la otra, dirigida por La Condamine, y en la que participó el español **Jorge Juan**, hacia el ecuador (Quito).

En el caso de que la esfera terrestre estuviera achatada, la longitud del arco de meridiano correspondiente a un ángulo de 1° cerca del polo, debería ser menor que cerca del ecuador (ver figura 2.10).

En la actualidad no cabe duda de que la forma de la Tierra es casi esférica y achatada por los polos, como demuestran las fotografías que cada treinta minutos nos remite el satélite Meteosat (fig. 2.11) y que nos muestran la forma esférica de nuestro planeta.

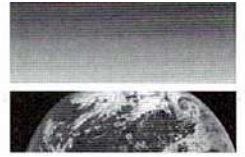
Este satélite situado en órbita *geoestacionaria* alrededor de la Tierra y sobre la vertical del ecuador sirve para hacer las predicciones climatológicas que diariamente observamos en la pantalla de televisión.

Asimismo, las fotografías de la Tierra tomadas por las sondas espaciales enviadas para explorar nuestro sistema solar nos muestran la forma esférica del planeta.



¿SABÍAS QUE...?

En 1672, Ríchter observó en la Guayana francesa el batir más lento del péndulo que en latitudes europeas y que el propio Newton comentó: "si los cuerpos pesan menos en el ecuador, de acuerdo a la ley de gravitación universal, nuestro planeta debe estar achatado por los polos.



?

CUESTIONARIO

3. Busca el significado del término "geoestacionario".

4. Liga con flechas a los monarcas que reinaban en España y los viajes de los navegantes españoles

CRISTÓBAL COLÓN	FERNANDO VI	Siglo XV
MAGALLANES Y ELCANO	ISABEL Y FERNANDO	Siglo XVI
JORGE JUAN	CARLOS I	Siglo XVIII

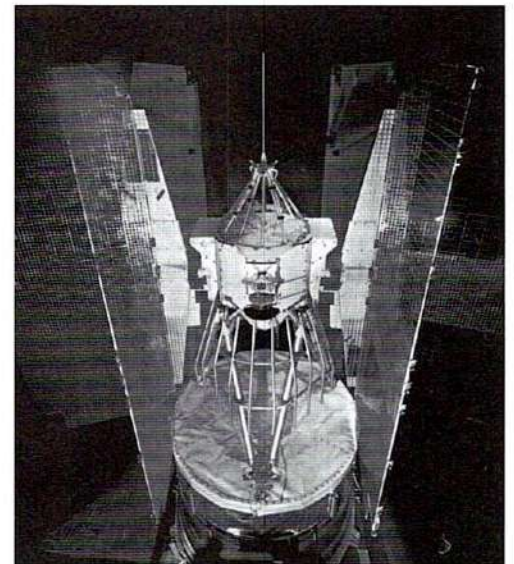


FIGURA 2.11. Satélite meteorológico.

1.2. Tamaño de la Tierra

Hasta ahora sólo nos hemos preocupado de la forma de la Tierra, pero...¿cuánto mide? **Aristarco de Samos** (s. III antes de nuestra era) intentó determinar las relaciones existentes entre los diámetros del Sol y la Luna con el de la Tierra. En el único escrito que ha llegado a nosotros, *Sobre los tamaños y distancias del Sol y la Luna* (fig. 2.12), expone un ingenioso método por el que deduce las distancias existentes entre estos astros, obteniendo:

$$\text{distancia}_{\text{Tierra-Luna}} = 9,5 D \quad \text{distancia}_{\text{Tierra-Sol}} = 180 D$$

donde "D" es el diámetro terrestre.

"D" es el diámetro de la Tierra. Pero, ¿cuánto mide "D"?

Contemporáneo de Aristarco, pero algo más joven que él, **Eratóstenes de Cirene** fue el primer hombre que obtuvo una medida fiable del tamaño de la Tierra.

Este sabio había oído de los habitantes de la ciudad de Siena, actualmente Asuán (Egipto), que todos los 21 de junio, a mediodía, ocurría un fenómeno extraordinario. El Sol brillaba justo encima de sus cabezas, tan vertical que se reflejaba en el fondo de un profundo pozo (fig. 2.13), dejándoles maravillados "el dios sol en un pozo". Eratóstenes se preguntó por qué en el mismo instante en Alejandría, situada más al Norte, no sucedía lo mismo. Sólo una respuesta era posible: la Tierra es redonda (fig. 2.14).

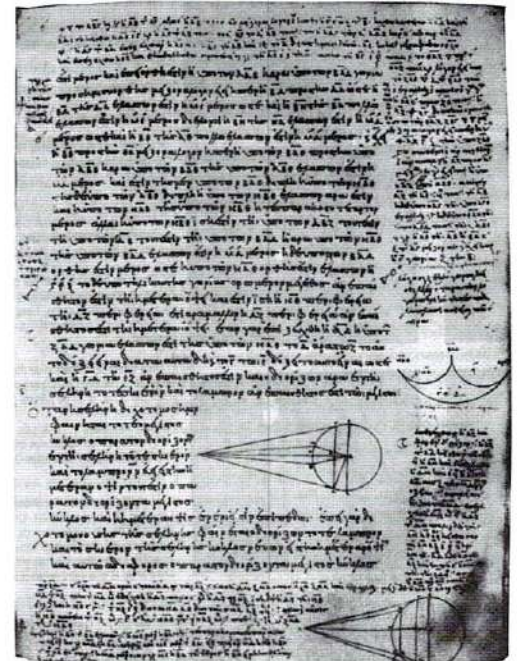


FIGURA 2.12. Manuscrito del siglo IX de nuestra era donde se reflejan las hipótesis de Aristarco de Samos.

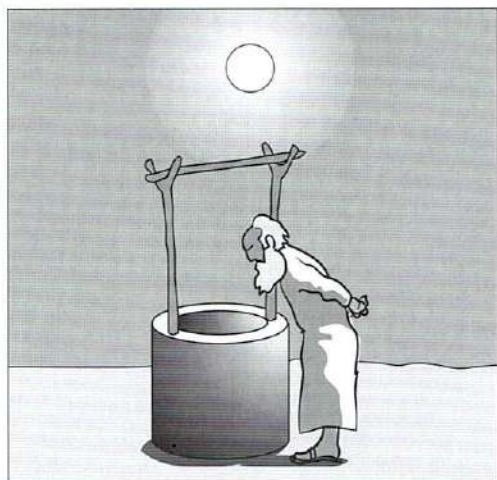


FIGURA 2.13. Mediodía del solsticio de verano en Siena.

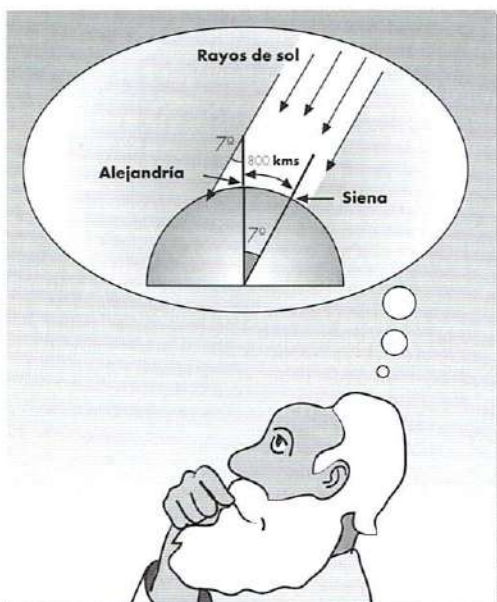


FIGURA 2.14. Sólo en una Tierra esférica sucedería que, mientras en Siena caen los rayos solares perpendiculares, en Alejandría formarían un ángulo de 7° .

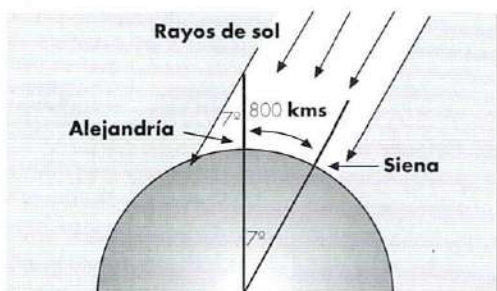


FIGURA 2.15. Entre Siena y Alejandría hay unos 800 km y el ángulo que subtenden es de 7° . ¿Cuál es el valor de la longitud de la circunferencia terrestre?

No se sabe cómo Eratóstenes midió la distancia existente entre Alejandría y Siena; unos afirman que envió a un esclavo para que la midiera, otros que fue una escuadra de soldados, otros que la calculó por estimaciones del tiempo que las caravanas de camellos tardaban en ir de una ciudad a otra, etc.; el caso es que obtuvo como resultado: 5.000 estadios (unos 800 km). Con este dato y midiendo, el mediodía del 21 de junio, en Alejandría el ángulo que los rayos del Sol forman con un palo y su sombra, unos 7° , sabía la longitud de la esfera terrestre (fig. 2.15).



¿SABÍAS QUE...?

Eratóstenes fue un hombre de muy vasta cultura, un gran matemático, filósofo, poeta, gramático, geógrafo, astrónomo e incluso atleta. Uno de sus contemporáneos le apodó "beta", la segunda letra del alfabeto griego, porque, según decía, Eratóstenes era en todo el segundo mejor del mundo.



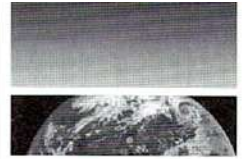
CUESTIONARIO

- ¿Por qué los ángulos indicados en la figura 2.15 son iguales?
- Teniendo en cuenta los datos de la figura 2.15, y suponiendo a la Tierra esférica, calcula:
 - la longitud de un meridiano terrestre
 - el diámetro terrestre
- Para los griegos contemporáneos de Eratóstenes, el mundo terminaba en Iberia, por occidente, y en la India, por oriente. Sabiendo que la distancia entre ambas regiones es de unos 10.000 km., indica lo que crees que supuso el cálculo de Eratóstenes para sus contemporáneos.

DATOS TERRESTRES ACTUALES

Diámetro ecuatorial de la Tierra	12.756 km
Diámetro polar	12.714 km
Diámetro medio	12.735 km
Distancia media Tierra-Luna	384.000 km
Distancia media Tierra-Sol	150.000.000 km = 1 unidad astronómica (U. A.)

FIGURA 2.16.



1.3. Orientación en la superficie terrestre: latitud y longitud

Para localizar un lugar en un plano, basta con dos ejes de coordenadas perpendiculares entre sí que nos determinan puntos de ese plano con dos componentes (x, y) , son las coordenadas cartesianas en el plano (fig. 2.17).

En el espacio sería necesario añadir un tercer eje perpendicular a los otros dos, que nos determinaría puntos del espacio de tres componentes (x, y, z) (fig. 2.18).

También es posible determinar dichos puntos con ayuda de distancias y ángulos, son las llamadas coordenadas polares (r, α) para el plano y coordenadas esféricas (r, α, β) para el espacio. Este último tipo de coordenadas es el idóneo para el caso de superficies esféricas como la Tierra, donde la distancia r es el radio de la Tierra, α es la latitud del lugar y β es la longitud de dicho lugar.

La mayoría de las observaciones astronómicas se realizan desde la Tierra y dependen de la posición del observador en la superficie de ésta. Por ello recordaremos algunos conceptos y términos geográficos que utilizaremos en lo sucesivo.

La Tierra rota alrededor de un **eje** que pasa por su centro y que se halla inclinado respecto a la perpendicular del plano de su órbita, un ángulo de $23^\circ 26'$. El eje de rotación corta la superficie de la Tierra en dos puntos: el **polo Norte** P_N y el **polo Sur** P_S .

El círculo máximo en la superficie de la Tierra, cuyo plano es perpendicular al eje de rotación, se denomina **ecuador terrestre**. Éste divide la superficie de la Tierra en dos hemisferios, **boreal (norte) y austral (sur)**. Los círculos menores, cuyos planos son paralelos al plano del ecuador terrestre, se denominan **paralelos geográficos**. Se llama **meridiano** a cualquier círculo máximo que pase a través de los polos geográficos de la Tierra. El meridiano geográfico que pasa a través del observatorio de Greenwich, en Inglaterra, se considera meridiano de origen (fig. 2.19).

Se define **latitud geográfica** de un punto O situado en la superficie terrestre, al ángulo α entre el plano del ecuador terrestre y la vertical del punto O (fig. 2.20). Las latitudes geográficas se numeran desde el ecuador; en los límites de 0° hasta $+90^\circ$ (latitud norte), si los puntos se hallan en el hemisferio boreal; y de 0° hasta -90° (latitud sur), si los puntos se encuentran en el hemisferio austral.

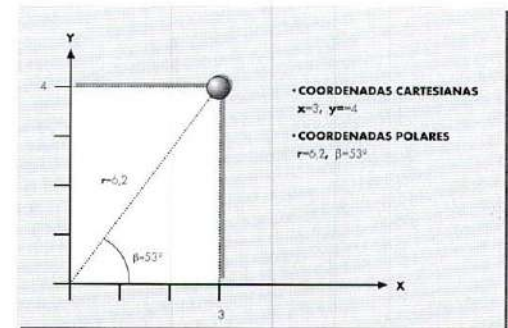


FIGURA 2.17. Coordenadas cartesianas del punto O situado en el plano XY , y coordenadas polares del mismo punto.

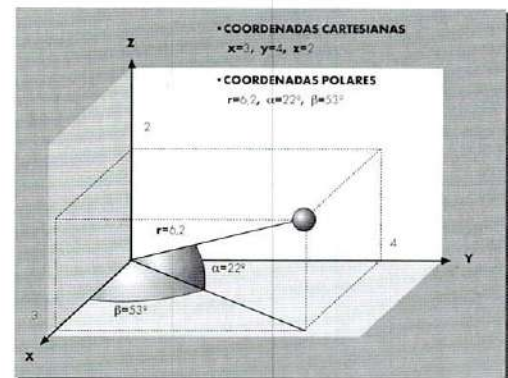


FIGURA 2.18. Coordenadas cartesianas del punto O situado en el espacio y coordenadas polares del mismo punto.

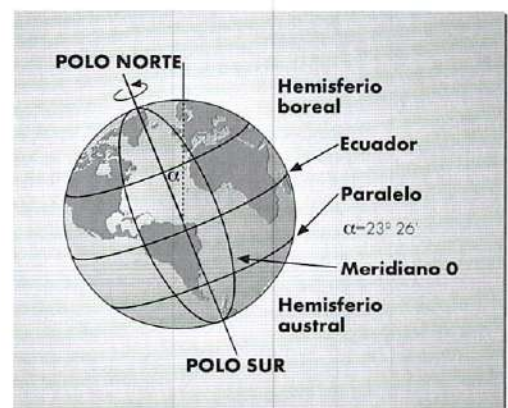


FIGURA 2.19. Elementos de la esfera terrestre.

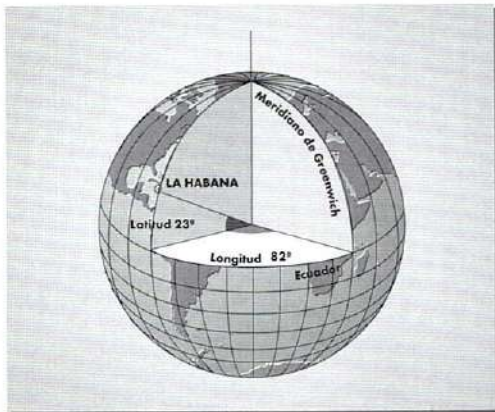


FIGURA 2.20. Latitud y longitud de la ciudad de La Habana.

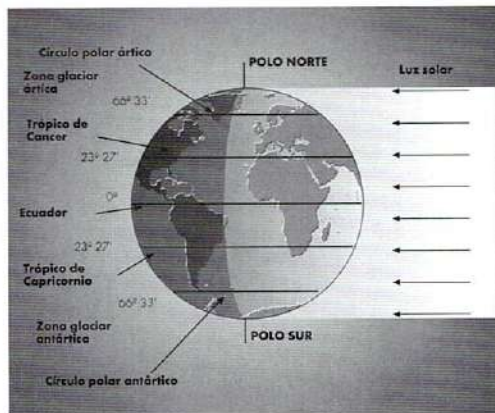


FIGURA 2.21. Zonas terrestres.

Se denomina **longitud geográfica** de un punto O situado en la superficie terrestre al ángulo β entre el plano del meridiano origen y el plano del meridiano que pasa por O (fig. 2.20). Los geógrafos numeran la longitud en los límites de 0° hasta $+180^\circ$ hacia el Este (longitud oriental) y de 0° hasta -180° hacia el Oeste (longitud occidental).

El paralelo cuyos puntos tienen una latitud de $+23^\circ 26'$ se denomina **trópico de Cáncer**, y el de latitud $-23^\circ 26'$ se denomina **trópico de Capricornio**. La faja de superficie terrestre entre ambos trópicos se denomina zona tórrida o tropical (fig. 2.21).

Los paralelos que se encuentran a $23^\circ 26'$ de los polos de la Tierra se denominan **círculos polares: ártico y antártico**. La faja entre el trópico de Cáncer y el círculo polar ártico se llama **zona templada boreal**, y la comprendida entre el trópico de Capricornio y el círculo polar antártico, **zona templada austral**.

Los casquetes de la superficie terrestre tras los círculos polares se denominan **zonas glaciares ártica y antártica**.



CUESTIONARIO

8. Indica la latitud y la longitud de la ciudad de La Habana.
9. Indica la latitud y longitud correspondiente a la ciudad donde vives.
10. ¿Pasa por alguna ciudad española el meridiano 0° ?
11. ¿Qué punto de la superficie terrestre tiene latitud 0 y longitud 0 ?

2. La esfera celeste

2.1. Elementos de la esfera celeste

Resultaría muy complicado convencer a los antiguos de que las estrellas no se encuentran fijas en el interior de un gran globo oscuro que rodea a la Tierra y gira en torno a ésta. Hoy sabemos que eso no es así, que cada astro se encuentra a una distancia diferente de la Tierra. No obstante, esta sencilla concepción de una esfera celeste puede servirnos como un sistema de referencia



sobre el cual reflejar las posiciones de los cuerpos celestes. Es decir, aunque no exista realmente sí vamos a utilizar esta idea para nuestros fines: referir las posiciones de los cuerpos celestes prescindiendo de sus distancias a nosotros.

En astronomía se llama **esfera celeste** a una esfera imaginaria de radio arbitrario que se supone concéntrica con la Tierra y en cuya superficie interna se consideran proyectados todos los astros. El observador ocuparía el centro de esa esfera (fig. 2.22).

Para completar el estudio de las posiciones aparentes y movimientos de los cuerpos celestes en esta esfera imaginaria, hay que definir una serie de rectas, puntos y círculos respecto a los cuales se fijan las mediciones. Los más importantes son (fig. 2.23) :

- **Vertical del lugar:** es la recta que pasa por el centro de la esfera celeste y sigue la dirección de la plomada (sería la recta ZZ').
- **Cenit (o zenit):** es el punto situado sobre la cabeza del observador, donde la vertical del lugar corta la esfera celeste (sería Z).
- **Nadir:** es el punto diametralmente opuesto al anterior (sería Z').
- **Horizonte del lugar:** es el círculo máximo perpendicular a la vertical del lugar.

Cada observador tiene su propia vertical del lugar, su propio cenit y su propio horizonte, que va a dividir la esfera celeste en dos hemisferios: *el visible*, en la parte superior, y *el invisible*, en la inferior.

- Los elementos **eje del mundo**, **ecuador celeste**, **paralelos celestes** y **meridianos celeste** resultan de proyectar los equivalentes terrestres en la esfera celeste.
- De todos los meridianos posibles hay uno que, además de pasar por los polos, atraviesa el cenit y el nadir, lo llamaremos **meridiano del lugar**, pues cada observador tiene uno dependiendo del lugar donde se encuentre.
- **Línea meridiana:** es la línea Norte-Sur, es decir, la recta intersección de dos planos, el plano del meridiano del lugar con el plano del horizonte (fig. 2.24).
- **Norte y Sur:** son los puntos donde la línea N-S corta la esfera celeste. El Norte es el más próximo al polo norte celeste.
- **Este y Oeste:** son los puntos que forman un ángulo de 90° con los dos anteriores. Se designan por E y W.

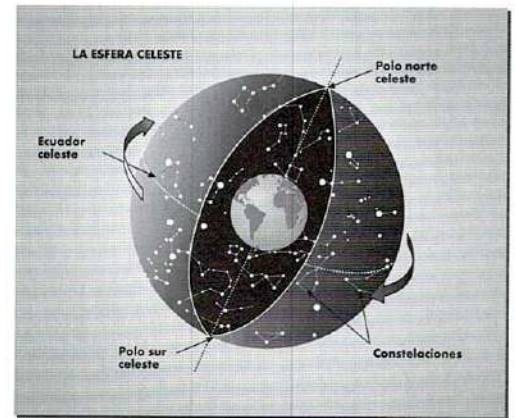


FIGURA 2.22. La esfera celeste.

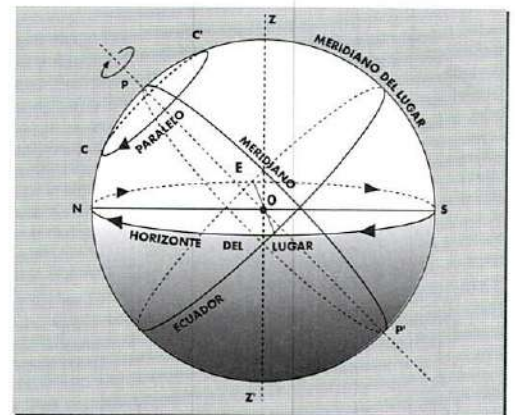


FIGURA 2.23. Elementos de la esfera celeste.

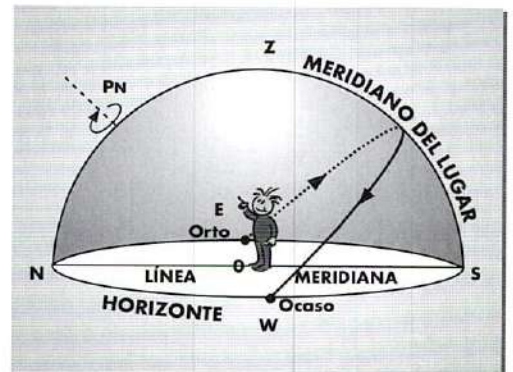


FIGURA 2.24. Algunos puntos de la esfera celeste.

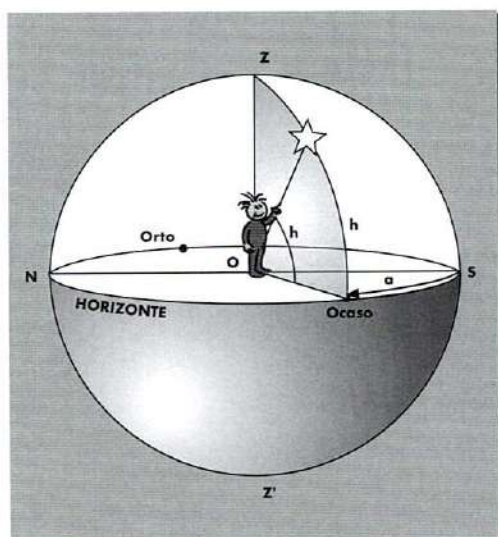


FIGURA 2.25. Altura (h) y azimut (a) de un astro.

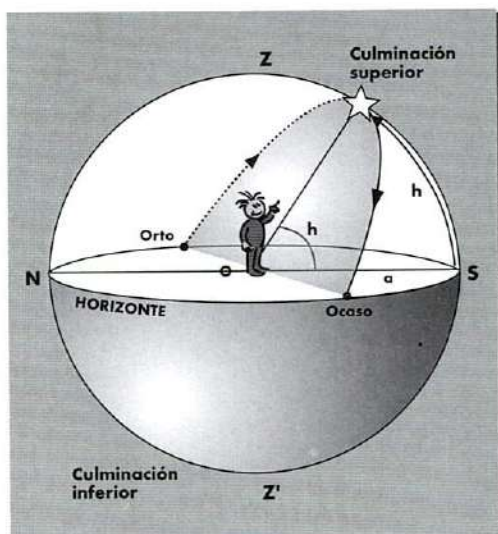


FIGURA 2.26. Culminaciones de un astro.

A estos cuatro puntos se les denomina *puntos cardinales*.

- **Orto y ocaso de un astro:** son los puntos de salida y puesta del astro por el horizonte.
- **Altura, h , de un astro:** es el arco del círculo máximo que pasa por el astro, el cenit y el nadir (círculo vertical) medido desde el horizonte hasta el astro (fig. 2.25).

Las alturas varían desde 0° , para un astro situado en el horizonte, hasta $+90^\circ$ para otro situado en el cenit. Y desde 0° hasta -90° si el astro se encuentra en el hemisferio austral.

- **Azimut, a , de un astro:** es el arco de horizonte, medido desde el punto sur y en el sentido de las agujas del reloj (sentido de la rotación aparente de la esfera celeste), hasta el círculo vertical al que pertenece el astro (fig. 2.25).

Los azimutes varían desde 0° hasta 360° .

- **Culminación superior de un astro:** es la máxima altura, sobre el horizonte, que puede alcanzar en un día determinado. Sucede siempre que pasa por el meridiano del lugar (fig. 2.26).



CUESTIONARIO

- ¿Los polos celestes son puntos fijos?
- La Polar es una estrella situada muy cerca del polo norte celeste, por tanto:
 - no se moverá a lo largo de la noche
 - se moverá como todas las demás
 - se moverá sólo un poco
- La condición que debe cumplir una estrella para que nunca salga y se ponga es:
 - que se mueva siempre por encima del ecuador celeste
 - que se mueva siempre por encima del horizonte
 - que gire alrededor del polo celeste
- ¿Cuál es el azimut de los cuatro puntos cardinales?

La rotación de la bóveda celeste, de Este a Oeste, es un fenómeno aparente, y representa el resultado de la rotación real de la

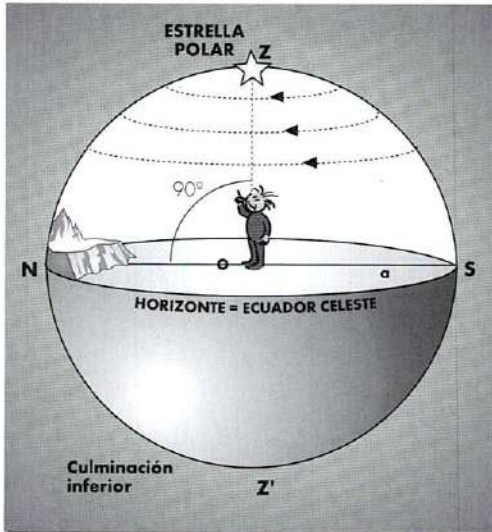
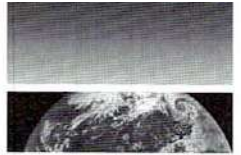


FIGURA 2.27. Movimiento aparente de las estrellas en la latitud de 90° (en el polo norte).

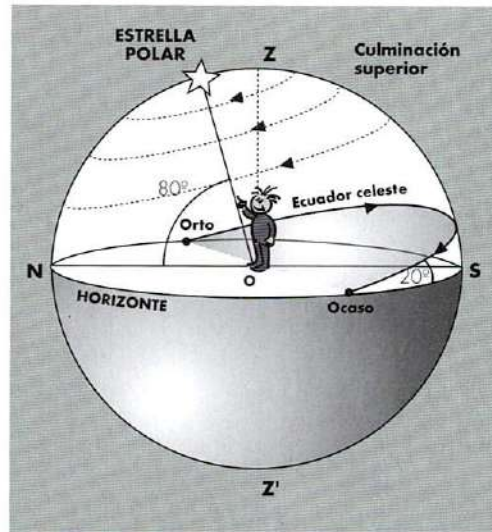


FIGURA 2.28. Movimiento aparente de las estrellas en la latitud de 80° .

Tierra alrededor de su eje, de Oeste a Este (fig. 2.23). Por esto, cualquiera que sea el punto de la superficie terrestre en el que se encuentra el observador, éste siempre verá la rotación de la esfera celeste, aunque de diferente manera según la latitud donde se encuentre.

Pongamos un ejemplo: casi encima del polo Norte geográfico hay una estrella de brillo notable que se llama Polar. ¿Cómo crees que la verá un observador situado en el polo Norte? Tendrá que levantar la vista 90° , pues la Polar se encontrará en su cenit (fig. 2.27). ¿Cómo la verá un observador situado casi en el polo Norte, a una latitud de 80° ? Tendrá que levantar la vista 80° , la estrella ya no se encontrará en su cenit (fig. 2.28). ¿Cómo la verá un observador situado en el ecuador? no tendrá que levantar nada su mirada, pues la Polar se encontrará en la línea del horizonte, seguramente no la podrá ver, ya que cualquier pequeño promontorio se lo impedirá (fig. 2.29).

Por tanto, podemos afirmar dos cosas:

1. La visibilidad estelar va a depender de la latitud a la que se encuentre el observador.
2. La altura a la que se encuentra el polo celeste coincide con la latitud del lugar.

Solidarios a la rotación de la esfera celeste, las estrellas describen paralelos alrededor del polo norte celeste; según la latitud del observador sobre la superficie terrestre, éste las verá de las tres formas arriba mencionadas.

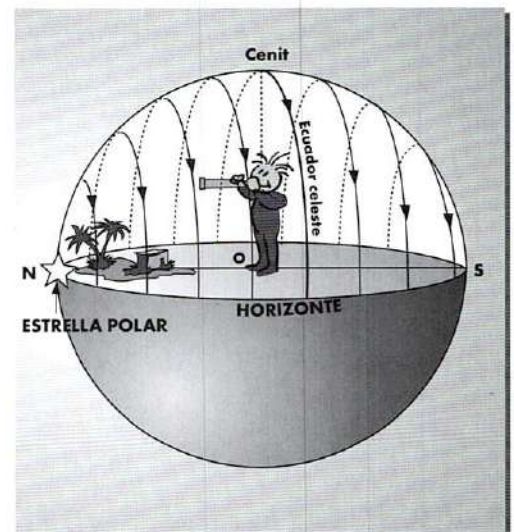


FIGURA 2.29. Movimiento aparente de las estrellas en la latitud de 0° (el ecuador).

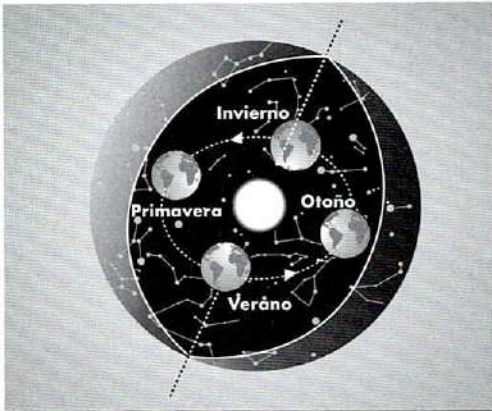


FIGURA 2.30. La Tierra es como una nave desde donde, según la época, podemos ver determinadas estrellas.

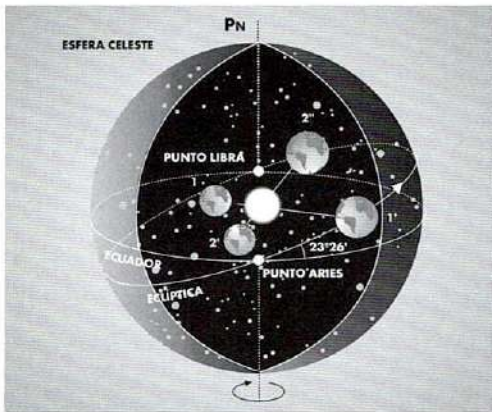


FIGURA 2.31. La eclíptica es la trayectoria que describe la Tierra alrededor del Sol y también la trayectoria que describe el Sol en su movimiento aparente alrededor de la Tierra.



CUESTIONARIO

16. A las 22 h, un observador, en España, anota la altura y el azimut que presenta una determinada estrella. Una hora después:
 - a) la altura y el azimut han cambiado
 - b) sólo ha cambiado la altura
 - c) sólo ha cambiado el azimut
 - d) no ha cambiado ni la altura ni el azimut
17. ¿Bajo qué ángulo intersecta el ecuador celeste con el horizonte en la ciudad donde vives?
18. ¿A qué altura encontraremos la Polar en nuestra ciudad?

2.2. La eclíptica

Sabemos que uno de los movimientos de la Tierra es el de traslación alrededor del Sol (fig. 2.30). Pero a nosotros nos parece que es el Sol el que se desplaza a lo largo del año sobre el fondo de las constelaciones del zodiaco. Se denomina **eclíptica** a la proyección del desplazamiento anual del Sol sobre la esfera celeste (fig. 2.31).

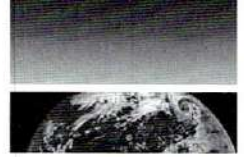
Esta trayectoria en la esfera celeste es un círculo máximo cuyo plano está inclinado respecto al plano del ecuador celeste (y del terrestre) en un ángulo de $23^{\circ} 26'$, llamado **oblicuidad de la eclíptica** (fig. 2.31).

La eclíptica corta el ecuador celeste en dos puntos: el punto Aries, o punto del *equinoccio de primavera* (γ); y el punto Libra, o punto del *equinoccio de otoño* (Ω).



¿SABÍAS QUE...?

El término eclíptica proviene del hecho de que los eclipses sólo son posibles cuando la Luna se encuentra sobre dicho círculo; eso sólo sucede dos veces cada mes y, si coincide con las fases de luna llena o nueva, se dará el eclipse.



CUESTIONARIO

19. Supuesto uniforme el desplazamiento, aparente, del Sol alrededor de la Tierra, calcula la velocidad a la que se mueve el "astro rey" por la eclíptica. Exprésala con unidades angulares.

2.3. Coordenadas celestes

La **astronomía de posición** es una parte de la astronomía que se ocupa de determinar las posiciones en que se hallan los astros en la esfera celeste. Para fijar un astro en la esfera celeste necesitamos un determinado sistema de referencia formado por un punto origen y un sistema de coordenadas.

Como sistema de coordenadas podemos utilizar el altazimutal, pero, como hemos visto, presenta un serio inconveniente: *la altura y el azimut de un astro cambia con el tiempo y con el lugar de observación.*

Necesitamos, pues, un sistema de coordenadas que sea invariable con el tiempo e independiente del lugar de observación. Es decir, un sistema de coordenadas tal, que dos observadores situados en diferentes puntos de la Tierra y observando en distintos momentos del día, puedan localizar un determinado astro conociendo unos mismos y únicos valores de sus dos coordenadas.

El más usado es el de las ecuatoriales absolutas: **declinación y ascensión recta**. En este sistema, los elementos de referencia son: el ecuador celeste y el meridiano del astro.

Las dos coordenadas definidas con estos elementos son:

- **La declinación**, δ , del astro; definida como el arco de meridiano medido desde el ecuador celeste hasta el astro. Las declinaciones varían desde 0° a 90° y desde 0° a -90° (fig. 2.32).
- **La ascensión recta** del astro, α , definida como el arco de ecuador celeste medido desde el punto Aries, y de manera dextrógira, hasta el meridiano que contiene al astro. Las ascensiones rectas varían entre 0 y 24 horas (fig. 2.32).

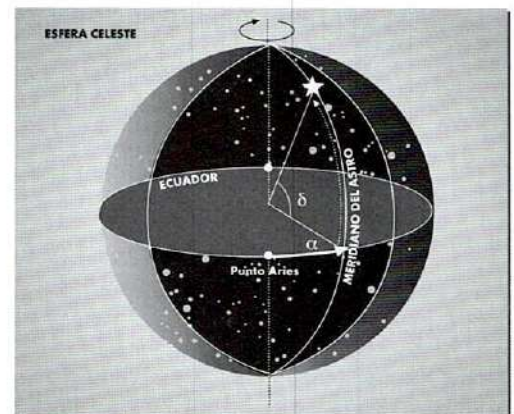


FIGURA 2.32. Coordenadas celestes de un astro: declinación (δ) y ascensión recta (α).

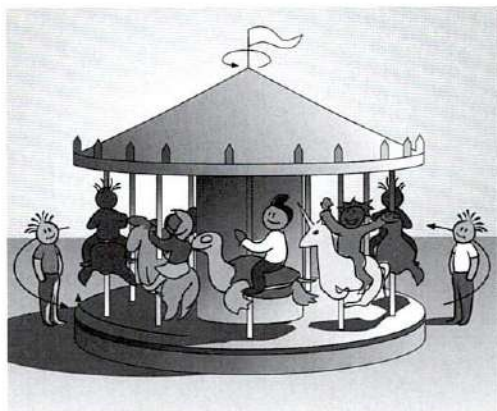


FIGURA 2.33. Desde dentro de un tiiovivo que gira a favor de las agujas del reloj, parece que la gente situada fuera se mueve en sentido contrario.

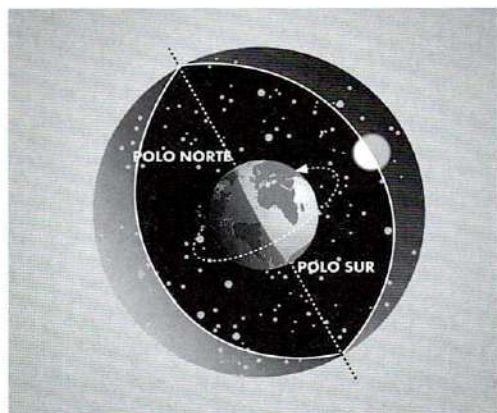
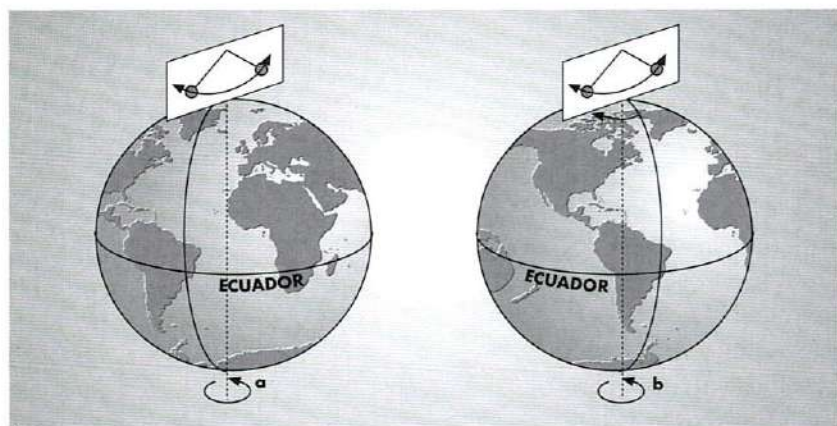


FIGURA 2.34. La rotación de la Tierra, de Oeste a Este, es la causa del ciclo día-noche y del movimiento aparente de la esfera celeste de Este a Oeste.



La rotación de la Tierra alrededor de su eje se manifiesta en algunos fenómenos en la superficie de ésta; de todos ellos, el más concluyente es el experimento del péndulo de Foucault (fig. 2.35).

FIGURA 2.35. Un péndulo libre conserva la dirección del plano de sus oscilaciones. Sin embargo, un observador situado en el Polo Norte advertiría que este plano se desplaza continuamente de Este a Oeste. Como el plano no puede variar por sí mismo, concluimos que es la Tierra la que gira de Oeste a Este.



CUESTIONARIO

20. ¿Por qué las coordenadas ecuatoriales no dependen de la hora y del lugar de observación?
21. ¿Cuáles son la ascensión recta y la declinación del punto Aries y del punto Libra?
22. Con ayuda del planisferio o de las cartas celestes, indica la declinación y ascensión recta de las estrellas: Aldebarán, Capella, Arturo, Betelgeuse y estrella Polar.

3. Movimientos de la Tierra

3.1. Rotación

Imagina que te hallas en la plataforma de un tiiovivo que da vueltas en el sentido de las agujas del reloj (Fig. 2.33). Si miras a la gente que se encuentra, parada, fuera del tiiovivo, parecerá que son ellos los que giran a tu alrededor en sentido contrario. Si ahora midieras la velocidad de giro de la gente comprobarías que coincide con tu propia velocidad de giro. De la misma forma, la rotación de la bóveda celeste es un fenómeno aparente, y representa en sí el resultado de la **rotación real** de la Tierra, alrededor de su eje, **de Oeste a Este** (fig. 2.34). Este movimiento de la Tierra, que aproximadamente cada 24 horas la obliga a dar una vuelta, es el causante del ciclo día-noche, y también del aparente movimiento de los astros por la esfera celeste.



CUESTIONARIO

23. Haz un dibujo de la Tierra y el Sol en el espacio indicando en ésta el día y la noche.
24. Presenta un informe del experimento de Foucault.

3.2. Traslación

Uno de los problemas que más ha intrigado al hombre ha sido el de la posición que ocupa la Tierra en el universo. Entre los astrónomos antiguos existían dos puntos de vista sobre esta cuestión:

- Para la mayoría y basado en impresiones naturales, la Tierra era inmóvil y se encontraba en el centro del universo. Modelo **geocéntrico** (fig. 2.36).
- Para otros, una minoría que se basaba en conclusiones puramente especulativas, la Tierra giraba alrededor de su eje y se movía alrededor del Sol, que es el centro del universo. Modelo **heliocéntrico** (fig. 2.37).

La idea de estos últimos chocaba con las impresiones habituales y, sobre todo, con las opiniones religiosas. Por ello, el modelo heliocéntrico no pudo obtener un desarrollo matemático detallado y prevaleció, durante muchos siglos (hasta el XVI), el modelo geocéntrico. Incluso, hoy en día, el lenguaje ordinario está lleno de expresiones basadas en este modelo, por ejemplo cuando decimos: "El Sol sale...", la Luna se levanta..., las estrellas giran, etcétera".

En 1543, el monje y matemático polaco Nicolás Copérnico (fig. 2.38) publicó el libro *De revolutionibus orbium coelestium*; en él describe el movimiento de todos los planetas, incluyendo la Tierra, con respecto al Sol, que se halla en el centro. Fue el principio del fin para el cosmos aristotélico. A partir de ese momento la ciencia avanzó a pasos agigantados, pero la lucha fue dura y la conquista de la nueva concepción humana-científica que implicaba el modelo heliocéntrico tuvo sus mártires.

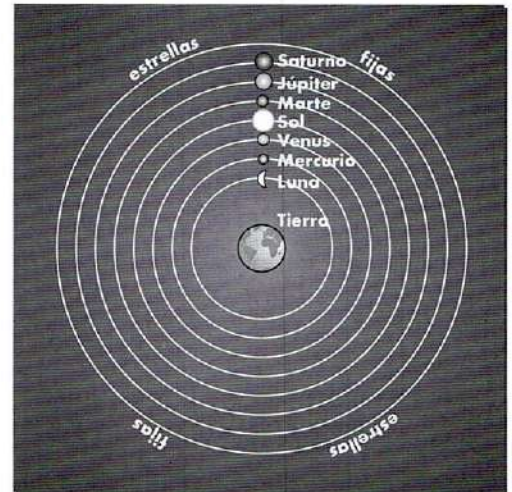


FIGURA 2.36. Modelo geocéntrico.

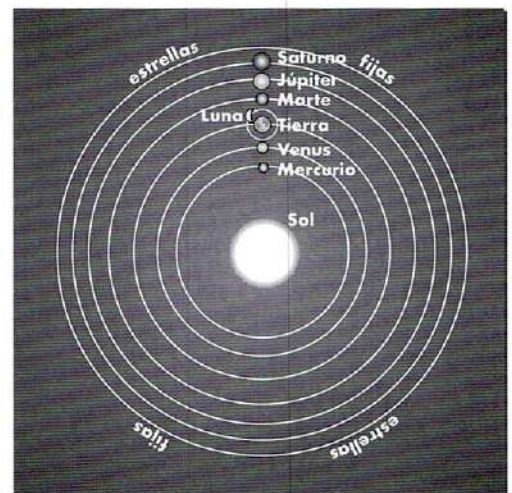


FIGURA 2.37. Modelo heliocéntrico.



FIGURA 2.38. Nicolás Copérnico (1473-1543).

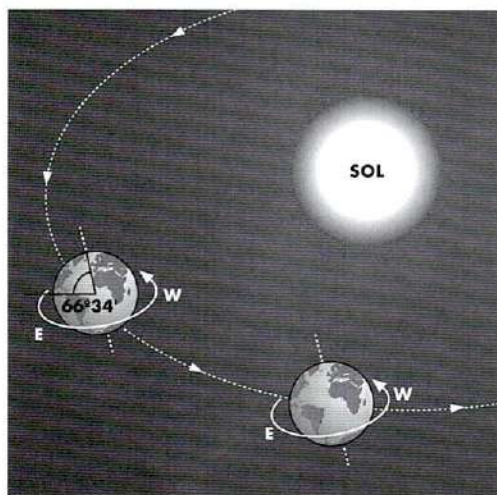


FIGURA 2.39. La Tierra se traslada en el mismo sentido en el que rota. A lo largo de toda la traslación, el eje permanece paralelo a sí mismo.



¿SABÍAS QUE...?

Copérnico se libró de las persecuciones que originó su modelo heliocéntrico porque publicó su libro pocos días antes de morir, a pesar de que este modelo lo gestó en 1509, cuando tenía 36 años, y sólo lo difundió entre sus amigos.



CUESTIONARIO

- 25 ¿Qué significa en ciencia modelo?
- 26 Haz un dibujo de los modelos geocéntrico y heliocéntrico.
- 27 ¿Quién fue Aristarco de Samos? ¿Por qué crees que permaneció en el olvido durante 18 siglos su hipótesis?
- 28 Presenta un informe sobre Copérnico: su época, vida y descubrimientos.
- 29 ¿Por qué no se aceptó inmediatamente el modelo heliocéntrico? Menciona científicos que fueron objeto de persecución por su apoyo a este modelo?

El movimiento de la Tierra alrededor del Sol tiene lugar en la misma dirección que la rotación de la Tierra alrededor de su eje. Además, se puede observar que los polos celestes no cambian en el transcurso del año su posición entre las estrellas, lo que quiere decir que el eje de rotación de la Tierra, durante su traslación alrededor del Sol, permanece paralelo a sí mismo (fig. 2.39).

El hecho de que la altura del Sol a lo largo del año varíe entre ciertos límites prueba que el eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de la órbita de ésta, sino que se encuentra constantemente inclinado respecto a él en un ángulo de $66^{\circ} 34'$, el complementario de $23^{\circ} 26'$ (fig. 2.39).

El resultado conjunto del movimiento de la Tierra alrededor del Sol, de la inclinación de su eje de rotación, y la constancia de



dicha inclinación, es la sucesión regular de **las estaciones** del año en la Tierra (fig. 2.40).

De este modo, en el transcurso del año, la superficie terrestre según la latitud del lugar recibe diferente cantidad de energía radiante. El hemisferio boreal recoge durante la primavera y el verano (desde el 21 de marzo hasta el 23 de septiembre) más energía que durante el otoño e invierno (desde el 23 de septiembre hasta el 21 de marzo). El hemisferio austral, por el contrario, percibe más energía desde el 23 de septiembre hasta el 21 de marzo y menos, desde el 21 de marzo hasta el 23 de septiembre (fig. 2.40).



FIGURA 2.40. La inclinación del eje terrestre hace que, según la posición de la Tierra en su órbita, recibamos más energía en un hemisferio o en el otro.

En la figura 2.41 se muestra la inclinación con que llegan al suelo los rayos solares en dos épocas distintas. Se ve como un haz de radiación solar, de la misma sección (AB) en los dos casos, en invierno ocupa una superficie, $A_t B_t$, bastante más grande que en verano (la diferencia puede llegar a ser casi seis veces mayor). Por ello, cada km^2 recibe aproximadamente unas seis veces menos de energía.

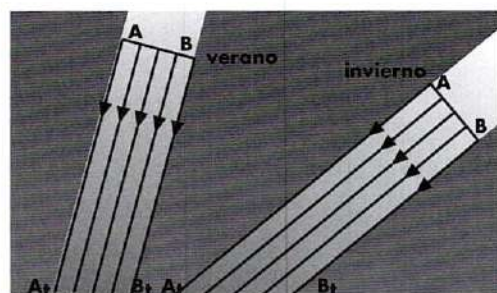


FIGURA 2.41. Dos inclinaciones distintas de los rayos solares.



CUESTIONARIO

30. La órbita de la Tierra es elíptica y en unas posiciones se acerca más al Sol que en otras. ¿Crees que influye la diferente distancia al Sol en la sucesión de las estaciones?

Aunque es la Tierra la que se traslada, a nosotros nos parece que es el Sol el que se desplaza irregularmente por la esfera celeste. Si el Sol y las estrellas fueran visibles simultáneamente, sería fácil comprobar el movimiento del astro rey en la esfera celeste.

No obstante, podemos, por ejemplo, observar el aspecto del cielo estrellado todas las noches del año una hora después de ponerse el Sol. Apreciaremos que el Sol atraviesa, de Oeste a

FIGURA 2.42. Cuando la Tierra se encuentra delante de la región de Virgo, el Sol se halla delante de la constelación de Piscis y, por tanto, en las noches de marzo será imposible ver esta constelación.

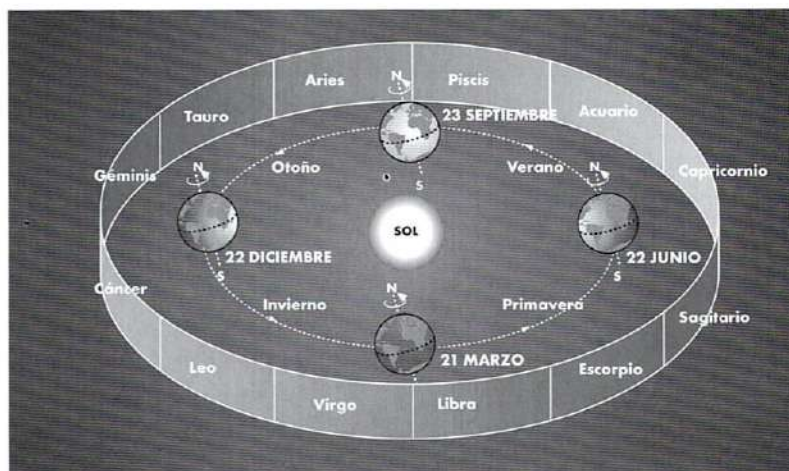
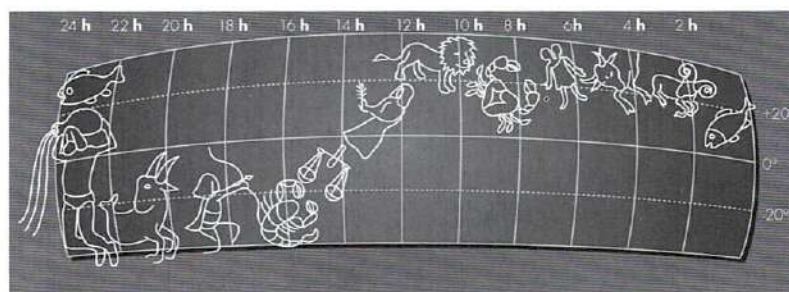


FIGURA 2.43. Visión antigua de las doce constelaciones zodiacales.



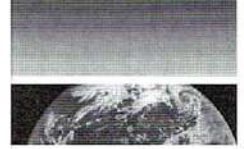
Este, distintas agrupaciones estelares o constelaciones; en concreto son 12 las constelaciones sobre las que se mueve el Sol a lo largo del año (fig. 2.42). A la franja de esfera celeste donde se encuentran, los astrónomos de la antigüedad le dieron el nombre de **zodiaco** (no hay que confundir las constelaciones del zodiaco con los signos del zodiaco, pues, como veremos más adelante, actualmente no se corresponden), que significa zona de animales porque casi todas ellas recuerdan la figura de uno: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis (fig. 2.43).



FIGURA 2.44. Movimiento aparente del Sol por las distintas constelaciones zodiacales a lo largo del año.

Alrededor del 21 de marzo, el Sol se encuentra en uno de los dos puntos en los que la eclíptica corta el ecuador celeste. En ese momento el Sol tiene como fondo estelar la constelación de Piscis; es el punto del **equinoccio de primavera**. Ese día, el Sol pasa del hemisferio austral de la esfera celeste al hemisferio boreal (fig. 2.44).

Alrededor del 23 de septiembre, el Sol se encuentra en el otro punto de corte. Como fondo estelar tiene la constelación de Virgo; es el punto del **equinoccio de otoño**. Ese día, el Sol vuelve a cambiar de hemisferio celeste.



Los puntos de la eclíptica que distan 90° de los equinoccios se denominan **solsticios**. El que cae en el hemisferio boreal es el punto del solsticio de verano o *punto vernal*, y el que cae en el hemisferio austral es el punto de *solsticio de invierno* o *punto hiernal*. El Sol alcanza, aproximadamente, estos puntos el 22 de junio y el 22 de diciembre, respectivamente (fig. 2.44).

El término solsticio (sol quieto) proviene del hecho de que, en esos puntos, parece que el Sol se detiene en su ascenso y alcanza la máxima altura (verano) para reanudar su carrera en sentido contrario hasta alcanzar su mínima altura (invierno) (fig. 2.45).



CUESTIONARIO

31. ¿Cuál es la máxima y mínima altura que puede alcanzar el Sol, al mediodía, en tu ciudad, y qué días ocurrirá?
32. ¿Puede un gnomon, al mediodía, no arrojar sombra en puntos situados entre los dos trópicos? Explicalo.
33. ¿Qué día y en qué momento del día, un gnomon situado en un punto del trópico de Capricornio no arroja sombra?
34. ¿Sobre qué punto cardinal se encuentra el Sol al mediodía en tu ciudad?

Como ya hemos visto, al mediodía el Sol se encuentra en el Sur. Por esta razón, las viviendas orientadas en esta dirección son más cálidas mientras que las que se orientan en dirección Norte son más frías. A la hora de elegir una vivienda hay que tener en cuenta lo siguiente:

En invierno los rayos solares tienen menos inclinación y penetran más en el interior de las casas orientadas al Sur (fig. 2.46).

En verano, las fachadas orientadas al Norte también son iluminadas por el Sol al amanecer y al anochecer, puesto que ya hemos dicho que el Sol va de NE a NO. En cualquier caso, las viviendas orientadas a poniente (O) son muy calurosas en verano, pues incide el Sol a partir del mediodía, cuando más calientan los rayos solares.

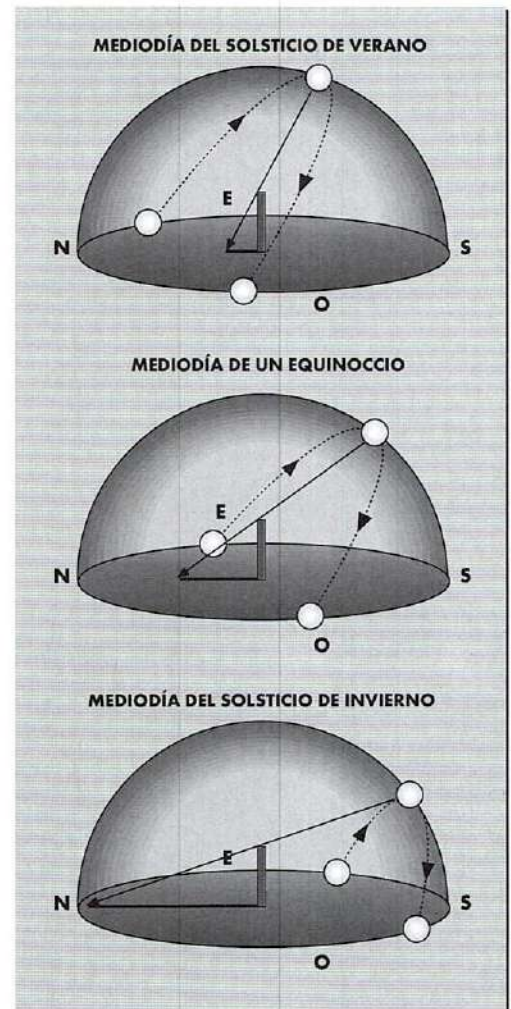


FIGURA 2.45. En verano el Sol permanece más tiempo sobre el horizonte que bajo él; los días son más largos y el Sol alcanza su máxima altura. En los equinoccios, los días duran igual que las noches. En el invierno el Sol alcanza su mínima altura.





CUESTIONARIO

35. En algunas montañas o cuencas de los ríos se distingue entre la solana y la umbría. ¿Sabrías indicar la razón? ¿En qué dirección se encuentra cada una de ellas?
36. ¿Por qué el Sol es visible en el polo Norte durante seis meses al año? Razona si corresponderá al verano o al invierno.

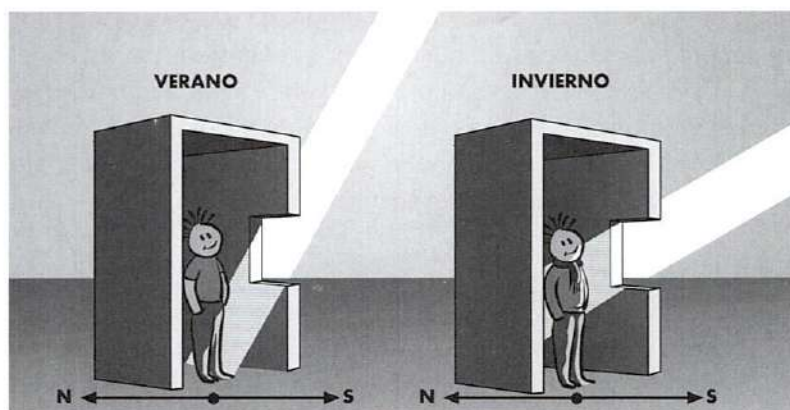


FIGURA 2.46. La mejor orientación de las viviendas es al Sur.

3.3. Precesión y otros movimientos

Si la Tierra fuera una esfera perfecta, homogénea y totalmente sólida, entonces, de acuerdo con las leyes de la mecánica, la dirección de su eje de rotación y el tiempo que tarda en girar sobre sí misma permanecerían constantes en el transcurso del tiempo.

Sin embargo, la Tierra no tiene una forma esférica exacta, sino que está achatada por los polos, se aproxima a un esferoide. La atracción gravitatoria del Sol y de la Luna sobre el ensanchamiento ecuatorial provocan un lentísimo balanceo en nuestro planeta que recibe el nombre de **precesión** y que se efectúa en sentido inverso al de rotación, sentido retrógrado (fig. 2.47). El eje de rotación de la Tierra describe lentamente alrededor del eje de la eclíptica un cono de 47° de abertura cuyo vértice está en el centro de la Tierra. El período de este movimiento es de unos 26.000 años (fig. 2.48).

Como consecuencia del movimiento de precesión, la posición del polo celeste va cambiando a través de los siglos. En la actualidad, el polo celeste boreal se encuentra cerca de una estrella brillante perteneciente a la constelación de la Osa Menor, por lo que se le llama **Polar**. Pero hace 4.000 años el eje apuntaba a la estrella alfa del Dragón (las grandes pirámides de Egipto se orientaron hacia esta estrella) y dentro de 12.000 años será alfa de Lira (Vega) la "estrella polar" (fig. 2.49).

Solidariamente con el cambio de la dirección del eje celeste varía también la posición del ecuador celeste, cuyo plano es perpendicular al eje, y con este cambio también cambian los puntos de intersección del ecuador celeste con la eclíptica (los puntos de los equinoccios), que se desplazan lentamente entre las estre-

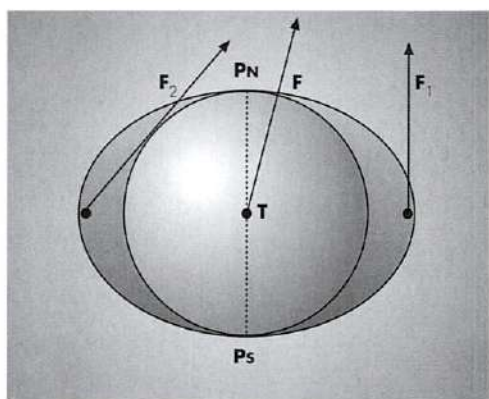


FIGURA 2.47. Las diferentes fuerzas F_1 y F_2 sobre el ensanchamiento ecuatorial originan el movimiento de precesión.

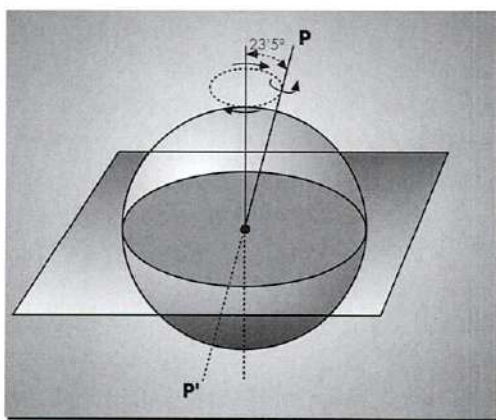


FIGURA 2.48. Debido a la precesión, el eje terrestre cambia de dirección, repitiendo direcciones iguales cada 26.000 años.

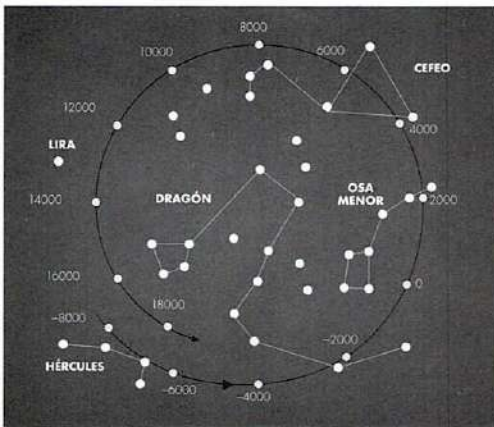


FIGURA 2.49. Diferentes puntos de la esfera celeste que serán polos norte celestes.

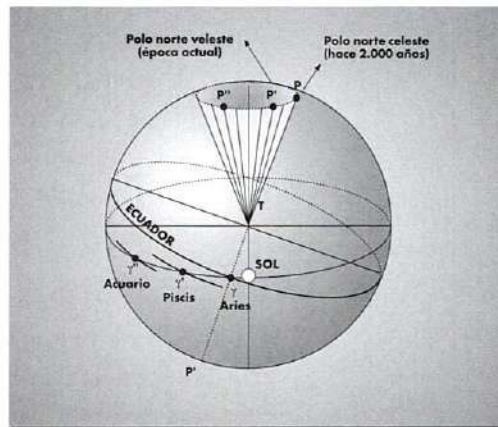


FIGURA 2.50. Por efecto de la precesión, el punto Aries retrograda continuamente y, si hace 2.000 años estaba en la constelación de Aries, en la actualidad se halla en Piscis.

llas en sentido retrógrado. A este hecho se le denomina **precesión de los equinoccios**, anticipación de los equinoccios (fig. 2.50).



CUESTIONARIO

- 37.** Calcula la velocidad anual de este desplazamiento. Exprésalo en unidades angulares.

A comienzos de nuestra era, hace unos 2.000 años, el punto del equinoccio de primavera se encontraba en la constelación de Aries y el punto del equinoccio de otoño en la constelación de Libra. Por esa razón se les designó como punto Aries y punto Libra, denominación que aún perdura, pero que puede llevar a error, pues actualmente el punto del equinoccio de primavera se encuentra en Piscis y el de otoño en Virgo, es decir, en 2.000 años han retrogradado una constelación.



CUESTIONARIO

- 38.** El 21 de marzo el Sol se encuentra en Piscis, sin embargo los horóscopos dicen que la persona que nace ese día es Aries. Expresa tu opinión al respecto.

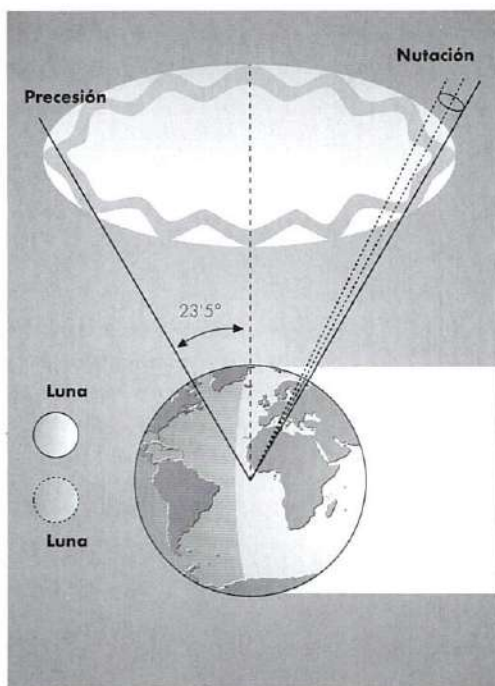


FIGURA 2.51. Como resultado de la precesión y la nutación, el eje terrestre describe en el cielo líneas onduladas complicadas.

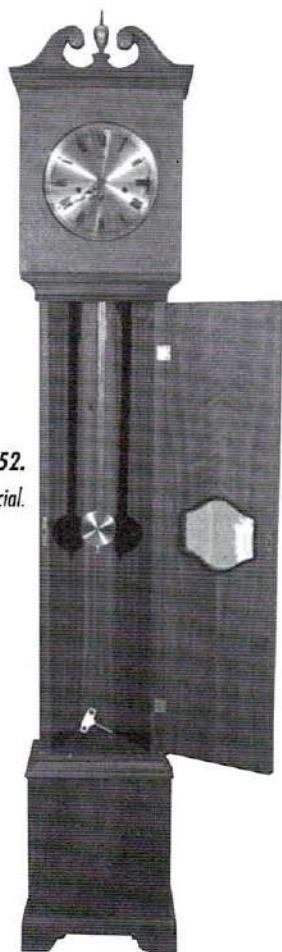


FIGURA 2.52.
Reloj artificial.

Puesto que el movimiento de precesión es en sentido retrógrado, el Sol llega a los puntos de los equinoccios cada vez algo antes que si dichos puntos fueran inmóviles. Por esta causa, el intervalo de tiempo entre los pasos sucesivos del centro del Sol por el punto del equinoccio de primavera, denominado *año trópico*, es más corto que el período de revolución de la Tierra alrededor del Sol, denominado *año sidéreo*. La diferencia entre ambos es de unos 20 minutos.

Otro resultado del movimiento de precesión es una variación lenta del aspecto estelar. Algunas estrellas que antes eran invisibles en el hemisferio norte empezaran a salir y ponerse, mientras que otras visibles ahora dejaran de serlo. Así, por ejemplo, dentro de unos miles de años en Europa se podrá observar la Cruz de Sur, ahora invisible, pero sin embargo no se podrá ver Sirio y una parte de la constelación de Orión.

3.4. Otros movimientos

La Luna, en su movimiento alrededor de la Tierra, unas veces se halla por encima del plano de la órbita terrestre y otras por debajo, y, por tanto, no ejerce siempre atracción sobre el ensanchamiento ecuatorial de la Tierra en la misma dirección en que la ejerce el Sol. Como consecuencia, el eje terrestre sufre pequeñas oscilaciones de período 18,6 años. A este movimiento de la Tierra se le llama **nutación** (fig. 2.51).

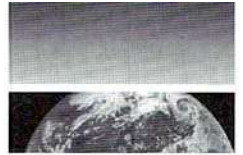
4. Medida del tiempo

4.1. La tierra es un reloj

Para medir el tiempo es necesario disponer de un reloj, bien sea éste natural o ideado por el hombre (fig. 2.52). Pero cualquiera que sea el fenómeno elegido como base de las medidas, es necesario que se produzca a intervalos regulares.

Entre los fenómenos naturales más utilizados en la medida del tiempo tenemos:

- a) el movimiento de rotación de la Tierra en torno a su eje, que sirve para definir el día
- b) el movimiento de la Tierra en su órbita, que nos permite definir el año
- c) el movimiento de la Luna en su órbita, que ha dado lugar a la división en semanas



Hay que hacer notar que en la determinación del tiempo es preferible considerar el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra tomando a ésta como origen y al Sol como cuerpo que se mueve en relación a ella. Según esto, denominaremos:

día solar verdadero al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el mismo meridiano geográfico.

Como comienzo del día solar verdadero en el meridiano dado se toma el momento de la culminación inferior, cuando el Sol "toca" el meridiano en el punto más bajo (medianoche verdadera) (fig. 2.53). La medición del tiempo con los días solares verdaderos es fácil, pero utilizar el tiempo solar verdadero en la vida cotidiana es muy incómodo, pues se puede comprobar que los días solares así definidos no son todos iguales debido a que el movimiento aparente del Sol no es uniforme, va más rápido en el otoño-invierno y más lento en primavera-verano (y además el Sol no transcorre por el ecuador celeste).

Para obtener días de duración constante, y que a su vez estén relacionados con el movimiento del Sol, se ha introducido el:

Día solar medio, que representa el valor medio de la duración de los días solares verdaderos en un año (fig. 2.54).

La diferencia entre el día solar medio y el día solar verdadero en un momento determinado se denomina **ecuación del tiempo**, y los valores obtenidos son unas veces positivos y otras negativos (fig. 2.55).

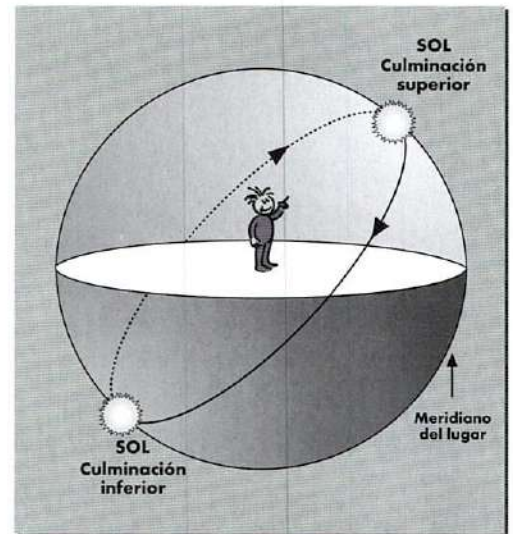


FIGURA 2.53. Reloj natural: el movimiento aparente del Sol.

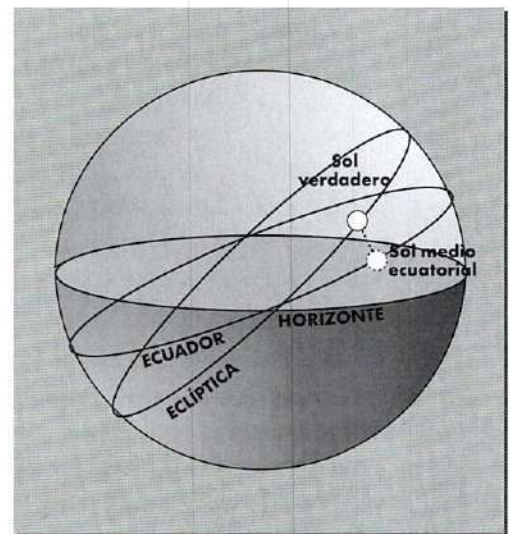


FIGURA 2.54. Los días solares verdaderos no son todos iguales, por esa razón definimos el "sol medio".

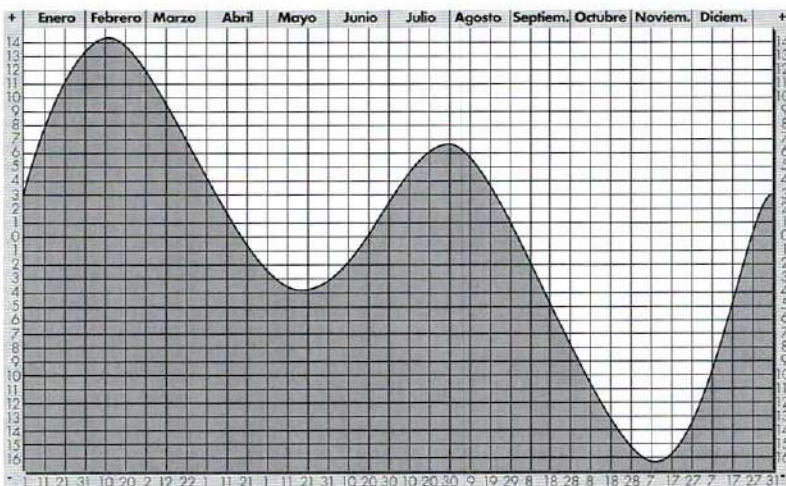


FIGURA 2.55. La ecuación del tiempo.

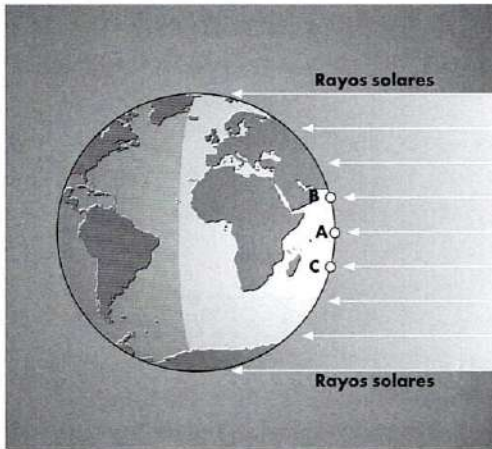


FIGURA 2.56. Todos los puntos que pertenecen al mismo meridiano tienen idéntico tiempo local.

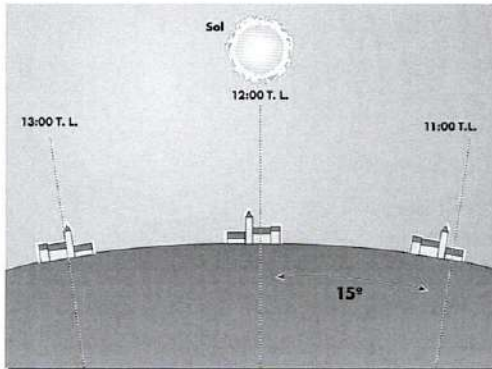


FIGURA 2.57. Dos lugares que pertenezcan a meridianos separados 15° les corresponde una diferencia de tiempo local de 1 hora.

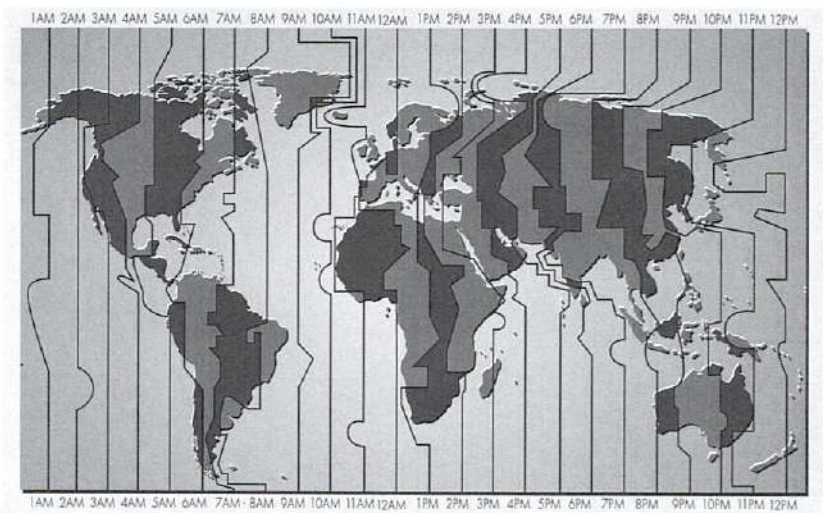


FIGURA 2.58. Husos horarios. Dentro de cada huso rige la misma hora.

Ahora bien, según la longitud a la que esté el observador, así será el comienzo y desarrollo de su día medio. Es fácil notar que todos los lugares de la misma longitud geográfica tienen su propio **tiempo local** (fig. 2.56) y que la diferencia de dos tiempos locales en dos meridianos cualesquiera siempre será igual a la diferencia de las longitudes de estos meridianos, expresada en unidades de tiempo. Por ejemplo, la diferencia de tiempo local entre dos puntos situados en meridianos separados 15° será de 1 hora de tiempo local (a 360° le corresponden 24 horas; entonces a 15° le corresponderá 1 hora) (fig. 2.57).

Puesto que hay un meridiano origen (el de Greenwich), habrá un tiempo local muy importante a tener en cuenta: *el tiempo local del meridiano de Greenwich, que llamaremos tiempo universal (T. U.).*



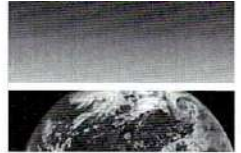
CUESTIONARIO

39. ¿En qué fechas coincide la hora marcada por un reloj de sol con la de nuestros relojes de pulsera?
40. ¿Qué diferencia de tiempo local hay entre Madrid y Palma de Mallorca?

4.2. Husos horarios

En la vida cotidiana es incómodo utilizar tanto el tiempo local como el universal. El primero por lo apuntado más arriba: habrá tantos sistemas locales de cómputo del tiempo como meridianos geográficos existen, es decir, innumerables, y el segundo resulta incómodo cuando el meridiano se halla muy separado del de Greenwich.

Con el fin de no tener que atrasar o adelantar los relojes en desplazamientos cortos que vayan en dirección Este-Oeste, en 1884 se introdujo lo que se denominan **husos horarios**, resultantes de dividir el planeta Tierra en 24



zonas de 15° cada una, que van de polo Norte a polo Sur y donde dentro de cada huso rige la misma hora (fig. 2.58). Los límites de los husos horarios solamente siguen con exactitud los meridianos geográficos en los mares y océanos, así como en los lugares no poblados de tierra firme; en los otros casos se adaptan a las fronteras estatales, administrativo-económicas o geográficas para evitar que pueblos cercanos tengan horas diferentes.

Al avanzar hacia el Este, la hora se va adelantando de forma que, si diéramos la vuelta al mundo en este sentido, tendríamos que adelantar continuamente el reloj y al final de nuestro viaje ganaríamos un día respecto a la localidad de partida. Este hecho fue el que hizo ganar la apuesta al protagonista de la novela *La vuelta al mundo en 80 días*, de Julio Verne.



CUESTIONARIO

41. Describe lo que ocurriría si la vuelta al mundo la diéramos avanzando hacia el Oeste.

Con el fin de distribuir más racionalmente la energía eléctrica y emplear más eficazmente la luz del día, en los meses de verano en muchos países se avanzaron en 1 hora las agujas de los relojes (hora de verano), y por disposición gubernamental en España y en otros muchos países se adoptó permanentemente, todo el año. Posteriormente, y con idéntico fin, se acordó adelantar otra hora más en los meses del verano (de marzo a septiembre). Esta última disposición es temporal y no todos los países se han sumado a ella, España sí la adoptó. Se llama **hora legal u oficial** a la decretada por cada gobierno. Por ejemplo, en España y en otoño-invierno es una hora superior al T. U. que marca el meridiano de Greenwich, y dos horas superiores en primavera-verano (tabla 2.59).

TIEMPO OFICIAL DE INVIERNO (REFERIDO AL TIEMPO UNIVERSAL)	
	EUROPA
-1 h	Islas Azores (Portugal)
+0 h	Islas Canarias (España); Islas Feroe (Dinamarca); Irlanda; Islandia; Reino Unido
+1 h	Albania; Alemania; Andorra; Austria; Bélgica; Bosnia-Herzegovina; Croacia; Rep. Checa; Dinamarca; Rep. Eslovaca; Eslovenia; España (excepto Canarias); Francia; Hungría; Italia; Liechtenstein; Luxemburgo; Macedonia; Malta; Mónaco; Noruega; Países Bajos; Polonia; Portugal; San Marino; I. Spitzberg; Suecia; Suiza; Vaticano; Yugoslavia.
+2 h	Bielorrusia; Bulgaria; Estonia; Finlandia; Grecia; Letonia; Lituania; Moldavia; Rumania; Ucrania.
+3 h	Georgia; Rusia (europea salvo algunas zonas)
+4 h	Armenia; Azerbayán; Rusia (algunas zonas)
• La mayoría de los países cambian de horario durante el año	

TABLA 2.59



CUESTIONARIO

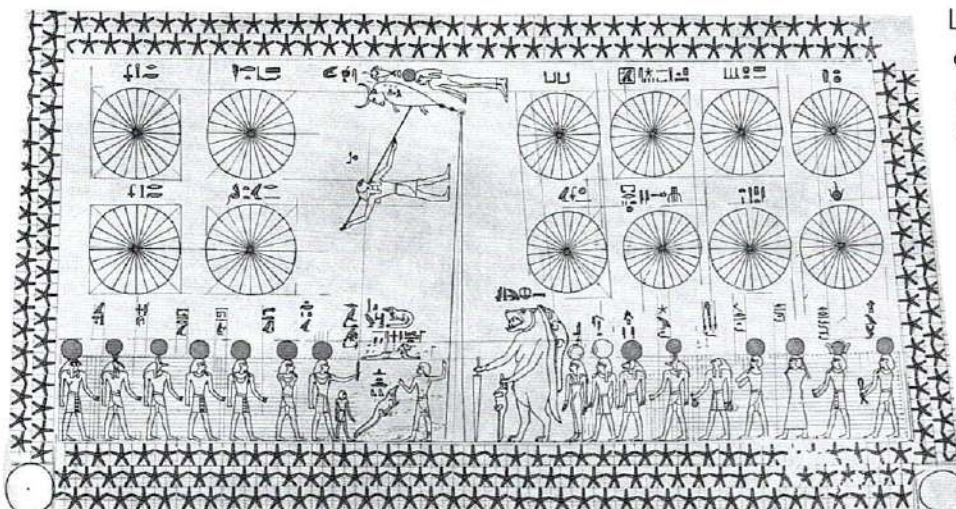
42. Imagina que hoy estamos a 2 de julio y esta noche deseamos realizar una determinada observación a las 23.30 T. U. ¿Qué hora deberá marcar nuestro reloj cuando hagamos esa observación?

FIGURA 2.60.

Calendario azteca.



FIGURA 2.61. Calendario egipcio encontrado en la decoración de una tumba de hace 3.500 años.



4.3. El calendario

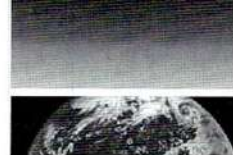
Los agricultores primitivos tenían que conocer el comienzo de las estaciones para emprender sus trabajos agrícolas. Este hecho suscitó la necesidad de medir el tiempo (fig. 2.60). El sistema de cuenta de largos períodos de tiempo se denomina **calendario** (proviene de *kalendas*, término latino con que los romanos designaban al primer día de cada

mes en el que convocaban al pueblo para anunciarles los días de fiesta y los destinados a la recaudación de impuestos). A lo largo de la historia se elaboraron numerosos y variados sistemas de calendarios, que se pueden clasificar en tres tipos principales: solares, lunares y lunisolares.

Los calendarios solares se basan en la duración del año trópico (365,2422 días medios); los calendarios lunares, en la duración del mes lunar (29,53 días medios), y los lunisolares, en la combinación de estos dos períodos.

Los egipcios fueron los primeros en establecer un calendario solar (fig. 2.61); su año constaba de 12 meses de 30 días, a los que añadían 5 días suplementarios que se consideraban sagrados. El primitivo calendario griego constaba de 12 meses lunares con un total de 345 días, al que pronto añadieron 3 meses de 30 días cada 8 años para compatibilizarlo con el año solar. Con ello, la duración media del año resultaba de 365,25 días.

Los romanos no se preocuparon demasiado por mejorar el calendario hasta que Julio César (fig. 2.62), en el año 46 antes de nuestra era y aconsejado por el astrónomo alejandrino Socígenes, estableció el llamado *calendario juliano* (antecesor directo de nuestro actual calendario). El año quedó dividido en 12 meses de 30 o 31 días, excepto febrero que tenía 28, lo que daba un total de 365 días solares medios en el transcur-



so de tres años consecutivos, y cada cuatro años se añadía, en febrero, un día más (año bisiesto). Los años bisiestos serían aquellos años cuyos dígitos fueran divisibles exactamente por 4. De este modo, la duración del año medio era de 365,25 días solares medios, más largo que el año trópico en 0,0078 días.



CUESTIONARIO

43. Calcula cuántos años debieron pasar, desde que se estableció el calendario juliano, para que la diferencia entre el año medio y el año trópico fuera de 1 día.

La discrepancia entre el año medio juliano y el año trópico se fue acumulando, año tras año, y alcanzó la cifra de 10 días cuando, en 1582 y por motivos religiosos, el papa Gregorio XIII (fig. 2.63) propuso reformarlo. Nació el *calendario gregoriano*.

Los dos puntos básicos de la reforma fueron:

1. Después del 4 de octubre de 1582 fue prescrito considerar no el 5, sino el 15 de octubre. Es decir, no han existido el 5 de octubre de 1582, ni el 6 de octubre, etc.
2. No considerar en el futuro bisiestos los últimos años del siglo en los que los dos primeros dígitos no se dividan por 4. No han sido bisiestos 1700, 1800, 1900, el año 2000 sí será bisiesto.



¿SABÍAS QUE...?

Santa Teresa de Jesús murió la noche del 4 de octubre de 1582 y no se la enterró hasta el día 15, que en realidad fue el día siguiente.

Con el primer punto se eliminaba la discrepancia de 10 días con el año trópico que había acarreado el calendario juliano, y de esta forma en 1583 el día del equinoccio de primavera comenzó de nuevo el 21 de marzo. Con el segundo punto se esta-

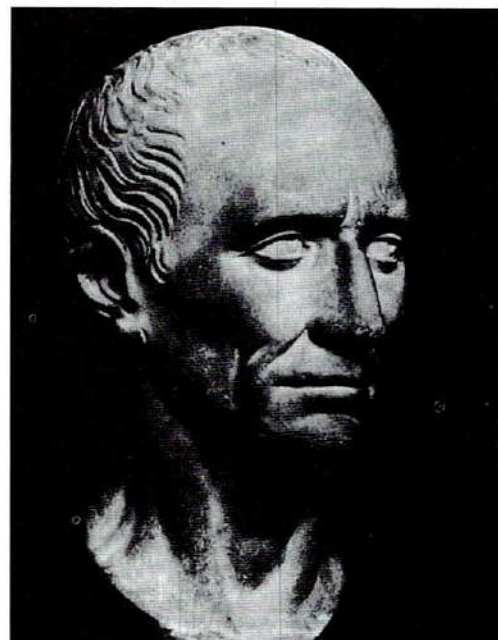


FIGURA 2.62. Julio César.



FIGURA 2.63. Gregorio XIII.

blece la duración del año civil en el intervalo de 400 años en 365,2425 días solares medios, más largo que el año trópico solamente en 0,0003 días.



CUESTIONARIO

44. ¿Cuántos años deberán transcurrir, desde 1582, para que la discrepancia entre el año civil y el año trópico sea de 1 día?

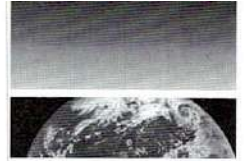
El comienzo del año civil es un concepto convencional, los romanos empezaban el año en marzo y lo terminaban en febrero. Más adelante y en algunos países comenzó el 25 de diciembre. Cuando se consideró el comienzo del año en enero, los nombres originales de los meses se conservaron, con lo que septiembre, octubre, noviembre y diciembre pasaron a ser los meses noveno, décimo, undécimo y duodécimo del año, cuando lo que significan etimológicamente es el séptimo, octavo, noveno y décimo, respectivamente. También es convencional la elección del comienzo de la cuenta de los años, es decir, establecer la era. El comienzo de la cuenta de los años desde el nacimiento de Jesucristo fue propuesto por Dionisio en el año 525 de nuestra era y se empezó a utilizar a partir del siglo VIII. El establecimiento de 12 meses en el año y de siete días en la semana, aunque tiene argumentación astronómica, es, no obstante, también convencional, y se conserva hasta la fecha por tradición. Un inconveniente del actual calendario es la diferente duración de los meses: de 28 a 31 días, y este mismo inconveniente tienen también los trimestres del año.

El calendario musulmán es lunar; su año lunar se compone de 12 meses lunares y contiene 354 o 355 días solares medios. El calendario israelita es lunisolar, su año se compone unas veces de 12 meses (354 días) y otras de 13 meses (384 días).

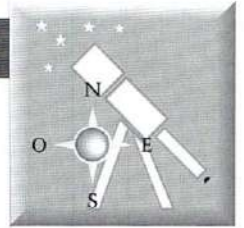
Se llaman días julianos a los días contados ininterrumpidamente desde el 1 de enero del año 4713 antes de nuestra era, hasta el mediodía medio de Greenwich de una fecha determinada. Fue propuesto por Escalígero en el siglo XVI de nuestra era y lo llamó así en honor de su padre, Julio. Por ejemplo, el mediodía medio del 10 de enero de 1980 se expresa en días julianos con el número 2444249, y la medianoche media de esa misma fecha se expresa con el número 2444249,5.



FIGURA 2.64. Soldado romano anunciando kalendas.



5. TALLER



5.1. El gnomon, un aparato sencillo

¿QUÉ ES?

Es el más antiguo de los instrumentos astronómicos. Por medio de él se puede determinar la hora y el período del año en que nos encontramos, la latitud del lugar, la oblicuidad de la eclíptica, la altura del Sol, las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, etcétera.

No debe confundirse con un duendecillo del bosque.

CONSTRUCCIÓN

Para su construcción necesitas (fig. 2.65):

- Una tabla de madera de 120 x 90 cm o algo menor
- Papel continuo blanco para forrar la tabla
- Un taco de madera pequeño con un orificio central
- Un clavo largo de 10 o 12 cm
- Un martillo y pegamento

1. Fíjate bien en el dibujo
2. Pega el papel a la tabla
3. Dibuja las líneas Norte-Sur y Este-Oeste
4. Clava el clavo en el taco. Procura que quede vertical
5. Pega el taco en el cruce de las líneas

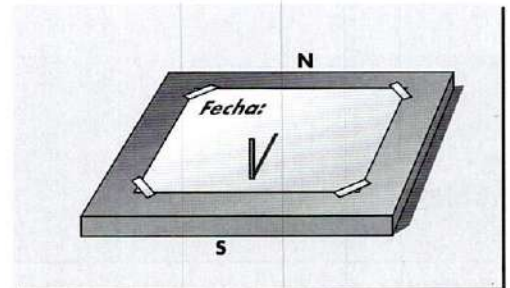


FIGURA 2.65. Gnomon portátil.

¿CÓMO SE USA?

Debes colocarlo en un lugar soleado (fig. 2.66). El patio suele ser un buen sitio. Con la ayuda de una **buena brújula** se orienta de forma que la línea N-S del gnomon coincida con la de la brújula (conviene marcar las esquinas del gnomon en el suelo para no tener que repetir este trabajo). Con un nivel consigue que se encuentre perfectamente horizontal.

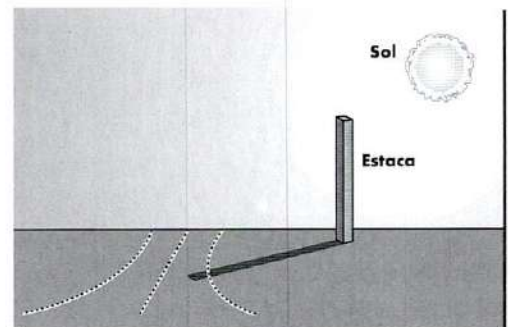


FIGURA 2.66. Gnomon fijo.

Marca cada 30 min o 1 hora el extremo de la sombra en el papel y anota la hora. Así obtendrás una serie de puntos que unidos darán la curva del día (apunta el día en su extremo).

Comprueba que la sombra más corta se da al mediodía, cuando el sol está más alto. Serán las 13 h o las 14 h y no las 12 h porque vamos adelantados 1 o 2 horas.

5.2. La ballestilla

¿QUÉ ES?

De todos es sabido que un mismo objeto podemos verlo más grande o más pequeño según lo que nos acerquemos o alejemos de él. Cuando decimos que lo vemos con un determinado tamaño queremos decir que las visuales que dirigimos a sus bordes forman un determinado ángulo; por tanto estamos hablando de tamaño angular. La ballestilla es un sencillo instrumento que nos permitirá medir distancias angulares entre objetos.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Imaginemos que queremos ver un objeto de 1 cm de alto con un tamaño angular de un grado, ¿a qué distancia de él debemos situarnos?

Como se observa en la figura 2.67, podemos calcular esa distancia con una relación trigonométrica:

$$\operatorname{tg} 1^{\circ} = 1/D; D = 1/\operatorname{tg} 1^{\circ} = 1/0,01745 = 57,29$$

Cualquier objeto visto desde una distancia equivalente a 57,3 veces su tamaño real, se verá con un tamaño aparente de 1 grado.

CONSTRUCCIÓN

Para su construcción necesitas (fig. 2.68):

- Chapa de madera fina, o de plástico, o de aluminio, de 3 o 4 cm de ancho y 50 o 60 cm de longitud
- Pintura negra y blanca
- Varilla delgada de madera de 57,3 cm de largo
- Dos metros de cordel fino y resistente

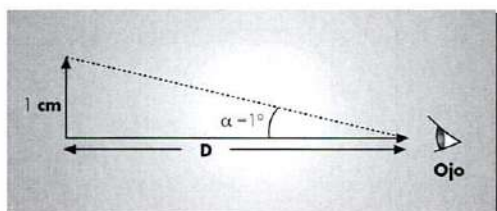


FIGURA 2.67. ¿A qué distancia debemos colocar un objeto de 1 cm de alto para verlo bajo un tamaño angular de 1°?

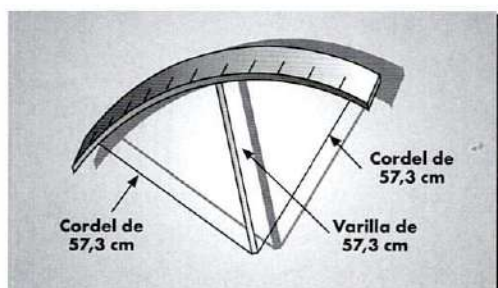
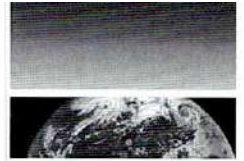


FIGURA 2.68. Ballestilla.



En el punto medio pondremos la varilla delgada, cuya longitud debe ser exactamente 57,3 cm. En los dos extremos de la regla se fijarán los extremos de un hilo fuerte de longitud total 114,6 cm, tal y como se observa en la figura 2.68. Se pondrá tenso el hilo pasándolo por el extremo libre de la varilla, sujetándolo allí con un clavo o chincheta, de modo que cada parte del hilo tenga una longitud de 57,3 cm.

¿CÓMO SE USA?

Si se aplica el extremo de la varilla a las inmediaciones del ojo, al mirar hacia la escala graduada, las divisiones hechas en centímetros quedarán convertidas en grados. Para medir el ángulo entre dos astros, por ejemplo, bastará con hacer coincidir el cero de la escala graduada con uno de los astros, y disponer el arco de la ballestilla de modo que el otro astro quede visualmente "apoyado" sobre el borde de la escala, y leer directamente el valor del ángulo que separa a ambos astros (fig. 2.69).

La ballestilla también sirve para medir alturas de astros, para ello se colocará en posición vertical haciendo coincidir el cero de la escala con el horizonte.

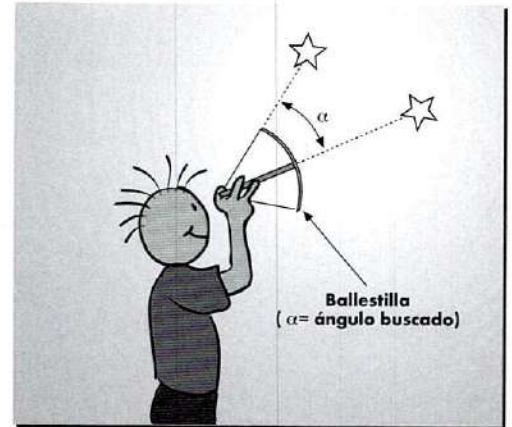


FIGURA 2.69. Utilización de la ballestilla.

5.3. El cuadrante

¿QUÉ ES?

Es uno de los instrumentos mas antiguos, fue usado para medir la altura de un astro sobre el horizonte.

CONSTRUCCIÓN

Para su construcción necesitas (fig. 2.70):

- Una regleta de madera de unos 60 cm de larga
- Cartón fuerte o madera de contrachapado
- Plomada (objeto pesado: una tuerca, etcétera)
- Hilo fuerte
- Un cuarto de círculo graduado de 0 a 90°, de unos 15 cm de radio
- Dos clavos y pegamento

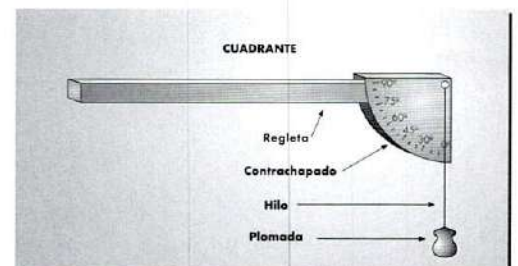


FIGURA 2.70. Cuadrante.

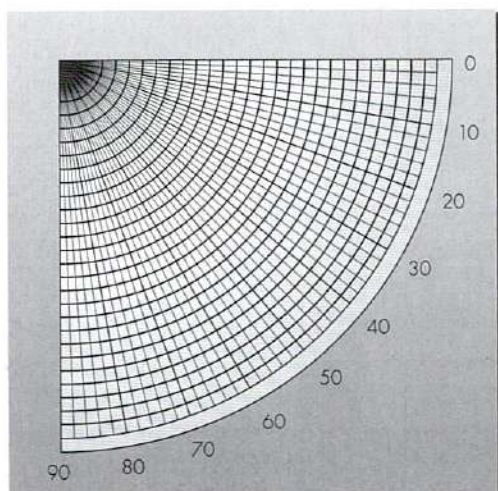


FIGURA 2.71. Cuadrante de círculo graduado.



FIGURA 2.72. Utilización del cuadrante.

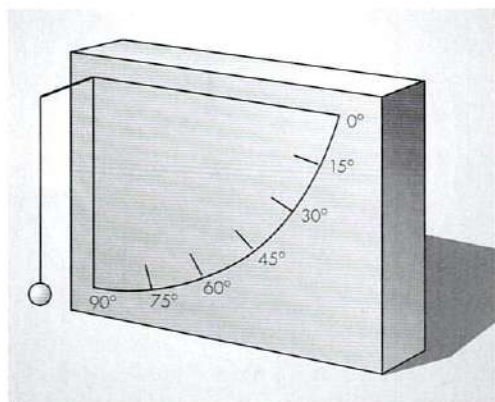


FIGURA 2.73. Plintron de Ptolomeo.

Hay que conseguir un cuarto de círculo graduado de 0 a 90° (fig. 2.71). Se recorta en el cartón o contrachapado un cuarto de círculo del mismo tamaño que el anterior (unos 15 cm de radio). Con pegamento, fijamos el cuadrante de papel al contrachapado.

Mediante dos clavos (o chinchetas) unimos el cuadrante a la regleta, de manera que uno de los catetos (el que contiene la línea de los 90°) tenga la misma dirección que la regleta, y el otro (el que contiene la línea de los 0°) quede perpendicular a ella. Uno de los clavos deberá estar en el vértice del cuadrante y de él debe colgar la plomada.

¿CÓMO SE USA?

Para usarlo bastará con mirar el objeto, cuya altura queremos medir, siguiendo la dirección que indica la regleta. Se espera a que se detenga la plomada y se bloquea con un dedo. La altura del objeto coincidirá con los grados que indique el hilo de la plomada en el cuadrante (fig. 2.72).

No debemos preocuparnos por localizar el horizonte verdadero, ya que la plomada va a indicar por sí misma la vertical del observador y por tanto también su plano del horizonte.

5.4. El plintron de Ptolomeo

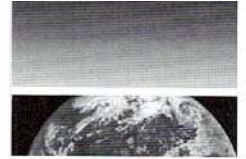
¿QUÉ ES?

Si lo que queremos es medir la altura del Sol, el cuadrante no nos va a servir, pues no podemos mirar directamente al astro rey. El plintron o zócalo de Ptolomeo, llamado así en honor del famoso astrónomo griego, puede servirnos para tal fin.

CONSTRUCCIÓN

Para su construcción necesitas (fig. 2.73):

- Un bloque de madera de 25 x 25 x 4 cm
- Un cuadrante graduado de 0 a 90°
- Un clavo
- Una plomada
- Pegamento



Pegamos el cuadrante sobre una de las caras del bloque de madera, teniendo la precaución de que las líneas de los extremos queden horizontal, una, y vertical, la otra. En el vértice del cuadrante se coloca un clavo de forma que quede perpendicular a la cara del bloque. Se sujeta la plomada al clavo.

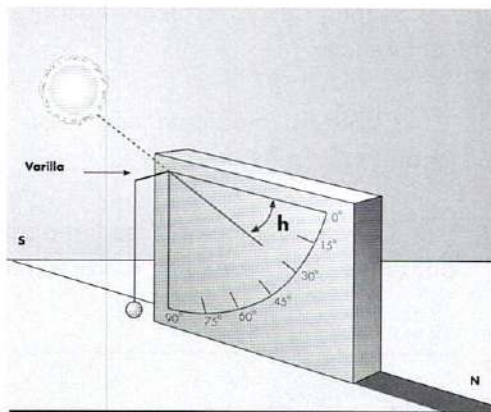


FIGURA 2.74. Utilización del plinthon de Ptolomeo.

¿CÓMO SE USA?

El plinthon debe colocarse sobre una superficie horizontal, de manera que la plomada indique 90° .

El clavo desempeña el papel de gnomon, produciendo una sombra a lo largo del cuadrante cuando el Sol ilumina el instrumento. Entonces, podemos leer en el cuadrante la medida directa de la altura del Sol (fig. 2.74).

5.5. Determinación de la meridiana

Se llama meridiana a la recta que resulta de la intersección del plano meridiano del lugar con el plano del horizonte. También se la conoce como línea Norte-Sur.

DESARROLLO (fig. 2.75)

Sobre una superficie plana y horizontal situamos una varilla o estilete de unos 30 cm de longitud.

Con un palo, piedra, etc., señalamos el extremo de la sombra.

Trazamos una circunferencia, alrededor de la varilla, que tenga por radio la longitud de la sombra marcada anteriormente.

Indicamos, con piedrecitas, los extremos de la sombra en

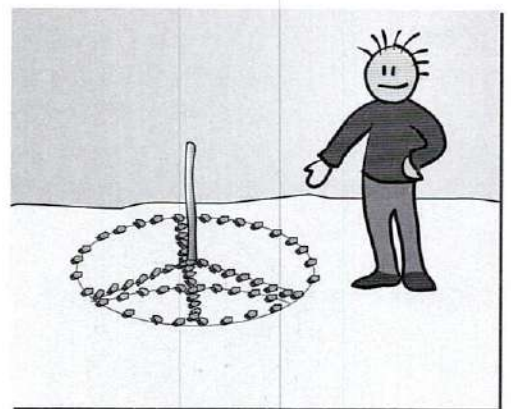
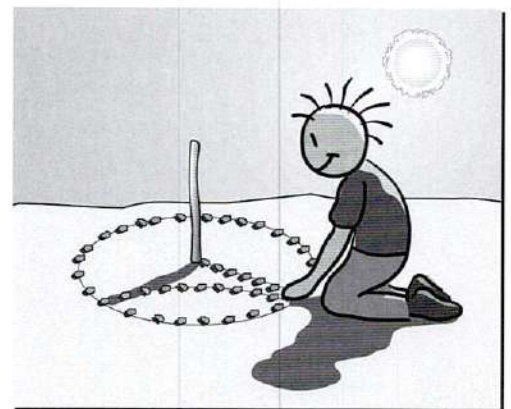
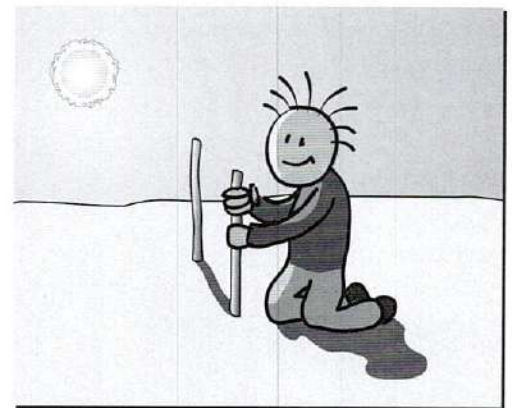


FIGURA 2.75. Determinación de la línea Norte-Sur.

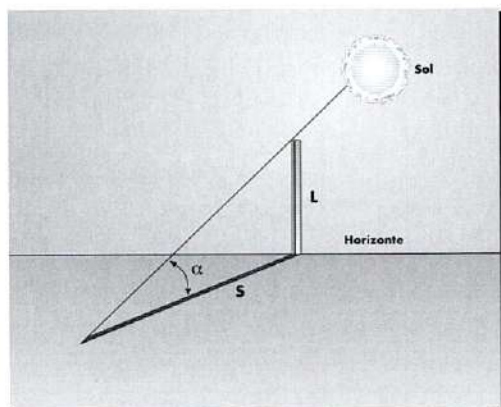


FIGURA 2.76. Cálculo de la altura del Sol.

su continuo desplazamiento hasta que ésta vuelva a tocar la circunferencia.

Unimos, mediante una línea recta, las dos señales que tocan la circunferencia.

La perpendicular a esa línea por su punto medio y que pasa por el pie de la varilla es la meridiana.



CUESTIONARIO

1. ¿Por qué a la meridiana se la conoce como línea Norte-Sur?
2. ¿Qué relación hay entre las meridianas dibujadas en lugares diferentes?
3. ¿Con qué sombra coincide la meridiana?
4. Si te encontraras perdido y sin brújula, explica cómo encontrarías el Norte y el resto de los puntos cardinales.
5. ¿Coincide la meridiana con la línea N-S que da la brújula?

5.6 Altura del sol. Determinación de la altura de un objeto

Desde que el Sol sale hasta que se pone va recorriendo la esfera celeste a distintas alturas sobre el horizonte. ¿Cómo medirlas? ¿Se puede medir la altura de, por ejemplo, un árbol sin necesidad de subirse a él? En esta práctica hallarás la forma de hacerlo.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La observación de la sombra que arroja una varilla vertical sobre una superficie plana horizontal (gnomon) es suficiente para que, utilizando simples relaciones matemáticas, podamos calcular la altura del Sol. Observa la figura 2.76:

Conocida la longitud de la varilla, L , si medimos la longitud de la sombra, S , tendremos:

$\text{tg } \alpha = L / S$, con lo que la altura del Sol sobre el horizonte será: $\alpha = \arctg L / S$.

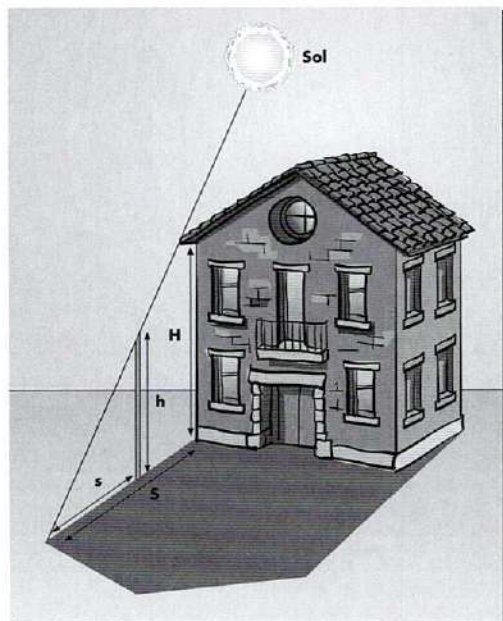
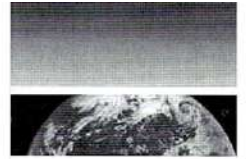


FIGURA 2.77. Medida indirecta de la altura de un objeto.



DESARROLLO

- 1) Con ayuda del gnomon, medir la altura del Sol en tres momentos diferentes del día: tres horas antes del mediodía, en el mediodía y tres horas después del mediodía.
- 2) Elegir un objeto cuya altura sea difícil de medir directamente, un edificio, árbol, etc., (fig. 2.77). Medir la longitud de la sombra que arroja en los tres momentos que se hacen mención en el párrafo anterior. Demostrar la relación existente entre la altura del gnomon/longitud de su sombra (h/s) y altura del objeto/longitud de su sombra (H/S). Emplear esta equivalencia para calcular la altura del objeto.

6. APÉNDICE: TELESCOPIOS ÓPTICOS

Hasta Galileo, el único instrumento óptico que se utilizó para contemplar el firmamento fue el ojo. Pero como instrumento astronómico, el ojo presenta grandes limitaciones en cuanto a luminosidad y poder de resolución (fig. 2.78). Los telescopios son la ayuda óptica necesaria para poder observar objetos poco luminosos y lejanos.

El sistema óptico que constituye el telescopio consta de dos partes: el **objetivo** y el **ocular** (fig. 2.79).

El objetivo recoge la luz procedente del astro y la concentra en torno a un punto denominado *foco*.

El ocular forma la imagen aumentada y la hace visible para el ojo del observador.

Con mucha frecuencia se oye decir que un telescopio es tanto más potente cuanto más aumentos consiga. Es un error, no son los aumentos la característica principal de un telescopio, ni lo que marca la potencia del mismo. El objetivo es la parte más importante, la que determina las características principales del telescopio: su *potencia* (capacidad de observar objetos muy poco brillantes) y *poder de resolución* (capacidad para individualizar o separar objetos que se hallan muy próximos).

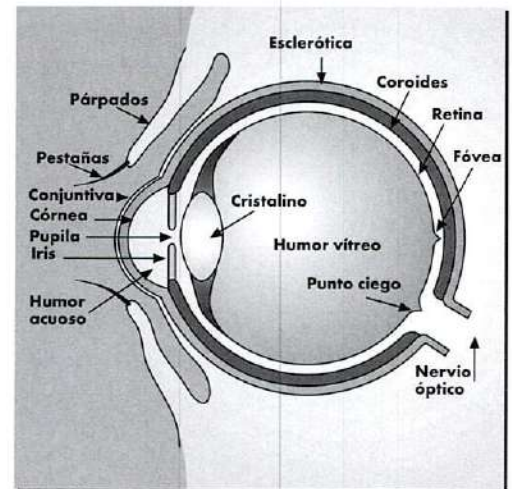


FIGURA 2.78. Esquema del globo ocular.

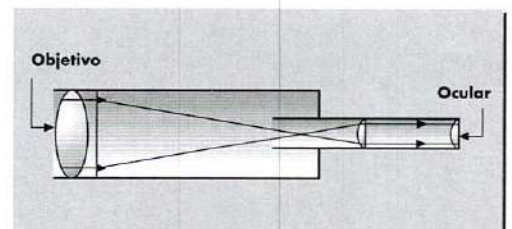


FIGURA 2.79. Los elementos ópticos más importantes de un telescopio son: el objetivo y el ocular.

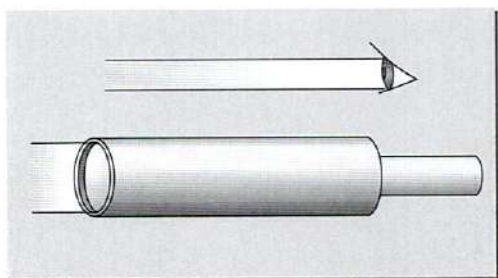


FIGURA 2.80. Un telescopio de 100 mm de abertura es 156 veces más potente que un ojo humano.

6.1 El objetivo

Puede ser una lente o un espejo. Su característica principal es el diámetro o abertura, que va a determinar la potencia y el poder de resolución del telescopio. Cuanto mayor sea esta abertura, más luz podrá recoger (aumenta su potencia) y mayor será su poder separador.

Como ejemplo podemos comparar la potencia de un telescopio de 100 mm de abertura con la potencia del ojo humano cuando la pupila se encuentra abierta al máximo (durante la visión nocturna), cuyo diámetro es 8 mm:

Superficie del objetivo del telescopio:

$$S_T = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 50^2 = 2.500 \pi \text{ mm}^2.$$

Superficie de la pupila:

$$S_p = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 4^2 = 16\pi \text{ mm}^2.$$

$$\text{Relación } S_T / S_p : 2.500 \pi / 16 \pi = 156.$$

Con el telescopio recogemos 156 veces más luz que con el ojo (fig. 2.80); en consecuencia, podemos observar objetos 156 veces menos brillantes que los más débiles visibles a simple vista.

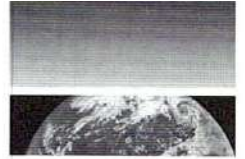
Si el objetivo del telescopio tuviera 200 mm de abertura, su superficie sería: $10.000 \pi \text{ mm}^2$. Por tanto, este segundo telescopio resultaría 4 veces más brillante ($10.000 \pi / 2.500 \pi$) que el primer telescopio. Nótese que si el diámetro del objetivo aumenta "n", la potencia aumenta "n²".

Otra característica importante del objetivo de un telescopio es su *distancia focal*, f , definida como la distancia existente entre el objetivo y el foco. Esta magnitud va a limitar los máximos aumentos que podemos obtener del telescopio, de forma que, cuánto mayor sea la distancia focal, mayores aumentos podremos conseguir.

6.2. El ocular

Es, después del objetivo, el elemento óptico más importante del telescopio. De él va a depender *los aumentos y el campo*. Pero a diferencia del objetivo, que es fijo, un ocular puede reti-





rarse del telescopio y ser sustituido por otro que dé más o menos aumentos (fig. 2.81). Por tanto, al adquirir un telescopio conviene exigir un juego de, como mínimo, tres oculares distintos (desde 6 mm hasta 40 mm de distancia focal).

Para calcular los aumentos se utiliza la expresión:

Aumento = Distancia focal del objetivo / Distancia focal del ocular.

Así, para una determinada distancia focal del objetivo, cuánto menor sea la distancia focal del ocular, más aumentos conseguiremos. Por ejemplo, si nuestro telescopio tiene 1.000 mm de focal de objetivo y utilizamos un ocular de 6 mm, tendremos: $\text{Aumentos} = 1.000 \text{ mm} / 6 \text{ mm} = 167x$. Si el ocular es de 40 mm; tendremos: $\text{Aumentos} = 1.000 \text{ mm} / 40 \text{ mm} = 25x$.

En el terreno práctico hay que señalar que se debe hacer un uso moderado de los aumentos, pues llega un momento en que la calidad de la imagen se deteriora. Como consejo, los máximos aumentos a colocar serán aquellos que sean coincidentes con el doble de la abertura del objetivo de nuestro telescopio. Por ejemplo, si el objetivo tiene una abertura de 80 mm, conviene no sobrepasar los 160x.

El campo de un telescopio es la amplitud angular del espacio que se observa a través del mismo (fig. 2.82). Para un determinado objetivo (a mayor abertura de éste, mayor campo), el campo va a depender del ocular que utilicemos. Cuanto menor sea la distancia focal del ocular, es decir, cuántos más aumentos pongamos, menor será el campo del telescopio.

Al principio de una observación debemos colocar el ocular más débil: tiene más campo, es más luminoso y produce imágenes más claras; luego lo iremos sustituyendo por oculares cada vez más potentes. Antes de hacer la sustitución, debemos centrar bien el objeto, luego aplicamos el ocular de más aumentos y enfocamos hasta obtener una imagen correcta.

6.3. Lentes y espejos

Las lentes de uso astronómico se hacen a partir de bloques de vidrio purísimo, perfectamente homogéneo y sin burbujas de aire. Sus superficies se labran de forma esférica. Pueden ser de dos



FIGURA 2.81. Oculares de diferente distancia focal.

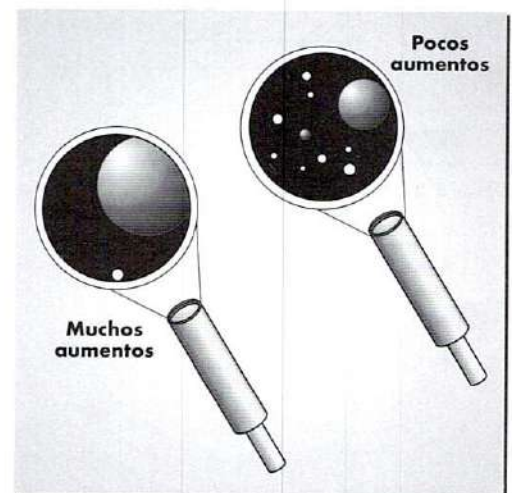


FIGURA 2.82. Lo que más llama la atención de los telescopios es el poco campo que muestran.



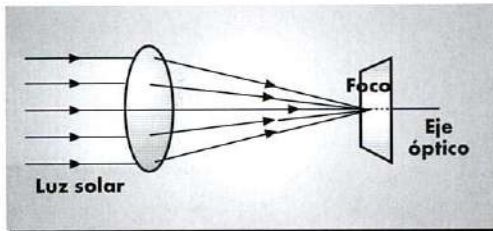


FIGURA 2.83. Los rayos luminosos atraviesan la lente convergente y se concentran en el foco.

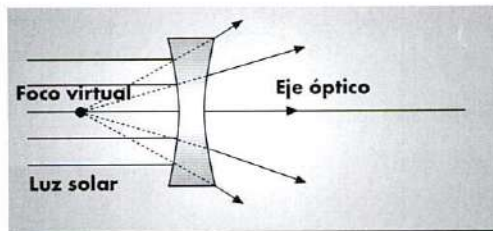


FIGURA 2.84. Los rayos luminosos atraviesan la lente divergente y se abren de tal manera que sus prolongaciones se concentran en F' .

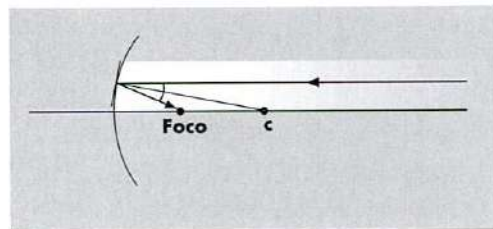


FIGURA 2.85. Los rayos luminosos no atraviesan el espejo, sino que son reflejados por éste.

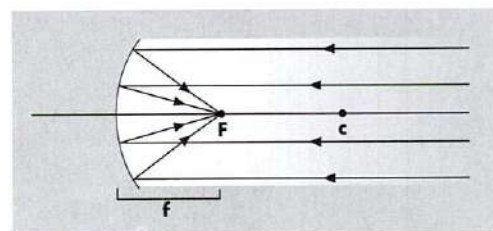


FIGURA 2.86. Un espejo esférico cóncavo concentra los rayos reflejados en un punto: el foco.

clases: convergentes y divergentes. Las primeras hacen converger los rayos luminosos en un punto (*foco*) (fig. 2.83); las segundas, por el contrario, dispersan los rayos como si éstos proviniesen de un punto situado entre la lente y el objeto (*foco virtual*) (fig. 2.84).

Los espejos cóncavos esféricos se hacen de vidrio, no necesariamente perfecto en su interior y pulido con alta precisión. La superficie esférica se hace después reflectante depositando, con técnicas especiales, un estrato fino de aluminio (tarda más que la plata en oxidarse). El centro de la esfera de la que se ha "cortado" se denomina *centro óptico* (C). Los rayos luminosos inciden en el espejo y son reflejados en el foco (fig. 2.85).

De esta manera, un espejo esférico se comporta como una lente convergente (fig. 2.86) y, por tanto, se puede usar como objetivo de un telescopio. En la práctica, y para corregir algunos problemas ópticos que sufren los espejos esféricos, éstos se deforman ligeramente hasta darles forma parabólica, lo que encarece algo el valor del espejo, pues el pulido es más delicado. Además, con ello no se eliminan todos los problemas ópticos.

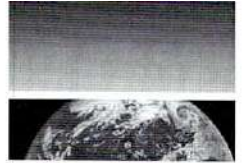
Las dos características fundamentales de lentes y espejos son: su diámetro o abertura y su distancia focal (f), que determinan a su vez las principales características del instrumento sobre el que van montadas.

6.4. Clases de telescopios

Atendiendo a las características del objetivo, los telescopios se clasifican en:

- **Refractores:** usan objetivos de *lentes*, y utilizan, por tanto, las propiedades de la refracción de la luz al atravesar un medio denso (por ejemplo: vidrio).
- **Reflectores:** usan objetivos de *espejos*, utilizando las propiedades de la reflexión de la luz al incidir sobre una superficie cóncava (esférica o parabólica) cubierta de algún material reflectante.
- **Catadióptricos:** el objetivo consta de lentes y espejos.

6.4.1. Telescopios refractores. Utilizan como objetivo una lente biconvexa, junto a otra planocóncava de vidrio diferente que tie-



ne como misión corregir ciertos problemas ópticos que dan las lentes. El añadir la segunda lente hace que la distancia focal aumente, lo que obliga a que el tubo sea bastante largo (fig. 2.87).

Interiormente se ennegrece con barniz opaco para evitar reflexiones anómalas de luz. En el exterior del tubo, en donde se coloca el ocular, lleva una "cremallera" que permite acercar o alejar el ocular hasta conseguir enfocar el objeto a visualizar.

Los refractores son ideales, por su precio y mantenimiento, hasta los 80 mm de abertura (fig. 2.104 color).

6.4.2. En los telescopios reflectores, los rayos de luz entran en el tubo y son recogidos por un espejo parabólico cóncavo, y reflejados a través del tubo en dirección a un espejo secundario. Este último refleja a su vez los rayos convergentes hacia un foco situado fuera del tubo, donde la imagen es examinada, desde una posición muy cómoda, a través del ocular (fig. 2.88).

El primer telescopio reflector fue construido por Newton, y hoy lo denominamos *reflector newtoniano*. En él, el espejo secundario es plano y se encuentra inclinado 45° en relación al eje del telescopio.

Otro tipo de telescopio reflector es el *Cassegrain* (fig. 2.89), aquí el espejo secundario es convexo y refleja la luz del espejo primario nuevamente hacia el tubo, y a través de un orificio en el espejo primario la luz llega al ocular. La ventaja que presenta frente al reflector es que al haber más recorrido de luz en el interior del tubo, éste puede ser más corto que el newtoniano, pero da peores imágenes y es más difícil y caro de construir.

La mayoría de los aficionados a la astronomía prefieren los newtonianos de abertura superior a los 120 mm (fig. 2.105 color).

6.4.3. Telescopios catadióptricos. Como ya se dijo al hablar de espejos, éstos presentan problemas ópticos de difícil solución. En 1930, B. Schmidt, un óptico del observatorio de Hamburgo, siguiendo una idea expresada veinte años antes por Kellner, construyó un telescopio en el que se conjugaban las propiedades de los espejos y de las lentes (fig. 2.90). Pero más que un telescopio

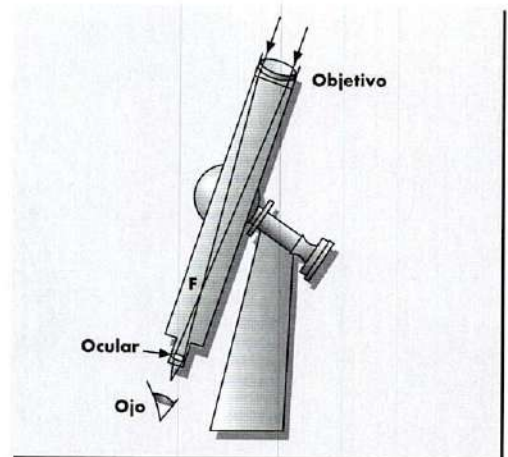


FIGURA 2.87. En un telescopio refractor, a veces, la posición a adoptar es muy incómoda.

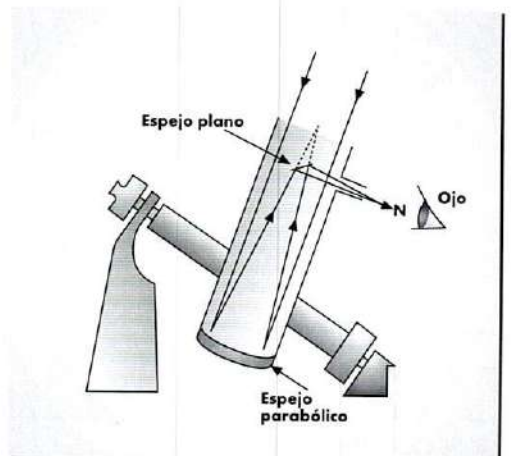


FIGURA 2.88. Telescopio reflector newtoniano.

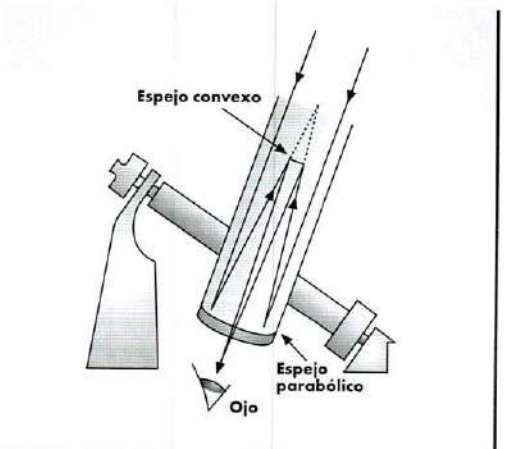


FIGURA 2.89. Telescopio reflector Cassegrain.



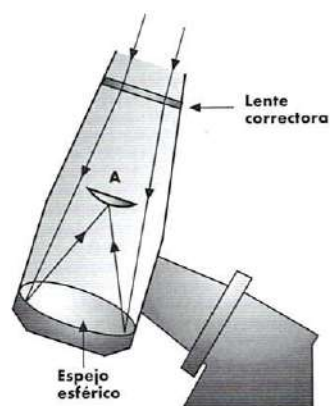


FIGURA 2.90. Telescopio Schmidt.

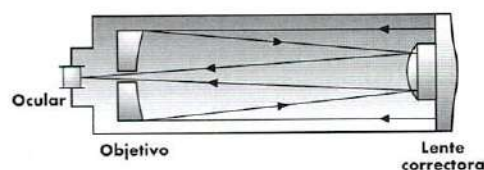


FIGURA 2.91. Telescopio Schmidt-Cassegrain.

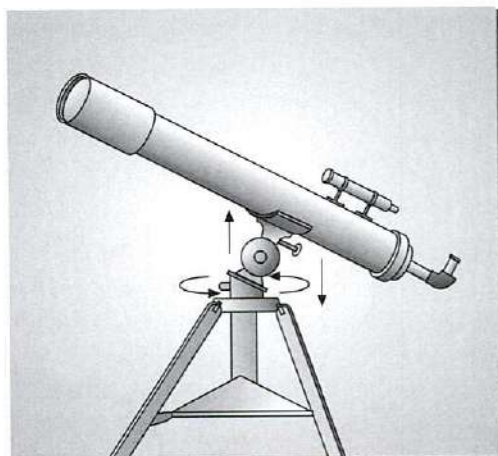


FIGURA 2.92. Montura azimutal.

es una enorme cámara fotográfica donde la placa fotográfica a utilizar debe ser curva y colocada en A.

El telescopio Schmidt de 1,25 m de abertura, de Monte Palomar (fig. 2.103 color) ha sido uno de los principales protagonistas de la astrofísica moderna, pero no sirve para la observación visual por lo apuntado más arriba.

Para el astrónomo aficionado se ha adaptado en forma de telescopio Schmidt-Cassegrain (fig. 2.91). En el centro óptico del espejo esférico se coloca una lente especial que soluciona la aberración que presentan los espejos. Esta lente debe ser finísima, con una forma muy especial y pulida muy cuidadosamente, por lo que el precio de este telescopio es superior al de cualquier reflector de su misma abertura, sin embargo son los mejores, tanto por su luminosidad como por su reducido tamaño (fig. 2.106 color).

6.5. Montajes mecánicos de los telescopios

El soporte en el cual se encuentra el telescopio es una parte fundamental del mismo. Existen dos métodos básicos para montar un telescopio en su soporte. El más simple es el **azimutal** (fig. 2.92), similar a la cabeza basculante del trípode de una cámara fotográfica. Permite al telescopio moverse vertical u horizontalmente; es decir, en altitud (arriba y abajo) y en azimut (de un lado a otro). Puesto que los astros cambian continuamente su altitud y azimut, este tipo de montaje dificulta una observación prolongada del objeto, además de tener que apuntarlo "a ojo"



si no dispone de círculos graduados para medir el azimut y la altura.

El otro montaje es el **ecuatorial** (fig. 2.93), como en el anterior, el montaje presenta dos ejes en ángulo recto entre sí. Uno de esos ejes (el llamado *polar*) es paralelo al eje del mundo, de forma que para seguir un astro basta mover el telescopio alrededor del eje polar de Oeste a Este (en sentido contrario a la esfera celeste), es decir, en ascensión recta. El otro eje permite moverlo en declinación. La montura lleva tres círculos graduados: el primero de -90° a $+90^\circ$ de latitud; el segundo de 0 h a 24 h de ascensión recta; y el tercero de -90° a $+90^\circ$ de declinación. La ventaja de esta montura es doble: se sigue fácilmente el movimiento de la esfera celeste y se puede acoplar un pequeño motor sincrónico que siga al astro a lo largo de su movimiento.

No obstante, los grandes telescopios están montados azimutalmente para evitar el sistema de contrapesos de la montura ecuatorial, necesario para mantener el equilibrio del tubo, y hacer así más equilibrado el montaje. Sin embargo, estos telescopios están gobernados por un ordenador que controla dos motores que mueven el telescopio en azimut y altura para seguir el movimiento de la esfera celeste (fig. 2.107 color). ■

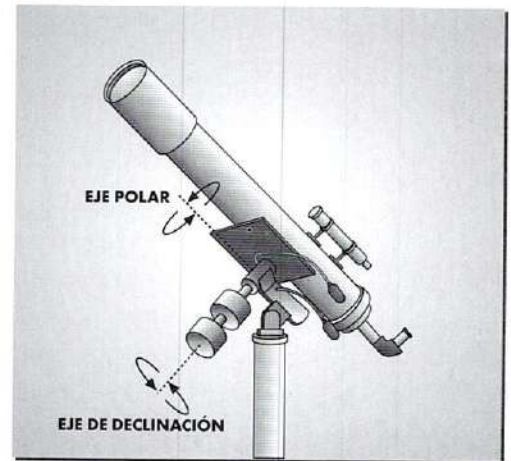


FIGURA 2.93. Montura ecuatorial.

Unidad 1

ilustraciones en color

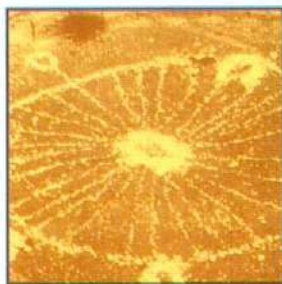


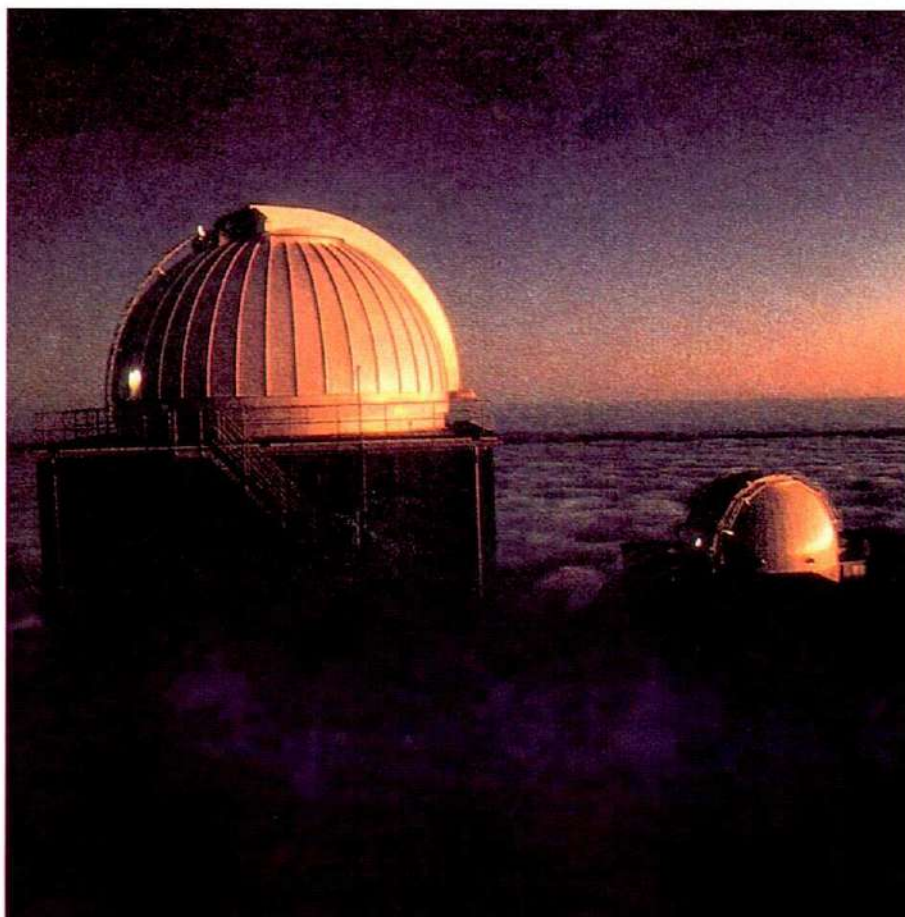
FIGURA 1.64

Durante los eclipses totales de luna, ésta se enrojece debido a que sólo la componente roja de la luz solar es capaz de atravesar la atmósfera terrestre.



FIGURA 1.65

El Instituto Astrofísico de Canarias es uno de los observatorios más importantes a escala mundial.



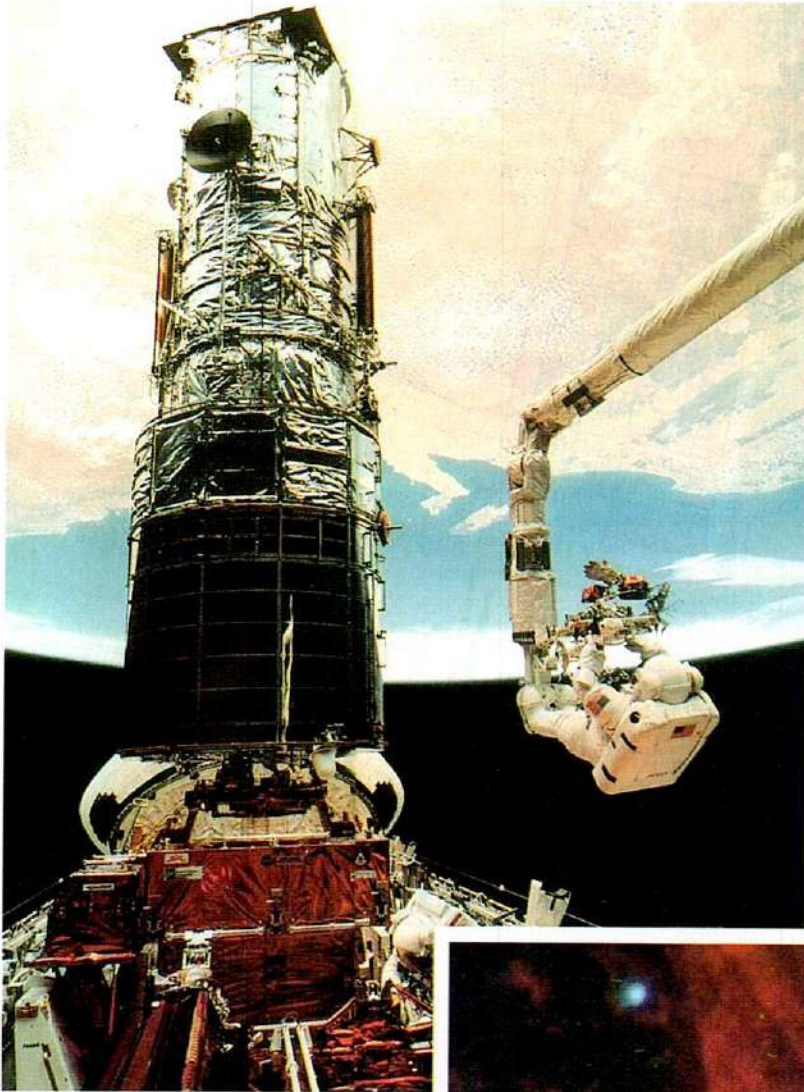


FIGURA 1.66

Trabajos de
reparación del
telescopio espacial
Hubble.

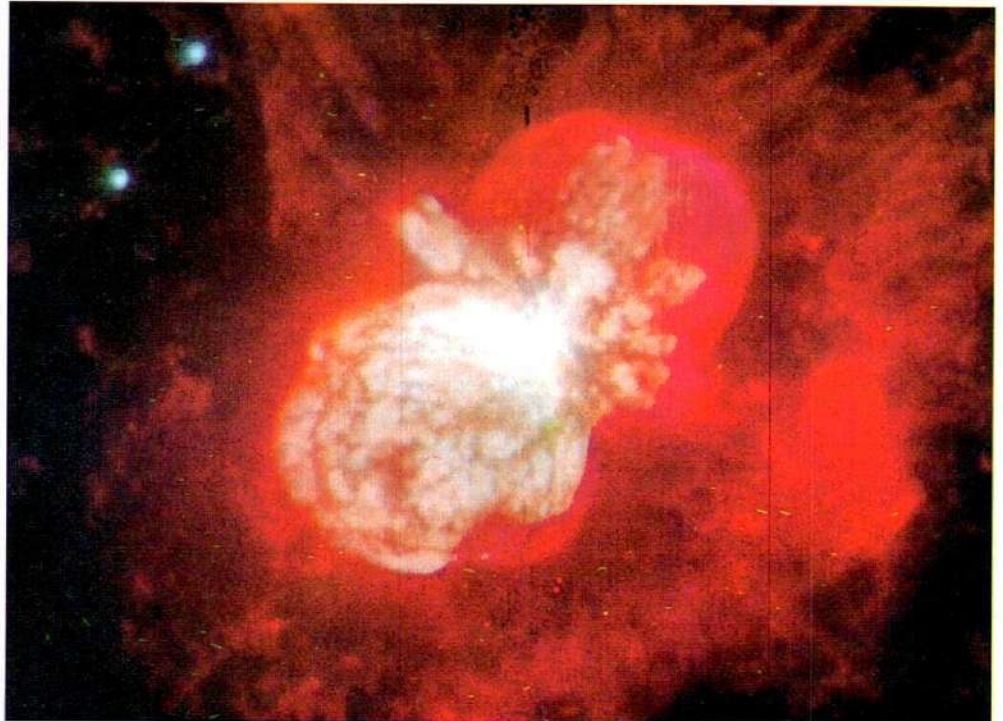


FIGURA 1.67

Impresionante imagen del
Hubble de la estrella Eta
Carinae proyectando
abundante material.



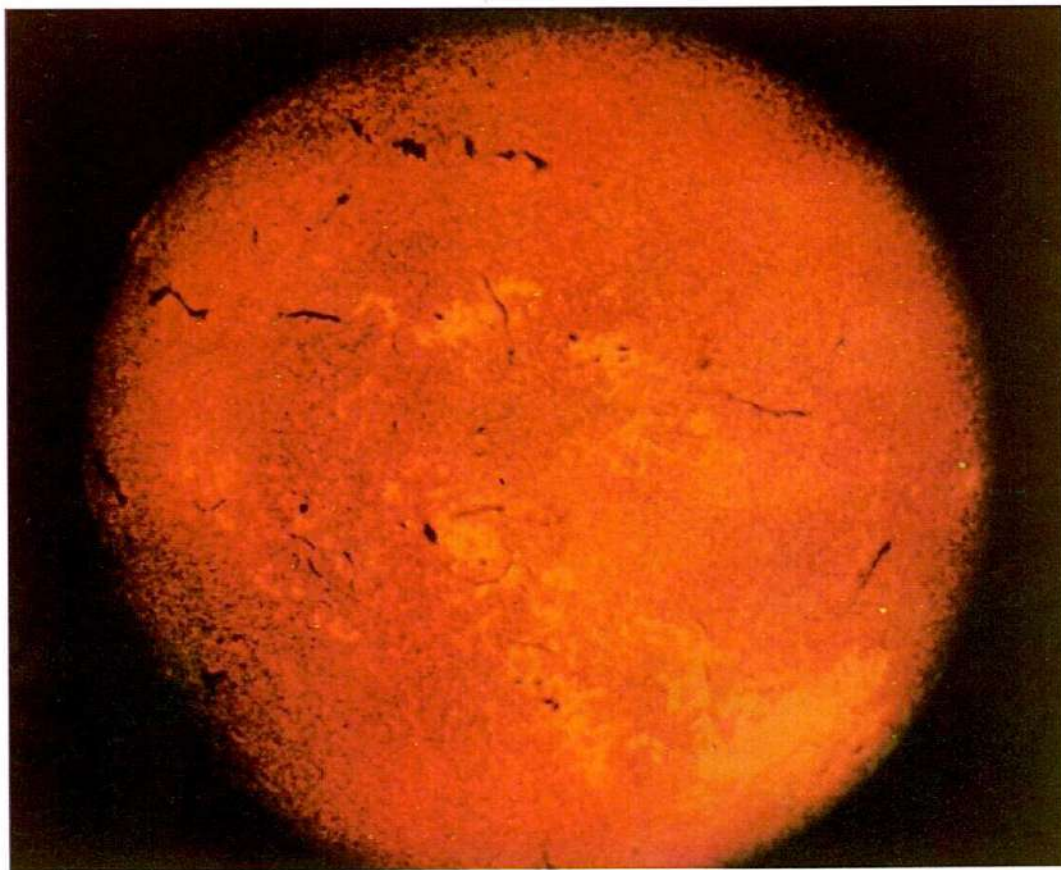


FIGURA 1.68

El diámetro solar es unas cien veces mayor que el terrestre; su distancia a Tierra (1 U.A.) equivale a 8 minutos luz.

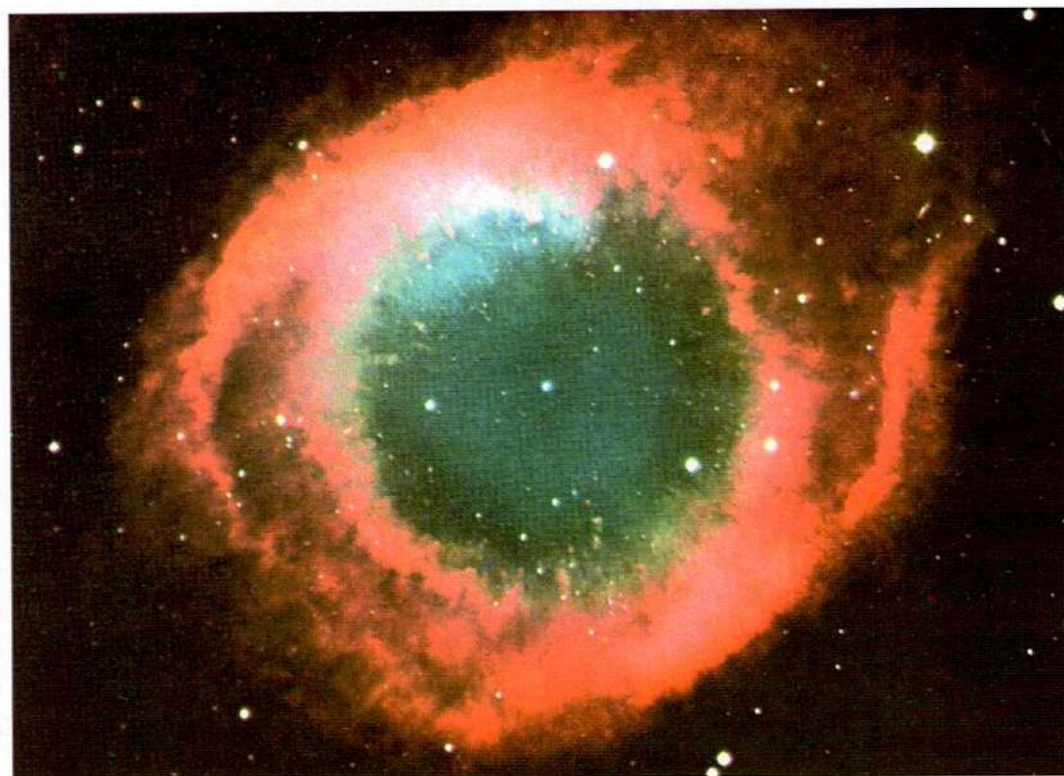


FIGURA 1.69

Nebulosa planetaria de la Hélice: las nebulosas planetarias tienen un diámetro entre 1 y 10 años luz. La nebulosa de la Hélice se encuentra a unos 450 años luz de nosotros.



FIGURA 1.70

La gran nebulosa de Orión (M42) se encuentra a unos 1.500 años luz de nosotros y su diámetro es de unos 20 años luz.



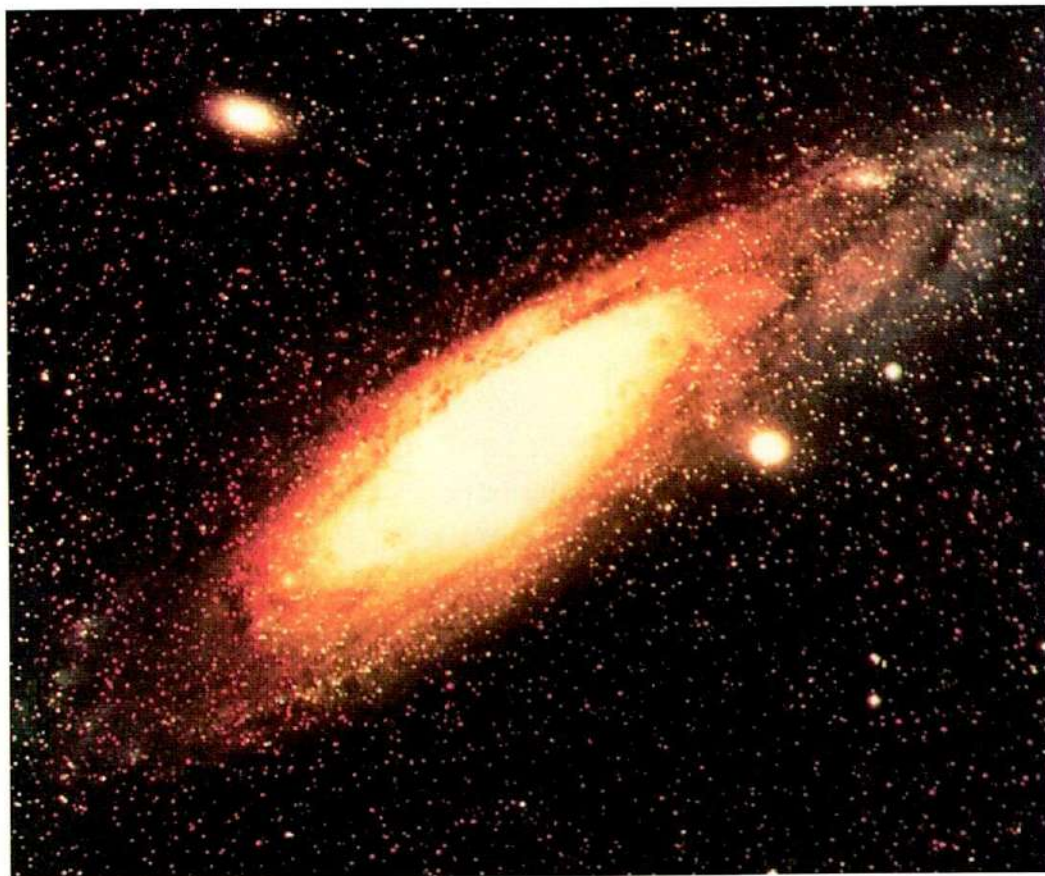


FIGURA 1.71

La gran galaxia de Andrómeda (nuestra vecina) se encuentra a "tan sólo" 1.000.000 de años luz de nosotros. Su diámetro es de unos 125.000 años luz.



FIGURA 1.72

En esta foto de la Tierra, puede verse la coloración azulada de la atmósfera circundante, debido a la dispersión de la luz.

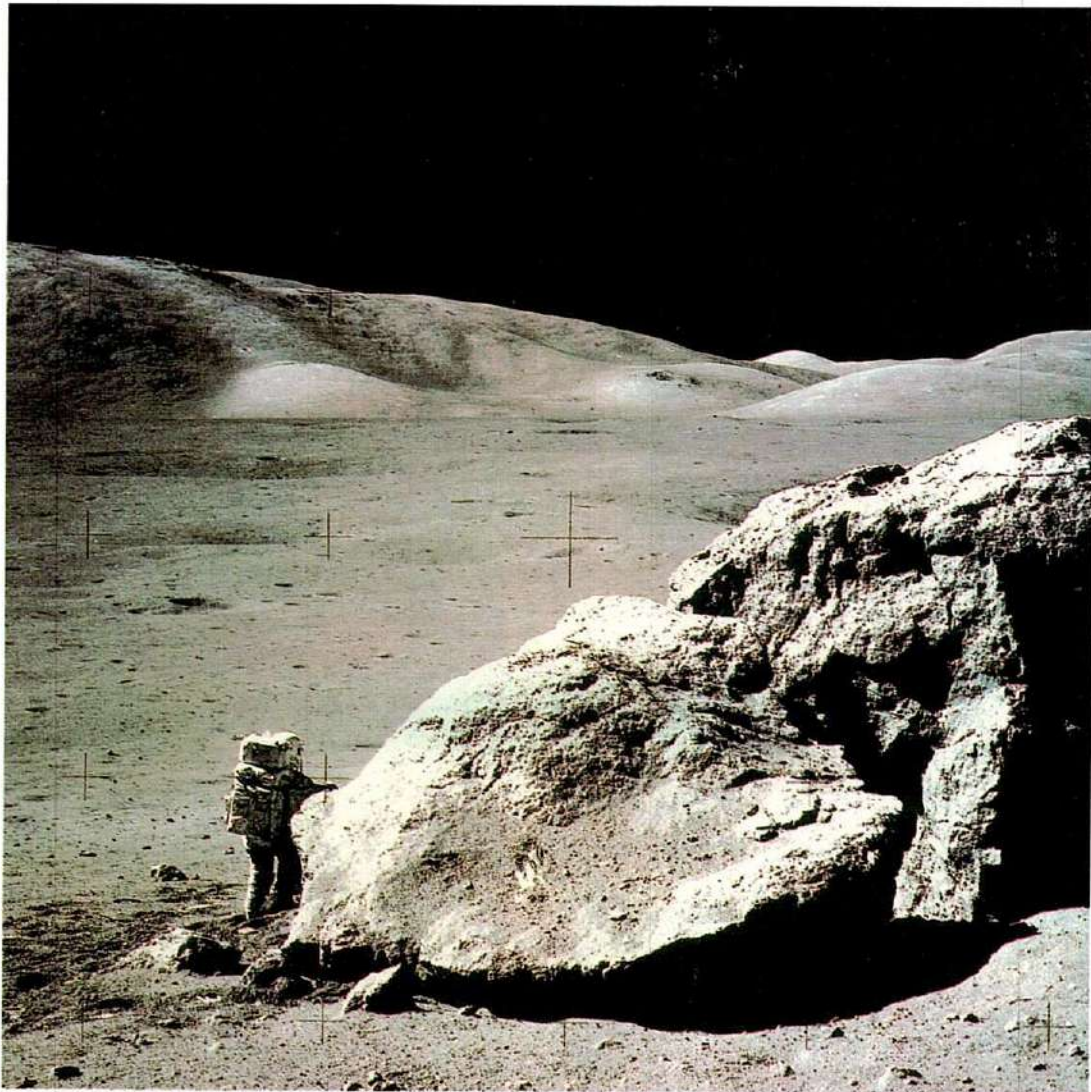


FIGURA 1.73

En la Luna, pese a ser de día (pueden apreciarse las sombras), el cielo es negro al no haber atmósfera. De ese modo, no hay dispersión de la luz.

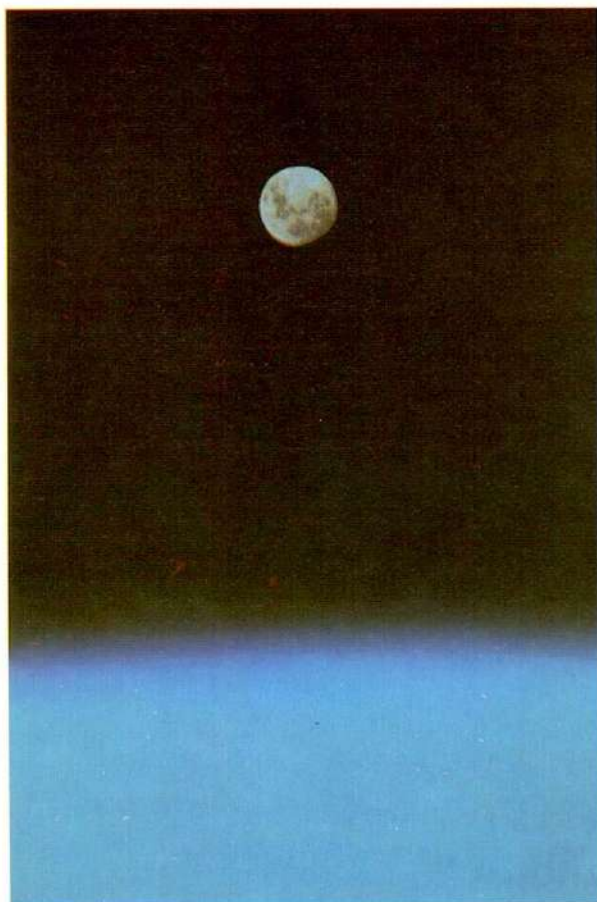


FIGURA 1.74

En esta perspectiva de la Luna puede observarse la atmósfera azulada por la dispersión en la Tierra.

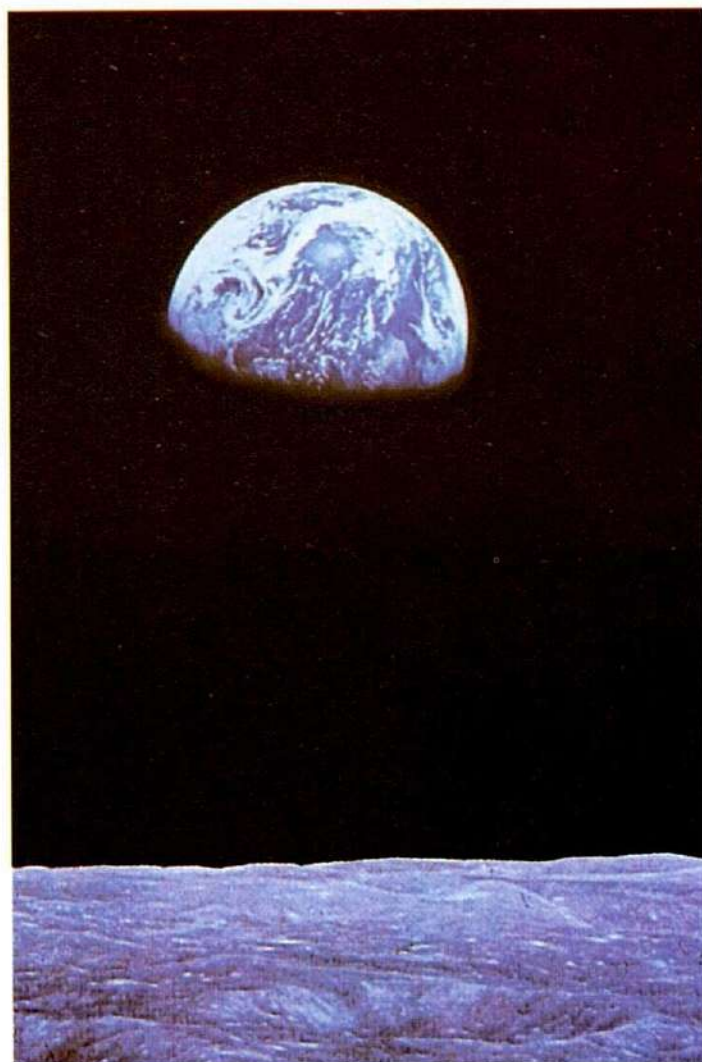


FIGURA 1.75

La Tierra desde la Luna. Al no haber atmósfera en la Luna, no hay otra coloración del cielo que no sea el negro profundo.

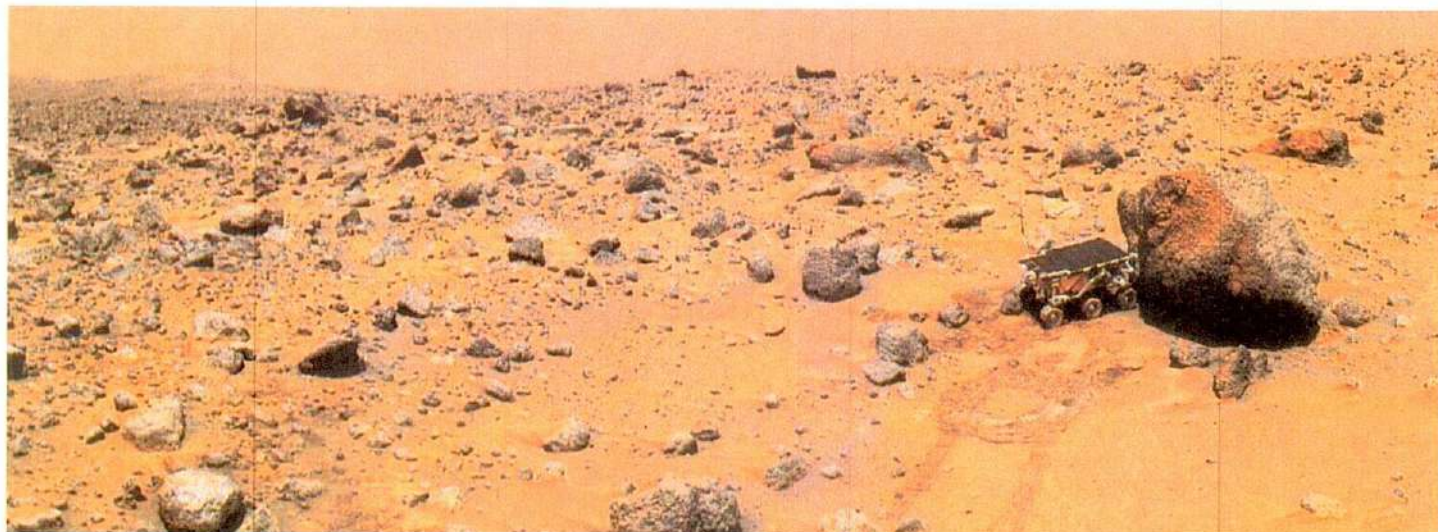


FIGURA 1.76

Paisaje marciano. Sojourner analizando una roca. El cielo diurno en Marte es rojizo debido a la gran cantidad de polvo en suspensión en su atmósfera, lo que produce una gran dispersión; el color que menos dispersión sufre (el rojizo) es el único capaz de llegar a la superficie en esas condiciones. Algo así ocurre en la Tierra en los desiertos durante las tormentas de arena.

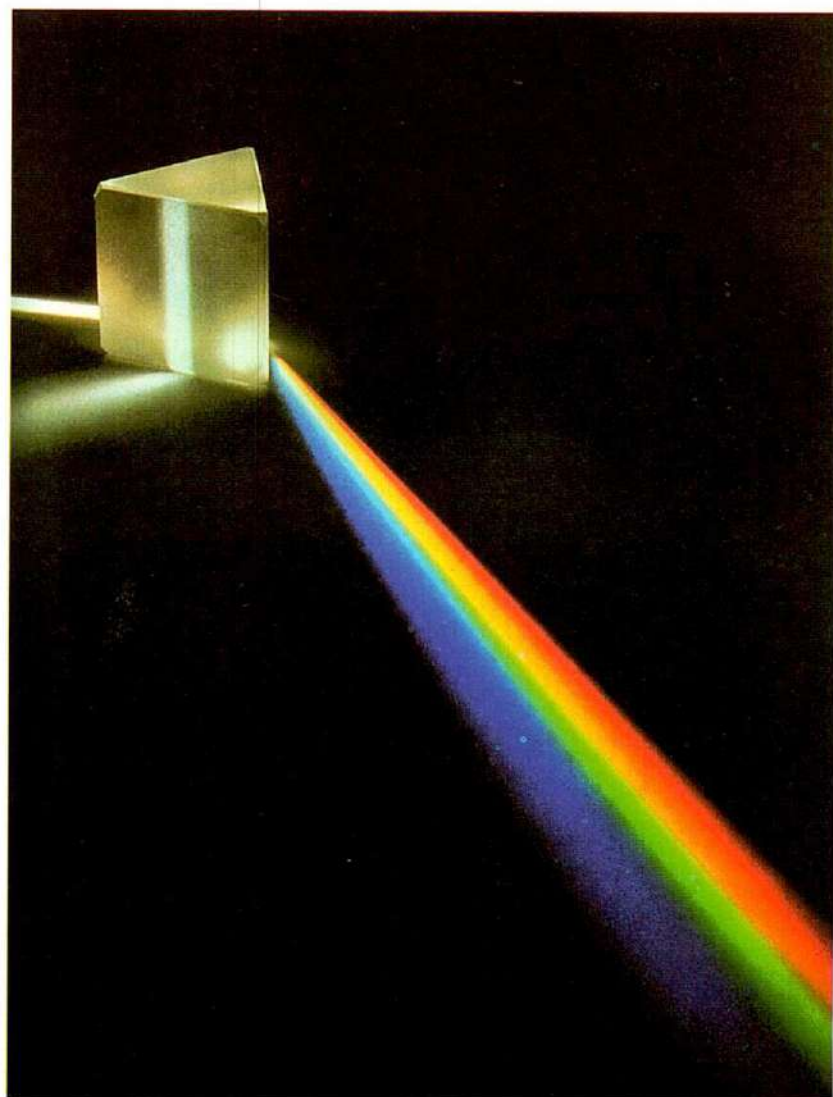


FIGURA 1.77

La luz blanca se descompone en sus colores componentes al atravesar un medio dispersor.



FIGURA 1.78

Puesta de sol terrestre, donde pueden apreciarse las tonalidades rojizas.

FIGURA 1.79

Movimiento aparente de la bóveda celeste.

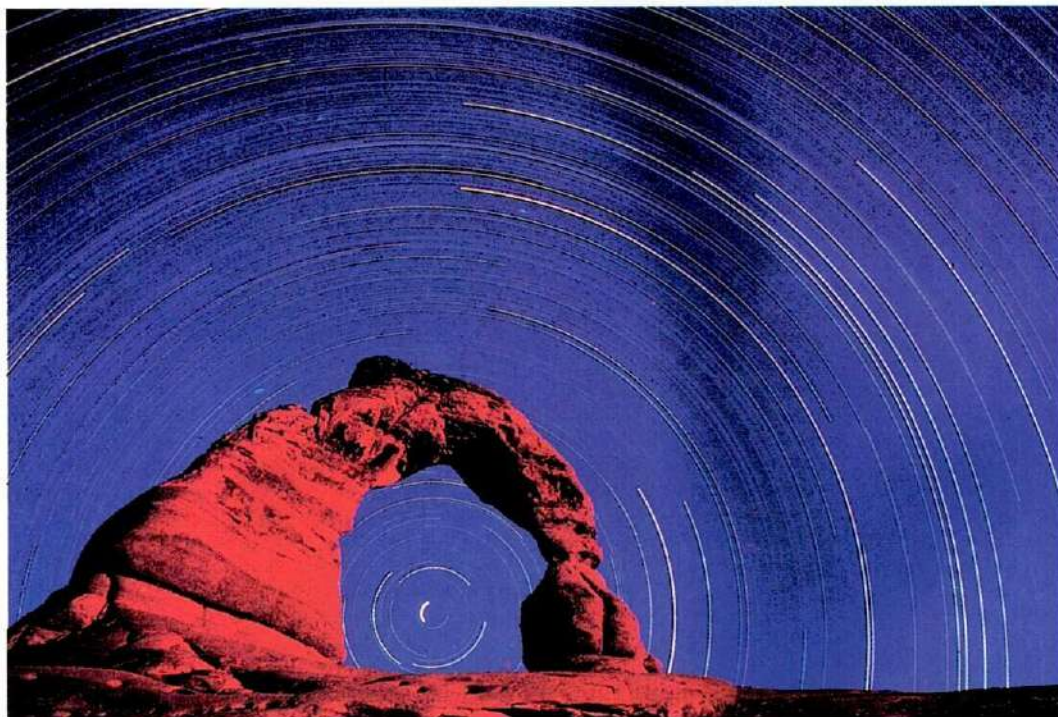




FIGURA 1.80

C onstelación de
Perseo.



FIGURA 1.81

C onstelación de
Casiopea.





FIGURA 1.82

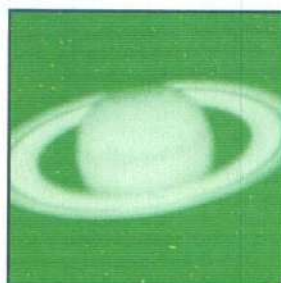
El espectacular
cometa Hale-Bopp
en la madrugada de
marzo del 97.

(Foto: Juan Carlos Casado,
"Tribuna de Astronomía",
junio 1997.)

Unidad

2

ilustraciones en color



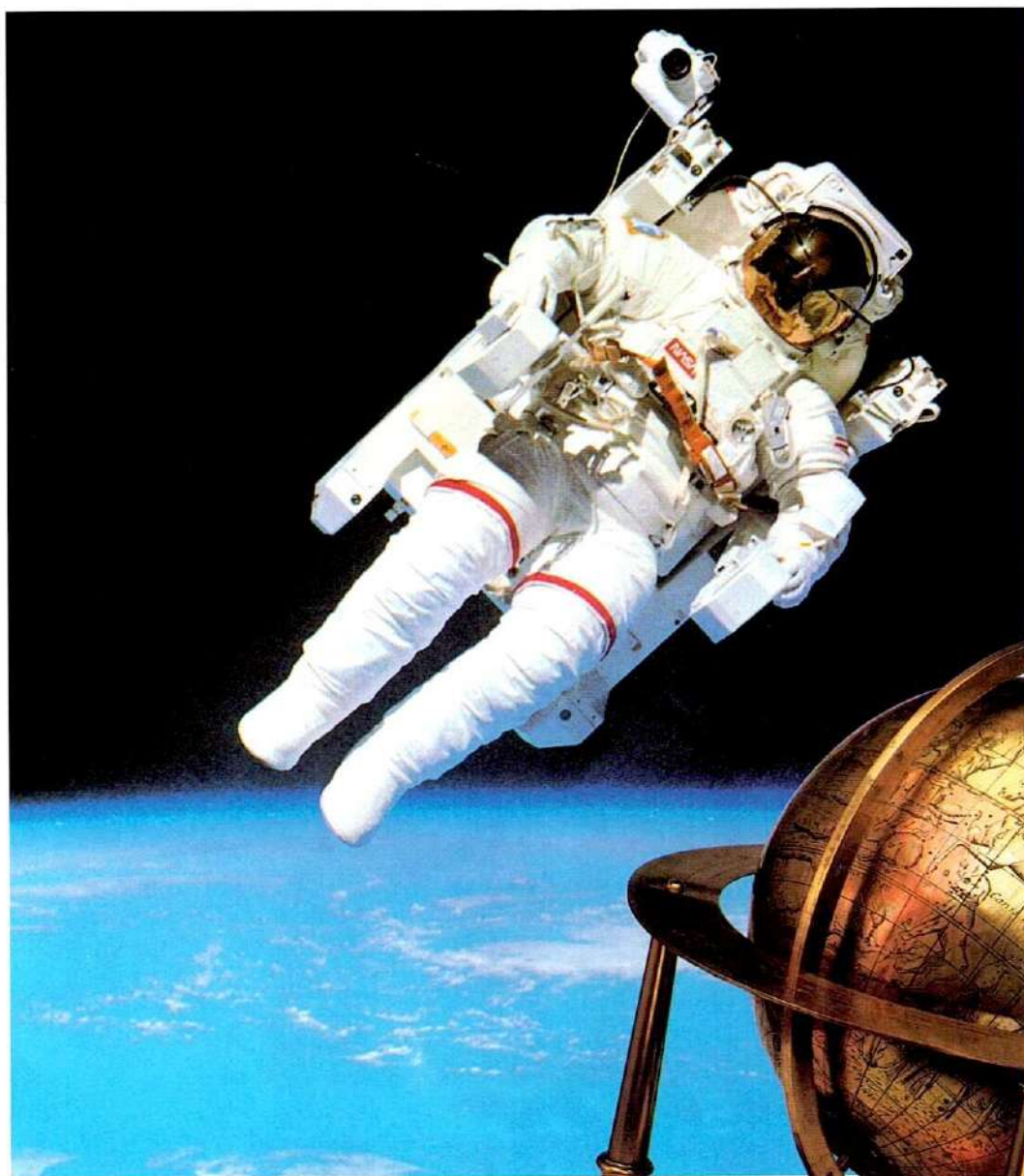


FIGURA 2.94

Desde el espacio, el hombre ha podido confirmar la esfericidad de la Tierra y contemplar sus maravillas.

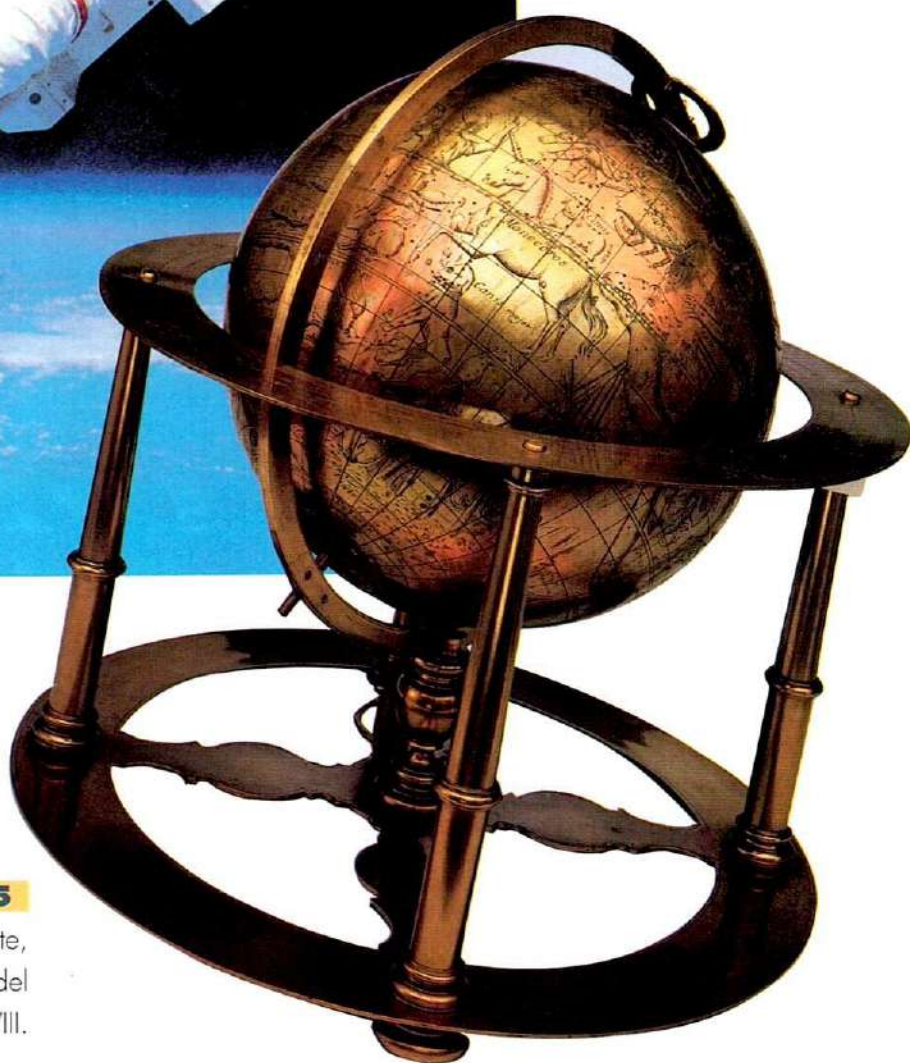


FIGURA 2.95

La esfera celeste, construcción del siglo XVIII.



FIGURA 2.97

Versión del universo copernicano según dibujo de 1661.

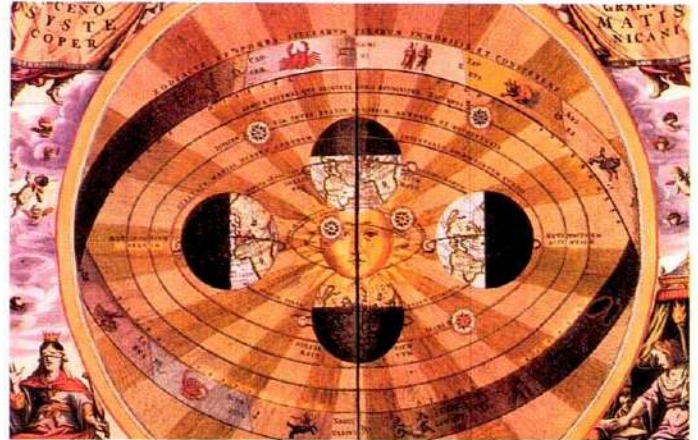


FIGURA 2.96

Visión del universo ptolemaico.



FIGURA 2.98

Grabado en el que se describe una esfera armilar.



FIGURA 2.99

Astrolabio persa,
siglo XVII.



FIGURA 2.100

Sextante. Instrumento
utilizado para
determinar la altura de
los astros.

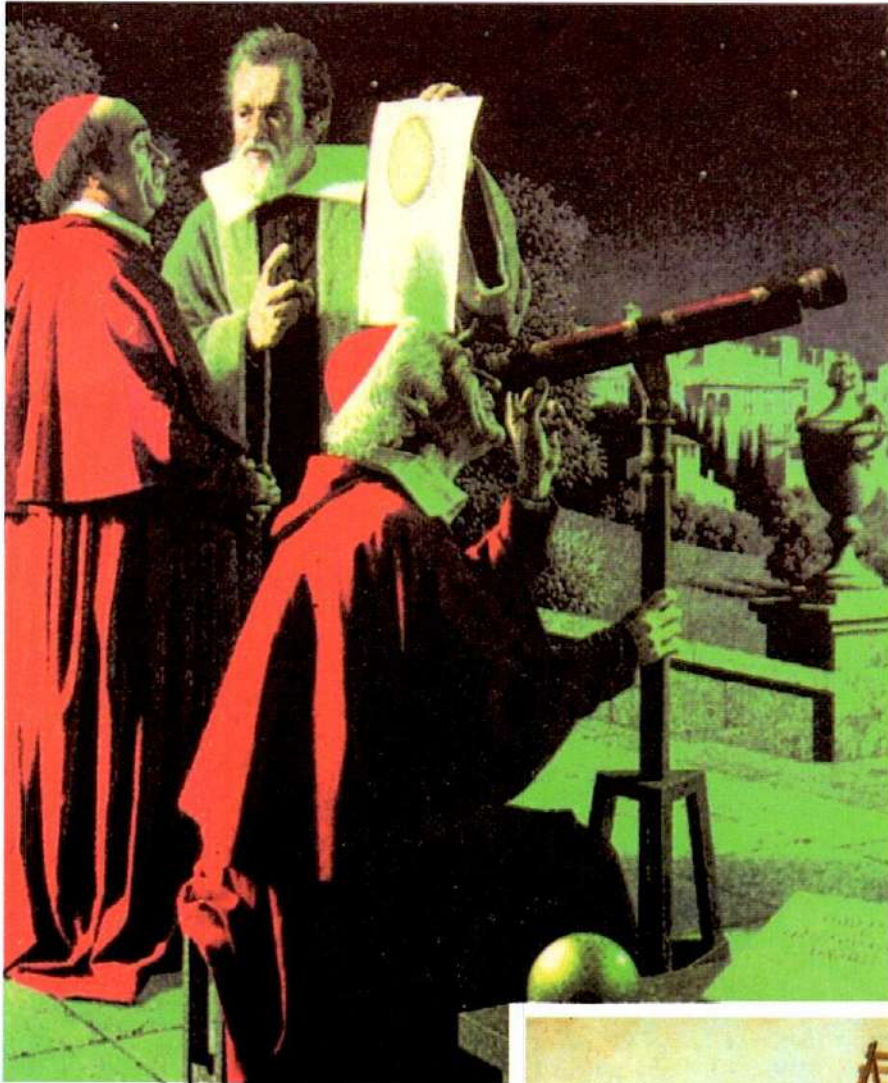


FIGURA 2.101

Galileo explicando que Júpiter tiene varias lunas.

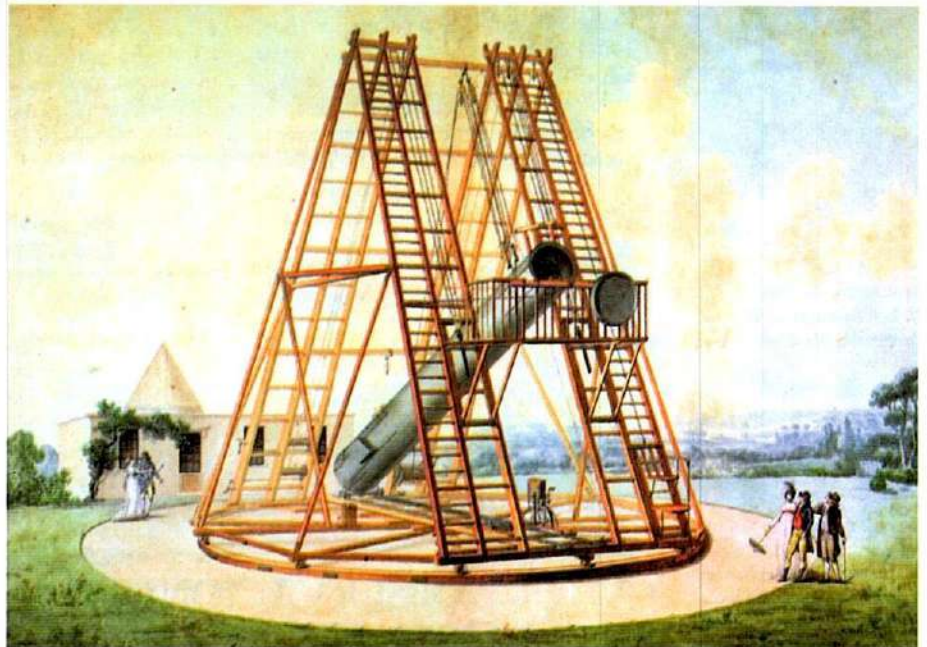


FIGURA 2.102

Telescopio construido por William Herschel para el Observatorio de Madrid.



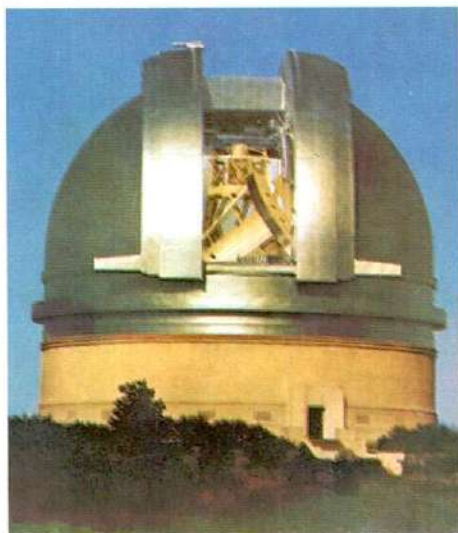


FIGURA 2.103

Telescopio Schmidt de Monte Palomar.



FIGURA 2.105

Telescopio reflector newtoniano de aficionado.

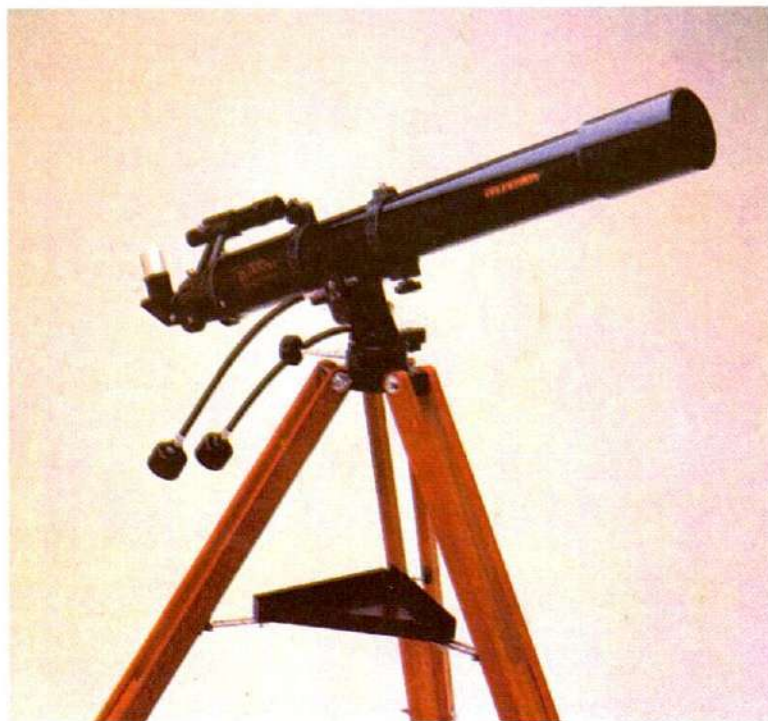


FIGURA 2.104

Telescopio refractor de aficionado.



FIGURA 2.106

Telescopio
catadióptico Schmidt-
Cassegrain de
aficionado.

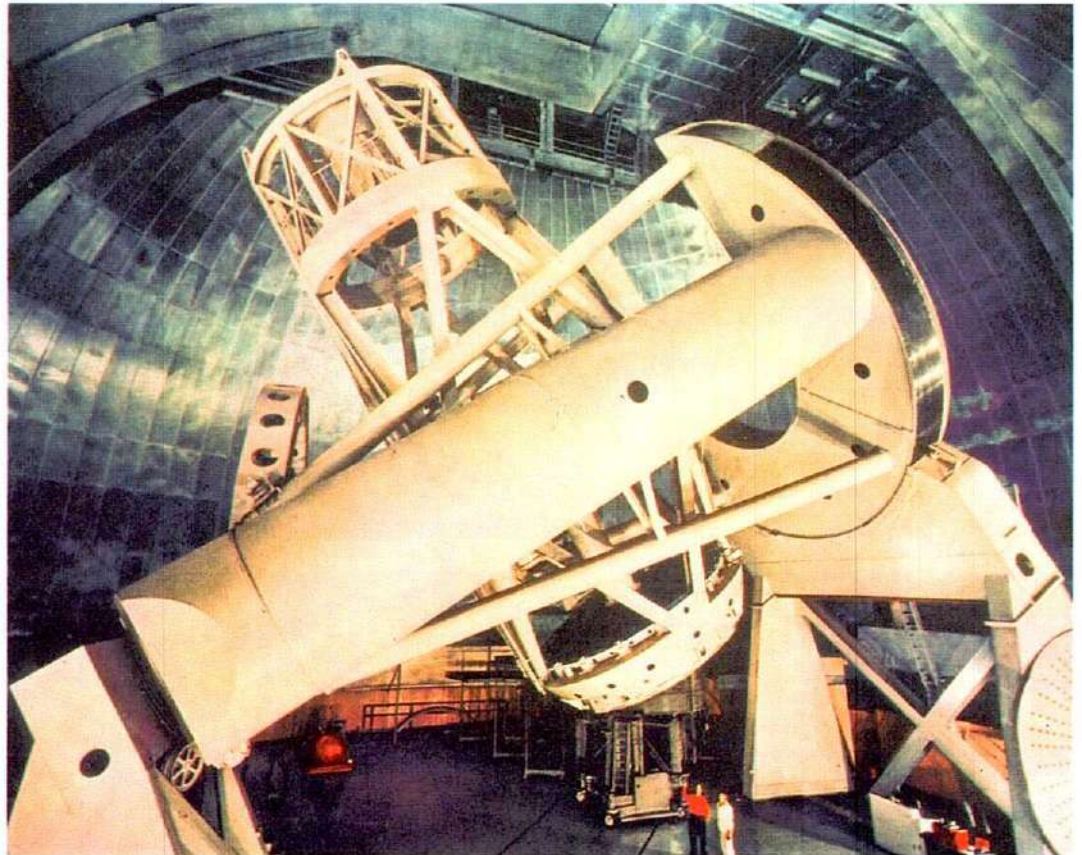


FIGURA 2.107

Los grandes telescopios
son controlados por
ordenador.

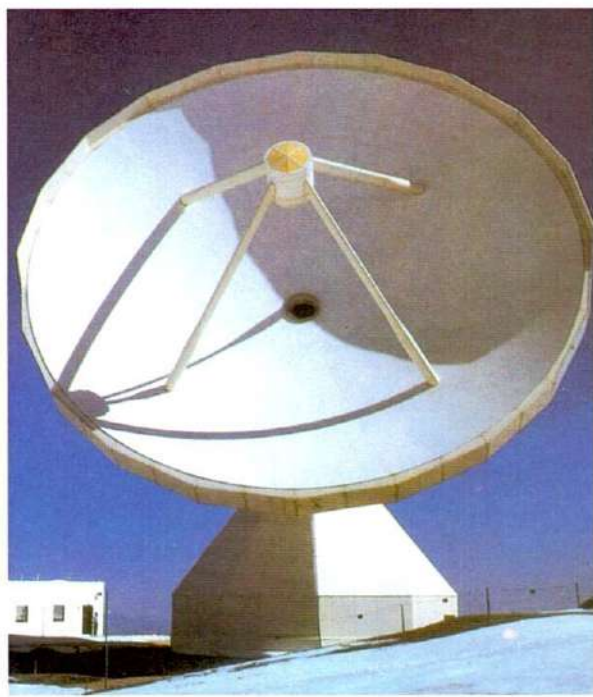


FIGURA 2.108

Un radiotelescopio "ve" radiaciones que nuestros ojos no pueden captar. Estación radioastronómica IRAMING de Pico de Veleta.

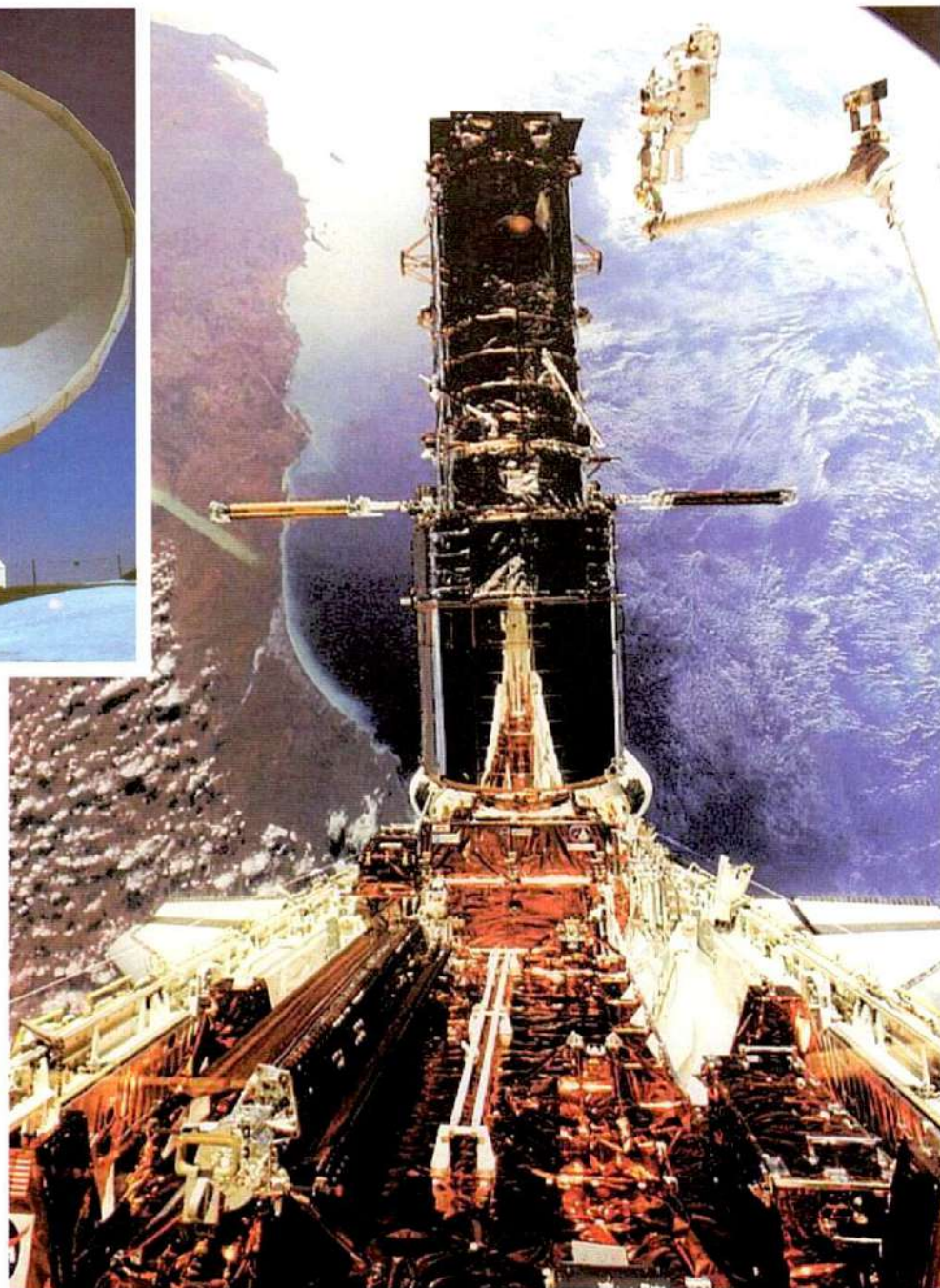


FIGURA 2.109

Al estar por encima de la atmósfera, el telescopio espacial Hubble "ve" con más nitidez.



Espectacular visión del recorrido del Sol a lo largo de un día polar. Las instantáneas han sido obtenidas en intervalos de una hora.

Unidad

4

ilustraciones en color

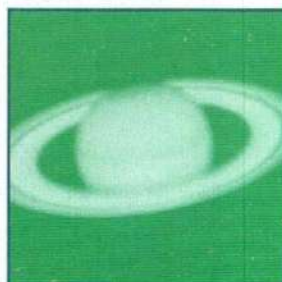




FIGURA 4.83

Detalle de la nebulosa del cangrejo en la constelación del Toro. Corresponde a los restos de una estrella supernova que explotó en el año 1054.

FIGURA 4.84

Nebulosa del Velo NGC 6992 procede de los restos de una supernova. Situada en la constelación del Cisne.



**FIGURA 4.85**

Cúmulo abierto de las Pléyades, M 45, en la constelación del Toro.

Corresponde a un conjunto de estrellas jóvenes de unos 50 millones de años. Las estructuras filamentosas que se observan alrededor de las estrellas más brillantes son nebulosas que reflejan la luz de las estrellas cercanas.

**FIGURA 4.86**

Doble cúmulo de Perseo, NGC 869 y NGC 884. Visibles a simple vista. Cada uno de ellos ocupa de tamaño angular superior a medio grado. Se encuentran a una distancia aproximada de 7.300 años-luz.

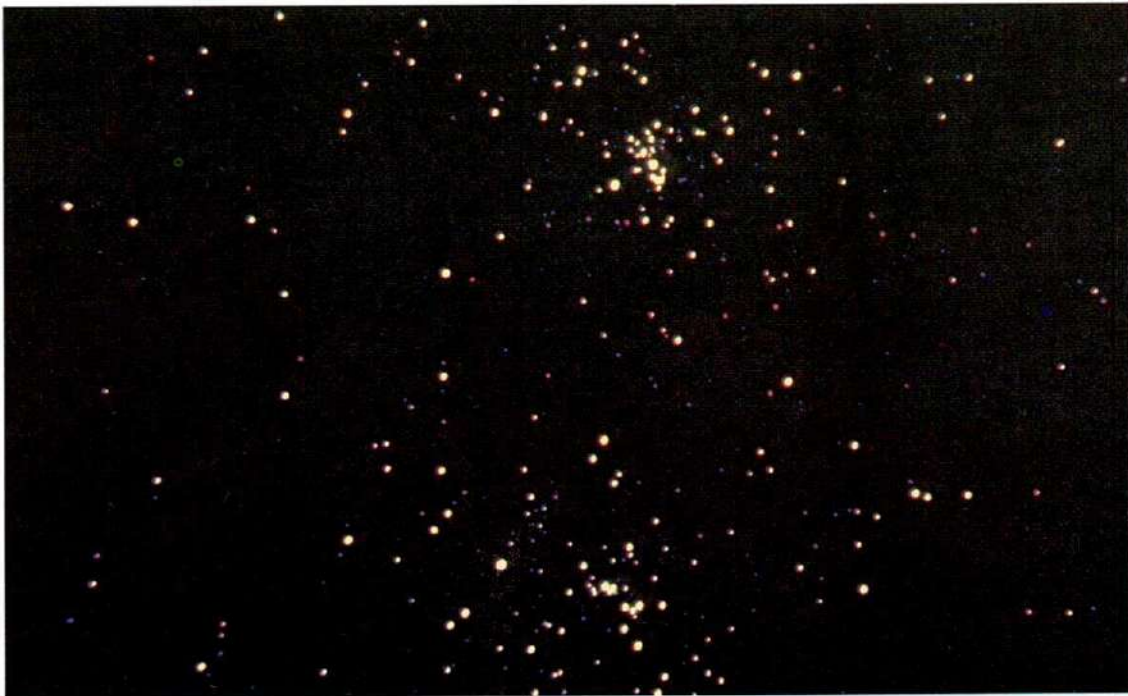




FIGURA 4.87

Cúmulo globular
M 3 o NGC
5272, situado en la
constelación de los
Perros de Caza.
Descubierto por Messier
en 1764. Se encuentra
a 45.000 años-luz.

FIGURA 4.88

Cúmulo globular de
M 13, NGC
6205, en la
constelación de
Hércules. Formado por
más de 300.000
estrellas es el más
brillante de este tipo
visible desde el
hemisferio Norte. Visible
a simple vista o mejor
con unos pequeños
prismáticos. Está situado
a 22.500 años-luz de
distancia. Tiene un
diámetro de unos 100
años-luz.



**FIGURA 4.89**

Gran Nebulosa de Orión, M 42 o NGC 1976. Es una nebulosa de emisión, visible a simple vista como una nube borrosa, de gran belleza. En ella se están formando nuevas estrellas. Esta nebulosa de gas y polvo se encuentra a 1.300 años-luz de distancia y posee un tamaño de 15 años-luz, que equivale a un área de $1^\circ \times 1^\circ$.

FIGURA 4.90

Nebulosa Norteamericana, NGC 7000, se encuentra en la constelación del Cisne. Es una nube de gas incandescente, visible con prismáticos en una noche oscura. Es difícil de detectar debido a su pequeña luminosidad. Recuerda claramente al continente Norteamericano. Está a una distancia de 1.500 años-luz.





FIGURA 4.91

Nebulosa de La Laguna, M 8 o NGC 6523, en la constelación de Sagitario. Nebulosa de reflexión formada por hidrógeno ionizado debido a las estrellas del fondo. Se observa también condensaciones de polvo que reciben el nombre de glóbulos. Se halla a unos 5.000 años-luz de distancia.

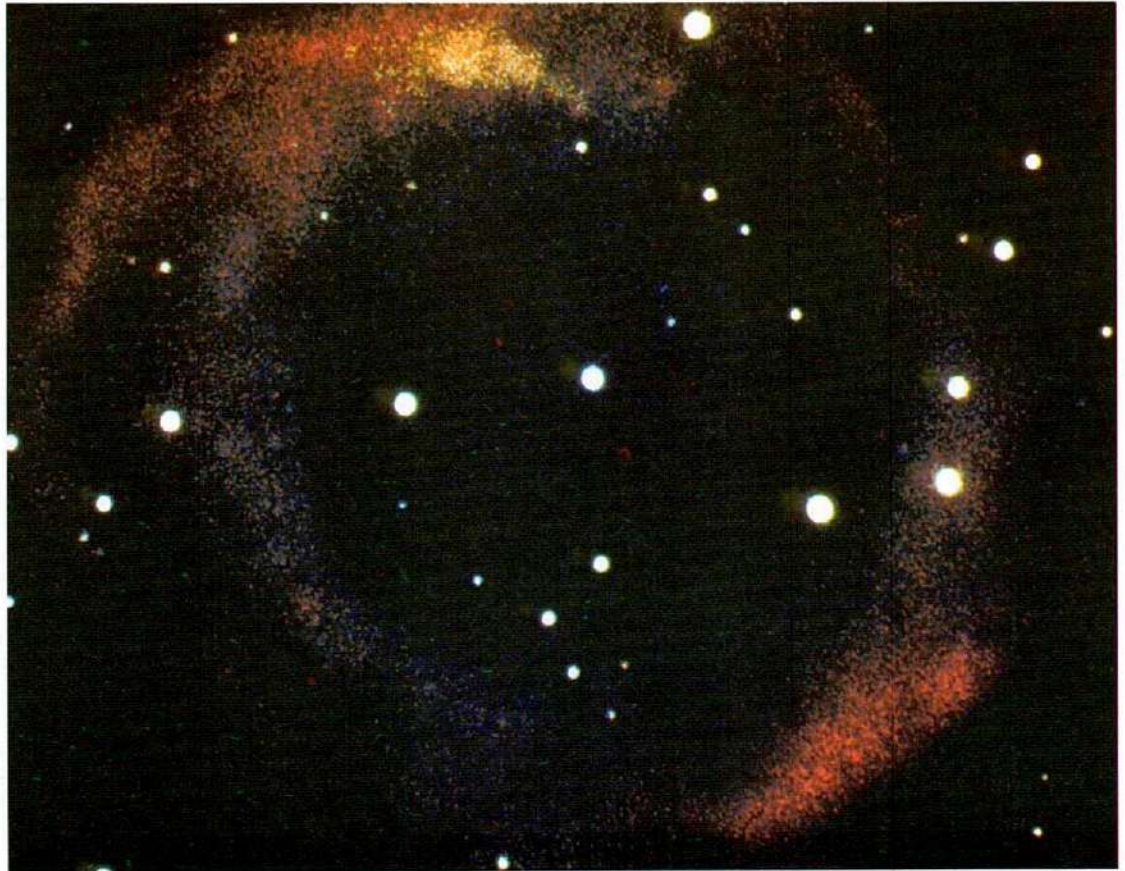
FIGURA 4.92

Nebulosa Roseta, NGC 2237-9, en Monoceros (El Unicornio). Es una nebulosa de emisión difusa. Lleva asociado un racimo de unas 16 estrellas que han nacido a partir del gas de la nebulosa. Se encuentra a 3.600 años-luz.



**FIGURA 4.93**

Nebulosa planetaria de la Hélice, NGC 7293, en Acuario. Es la mayor nebulosa de esta clase, ocupa una zona de $0^{\circ}25'$ en el cielo. En el centro se observa la estrella enana blanca que originó la nebulosa. Se halla a 690 años-luz de distancia.

**FIGURA 4.94**

Nebulosa Dumbell, M 27 o NGC 6853, se encuentra en la constelación de la Zorra (Vulpécula). Es la más grande y brillante de esta clase de nebulosas. Tiene una magnitud de 8 y ocupa $1/4$ de la Luna llena. La estrella central está en camino de convertirse en una enana blanca. Se halla a 150 años-luz de la Tierra.

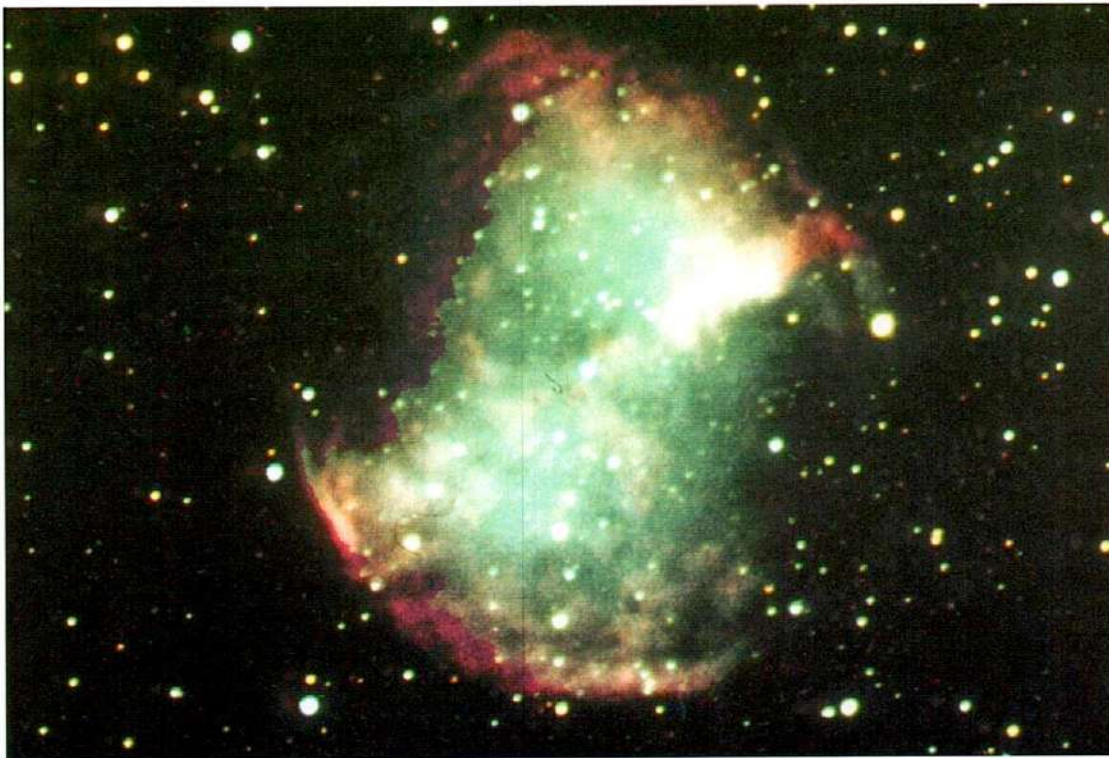


FIGURA 4.95

Nebulosa planetaria
NGC 6543

perteneciente a la
constelación del Dragón.
Aparece en los telescopios
como un disco azul verdoso.
Se halla a 1700 años-luz.

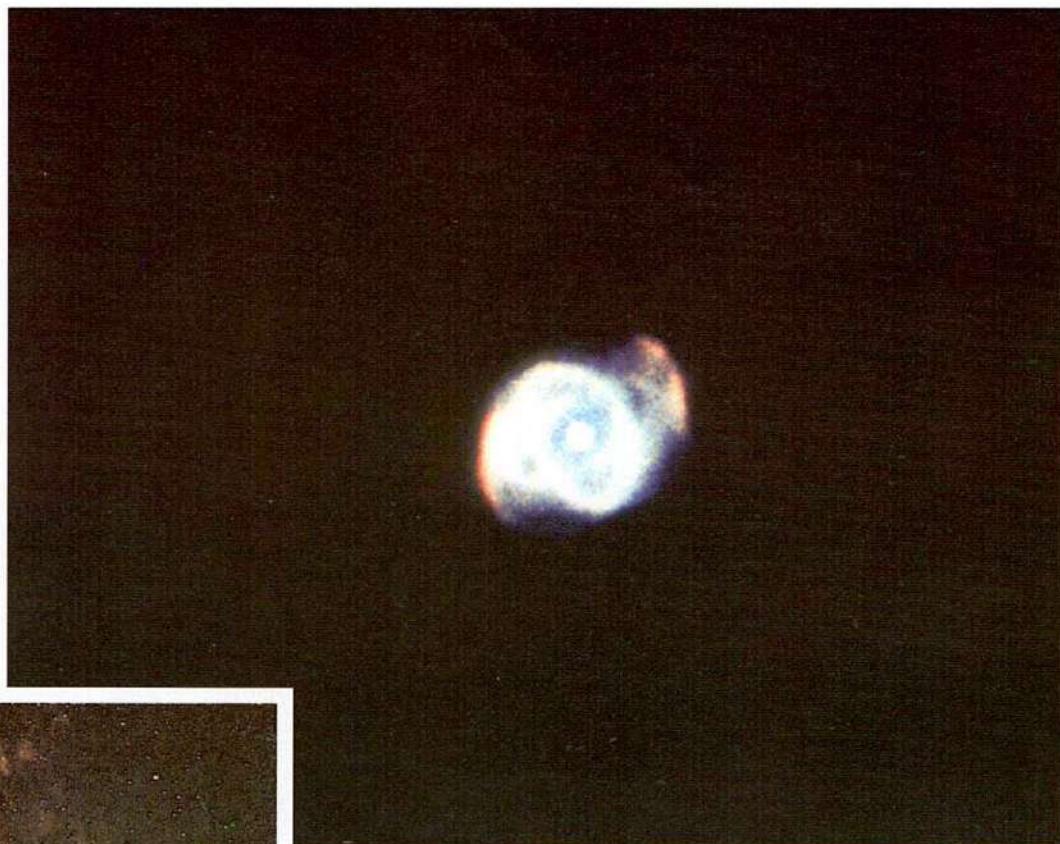


FIGURA 4.96

Región de la Vía
Láctea entre las
constelaciones de
Sagitario y la Serpiente.
Aparece una mancha
rosada en el centro que
corresponde a la
nebulosa de la Laguna,
M 8. También se
pueden observar más
arriba las nebulosas de
Omega, M 17 y el
Águila, M 16.

**FIGURA 4.97**

Región de la Vía Láctea donde se puede distinguir la constelación del Cisne, con su brillante estrella Deneb.

FIGURA 4.98

Galaxia Centaurus A, NGC 5128. Es una elíptica gigante, en la constelación de Centauro. Mientras que el cuerpo central de la galaxia gira muy lentamente la banda oscura alcanza velocidades de 250 km/s. Se cree que es el resultado de un caso de "canibalismo" entre dos galaxias. Se encuentra a una distancia de unos 15.000 años luz.





FIGURA 4.99

Galaxia del Sombrero, M 104 o NGC 4594, se encuentra en la constelación de Virgo. Es una galaxia del tipo S0 de transición entre las elípticas y las espirales. El ala del sombrero aparece rodeada de materia oscura. Alrededor aparecen numerosos puntitos que corresponden a cúmulos globulares. Se encuentra a 35 millones de años-luz.

FIGURA 4.100

Galaxia de Andrómeda, M 31 o NGC 224.

Galaxia espiral situada a 2'2 millones de años-luz de distancia.. Al mirarla con un telescopio pueden distinguirse los brazos y las bandas oscuras que rodean al núcleo. Lleva asociadas dos compañeras, M 32, que se superpone con aquella pero se puede distinguir y NGC 205, separada 1° de Andrómeda, es ligeramente mayor que M 32 pero menos brillante.

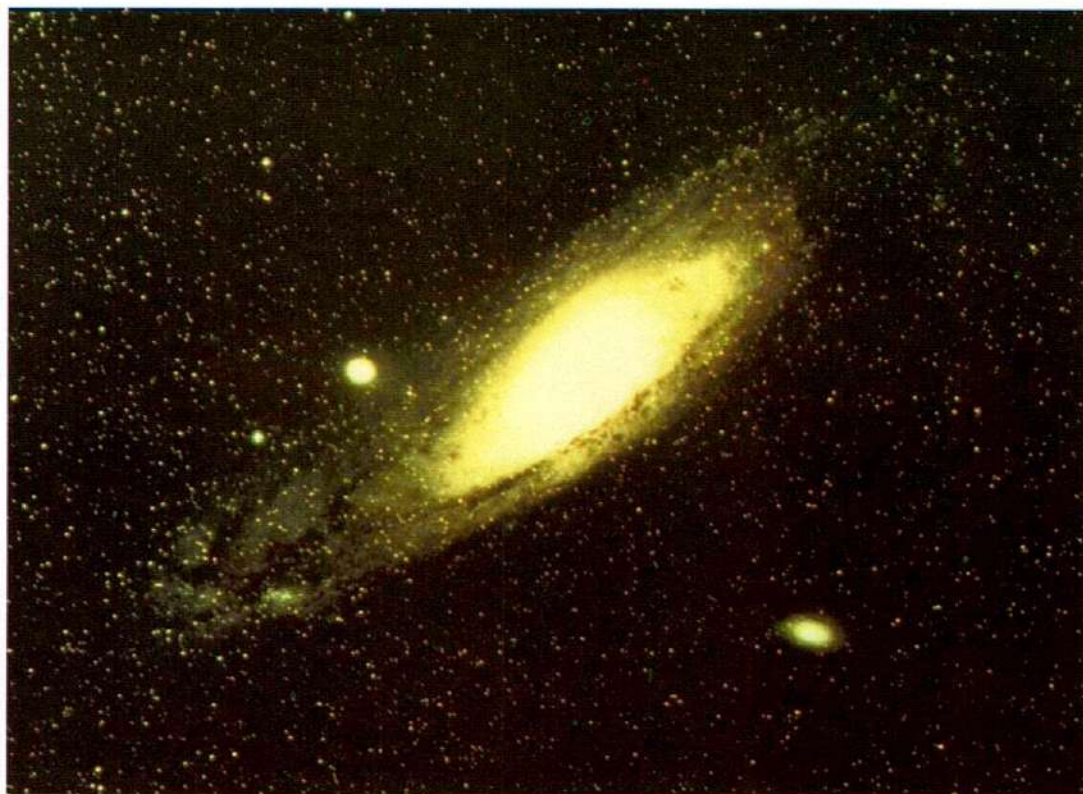
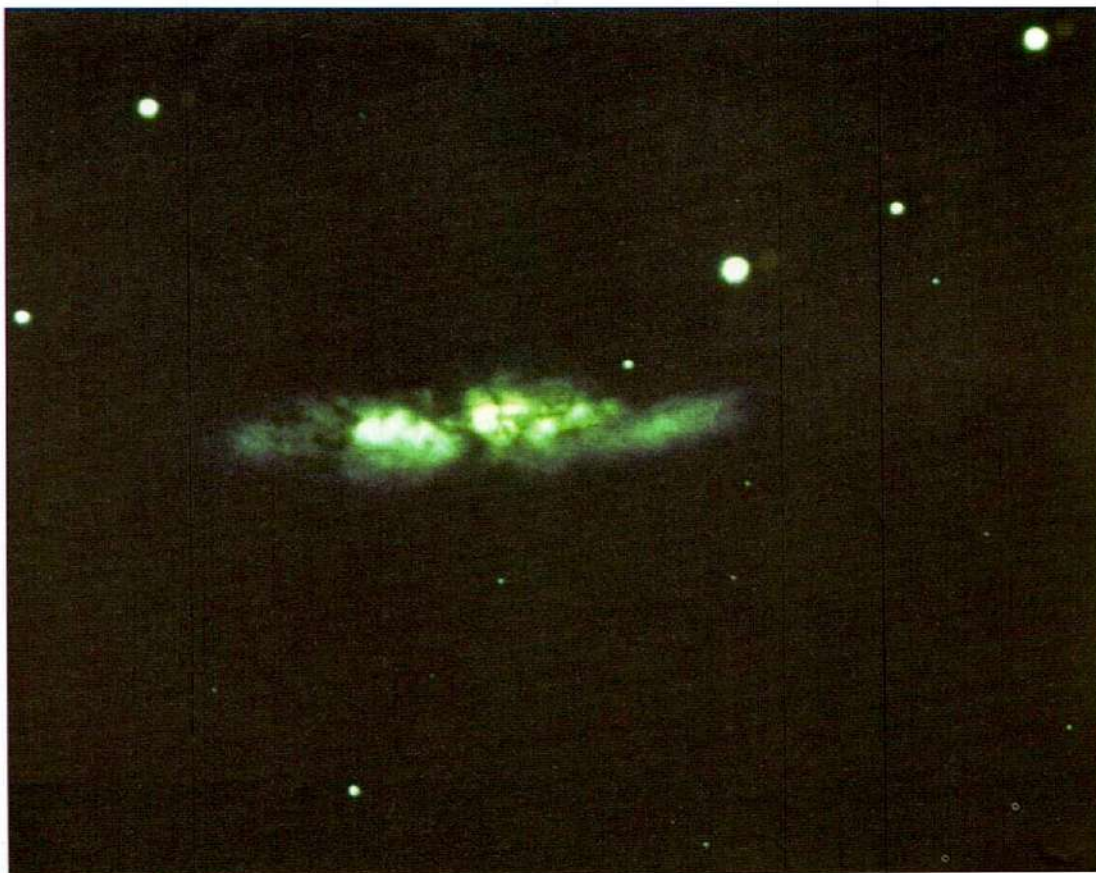


FIGURA 4.101

Galaxia irregular M 82 o NGC 3034 en la constelación de la Osa Mayor. Aparece como un borrón alargado. Se encuentra muy cercana a M 81 y a la misma distancia de nosotros, 18 millones de años-luz.

**FIGURA 4.102**

Galaxia espiral NGC 4565 en la Cabellera de Berenice. Se ve de perfil y tiene una magnitud de 10. En el centro se observa un ensanchamiento y una banda oscura de polvo. Su distancia es de unos 20 millones de años-luz.





FIGURA 4.103

Galaxia espiral
barrada
NGC 1365
perteneciente a la
constelación del Horno.
Tiene una magnitud de
9'8. Muestra un núcleo
central luminoso
atravesado por una
barra.

Un lugar en la Vía Láctea

a

El ser humano ha tardado aproximadamente 500 siglos en comprender que la Tierra se mueve alrededor del Sol. En los últimos 400 años descubrió casi todos los cuerpos celestes del Sistema Solar. Por fin, sólo en las cuatro décadas anteriores al siglo XXI ha conseguido entender cómo se originó nuestro Sistema, el porqué del ecosistema que permitió la aparición de la vida en el planeta Tierra, ha llegado a la Luna y se dispone a visitar otro planeta.

Ha sido un largo proceso de observación rigurosa y sistemática, de postulación de modelos, de elaboración de teorías, de construcciones tecnológicas, de aventuras espaciales...

¿Qué nos deparará el próximo siglo?



Objetivos específicos

1. Superar el modelo geocéntrico basado en el sentido común mediante las observaciones y teorías que llevaron al modelo heliocéntrico.
2. Entender el origen y la evolución de nuestro Sistema Solar.
3. Conocer las características físicas del Sol.
4. Comprender los movimientos de la Luna alrededor de la Tierra y los fenómenos a los que da lugar.
5. Tener una visión clara de la magnitud de las escalas planetarias.
6. Conocer las características astronómicas y físicas de los distintos objetos que componen el Sistema Solar.

Contenidos

Conceptos

1. De la teoría geocéntrica al modelo heliocéntrico.
2. El movimiento de los planetas y la Gravitación Universal.
3. Origen y evolución del Sistema Solar.
4. La estrella de nuestro Sistema: el Sol.
5. Los planetas interiores: Mercurio y Venus.
6. El subsistema Tierra-Luna.
7. Los planetas exteriores: Marte, Asteroides, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón.
8. Cometas, meteoros y meteoritos.

Procedimientos

1. Superación de un modelo científico mediante la observación sistemática, la confección de hipótesis, la elaboración de modelos, etcétera.
2. Apreciación de la enorme cantidad de energía producida por el Sol.
3. Estimación de las fases de la Luna y su localización para una fecha y fase determinadas.
4. Observación de planetas en el cielo.
5. Estimación de distancias y diámetros interplanetarios.
6. Importancia de la observación y seguimiento de cometas.

Actitudes

1. Valoración de los modelos y teorías anteriores para el avance en los conocimientos astronómicos.
2. Reconocimiento de la importancia del Sol y de otras singulares peculiaridades del Sistema Solar para la existencia de vida en la Tierra.
3. Interés por el conocimiento de todos los cuerpos celestes que componen nuestro Sistema Solar.
4. Reconocimiento de los avances astronómicos producidos por los adelantos tecnológicos.



Encuesta inicial

1. Expón algunas observaciones que demuestren que la Tierra está situada en el centro (modelo, geocéntrico) y que todos los cuerpos celestes giran a su alrededor.
2. ¿Qué clase de movimiento describe la Tierra alrededor del Sol?
3. ¿Cuánto tiempo tarda la luz proveniente del Sol en llegar a la Tierra?
 - Nada, porque la luz se propaga de forma instantánea.
 - 8 minutos.
 - Depende, en verano tarda menos que en invierno, de ahí las diferencias de temperatura.
4. El Sistema Solar existe desde:
 - Hace 4.500 millones de años.
 - Desde siempre, es eterno.
 - Desde que lo creó Dios.
5. La distancia desde la Tierra al Sol es de:
 - 100 millones de m.
 - 150 millones de km.
 - Igual a la distancia Tierra-Luna.
6. Cuando hay eclipse de Sol se ve desde toda la parte de la Tierra en la que es de día.
¿Por qué?
7. Conoces algún satélite de otro planeta que sea más grande que la Luna. Si la respuesta es afirmativa escribe su nombre.
8. Escribe todos los planetas que hayas observado a simple vista, señalando a qué hora aproximada, de qué color era, cómo lo localizaste, etcétera.
9. ¿Cómo supones que calcularon la distancia entre la Tierra y la Luna, sabiendo su diámetro, los antiguos griegos, si no tenían los instrumentos y aparatos que hay hoy en día?
¿Y cómo supieron su diámetro?
10. Los meteoros que vemos durante las noches son fenómenos producidos por:
 - Los OVNI.
 - Nuestra atmósfera terrestre.
 - El choque de pequeños fragmentos que proceden del Sistema Solar.



ACTIVIDAD 1.^a**Objetivos:** 1**Contenidos:** 1 y 2**Dificultad**
▲▲▲

¿Podrías citar alguna observación que demuestre que la Tierra gira alrededor del Sol?

ACTIVIDAD 2.^a**Objetivos:** 2 y 3**Contenidos:** 3 y 4**Dificultad**
▲▲

¿Qué proceso físico genera la enorme cantidad de energía que produce el Sol?

ACTIVIDAD 3.^a**Objetivos:** 4**Contenidos:** 6**Dificultad**
▲

Observación y dibujo de la Luna.

Consulta un calendario de las fases de la Luna. A partir de la noche de cuarto creciente, obsérvala diariamente durante 10 días a la misma hora, por ejemplo a las 22:00 horas en invierno.

Anota en tu cuaderno su posición respecto de los puntos cardinales, su altura sobre el horizonte, la meteorología de esa noche y, por último, dibújala sobre una circunferencia de 5 cm de diámetro coloreando las sombras que veas en su superficie.

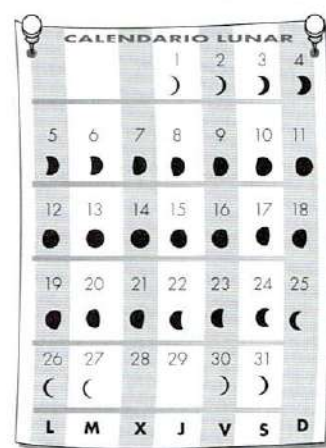


FIGURA 3.1. Calendario mensual con las fases de la Luna.

ACTIVIDAD 4.^a**Objetivos:** 4**Contenidos:** 6**Dificultad**
▲▲

¿Por qué no hay un eclipse de Luna siempre que está en la fase de Luna llena?

ACTIVIDAD 5.^a**Objetivos:** 4**Contenidos:** 6**Dificultad**
▲

Modelo para visualizar las fases de la Luna.

Vamos a construir un modelo para poder visualizar y entender las fases de la Luna.

Necesitas:

- Un foco de luz potente que hará de Sol; por ejemplo, el foco del proyector de diapositivas o el de un retroproyector.
- Una pelota de tenis, que será la Luna, atravesada por una aguja de lana para poder sujetarla con la mano.
- Tu cabeza, que hará el papel de la Tierra.

¿Cómo se usa?

Enciende el foco, sitúate de espaldas a él y, con el brazo extendido y levantado por encima de tu cabeza,



sujeta la aguja para lana. En esa posición puedes observar la mitad de la pelota de tenis (la Luna) totalmente iluminada, es la fase de Luna llena. Si bajas el brazo extendido, la sombra de tu cabeza se proyectará sobre la pelota, semejante a lo que sucede en un eclipse de Luna.

Ahora, gira lentamente hacia tu izquierda 90° y observa atentamente la forma de la parte iluminada de la pelota, ¿qué fase será?

Sigue girando lentamente hacia tu izquierda otros 90° y te encontrarás de frente al foco, éste te deslumbra y no puedes ver la pelota; estás en la fase de Luna nueva. Intenta ahora producir distintos tipos de eclipses de Sol.

Por último, gira otros 180° y observa atentamente hasta llegar a la posición inicial.

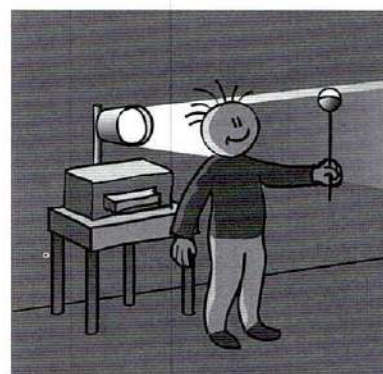


FIGURA 3.2. Simulación de las fases de la Luna.

ACTIVIDAD 6.^a

Objetivos: 6

Contenidos: 5 y 7

Dificultad



Cita los planetas que conoces y ordénalos por su tamaño.

ACTIVIDAD 7.^a

Objetivos: 6

Contenidos: 5 y 7

Dificultad



Escribe todos los planetas que hayas observado a simple vista, señalando a qué hora, su color, cómo los localizaste, etcétera.

ACTIVIDAD 8.^a

Objetivos: 6

Contenidos: 5

Dificultad



Se sabe que no hay vida en el planeta Venus, siendo un planeta sólido como la Tierra, de casi el mismo tamaño y estando a una distancia del Sol semejante a la que está la Tierra. Entonces, ¿qué razones puede haber para que no exista vida?

ACTIVIDAD 9.^a

Objetivos: 3, 4 y 6

Contenidos: Todos

Dificultad



Mural sobre noticias astronómicas

Podéis hacer un mural con más o menos metro y medio de papel continuo, en una de las paredes de vuestra aula o en un pasillo. En él pegáis las noticias de astronomía que hayáis leído en los periódicos o escribís un pequeño resumen de las oídas en radio o televisión.

Es conveniente dividir el mural en varias zonas dedicadas a noticias sobre el Sistema Solar, las galaxias, cometas y meteoros, eclipses, viajes espaciales, etc. No olvidéis citar la fuente de la información





LECTURA

Una de las hipótesis que tratan de explicar la súbita desaparición de los grandes dinosaurios que poblaban la Tierra hace 65 millones de años, es la del posible impacto de un meteorito de 14 km de diámetro. Dicho impacto provocó una explosión similar a la de 50 millones de bombas atómicas, como la arrojada por el ejército norteamericano en 1945, sobre la ciudad japonesa de Hiroshima.

El científico norteamericano Walter Álvarez mantiene la hipótesis de que dicho choque se produjo en la zona del mar Caribe, lo que originó la actual depresión del golfo de México. Para demostrarlo, busca pruebas de dicho impacto que sumió a la Tierra en un prolongado invierno nuclear, por causa de la gigantesca nube de gas y polvo que oscureció la atmósfera terrestre, impidiendo el paso de la luz solar.

Este fenómeno originó una brusca disminución de las temperaturas en todo el planeta, lo que supuso la extinción de numerosas especies vegetales y animales. Desgraciadamente, no existen referencias escritas de esa hecatombe (ver fig. 3.3).

Sin embargo, sí tenemos referencias escritas de un acontecimiento que se registró hacia el año 530 d. C. El cronista romano Miguel el Sirio y otros relatan que "el Sol se oscureció durante 18 meses, brillando solamente unas 4 horas al día con una luz tenue que ni producía sombras, ni calentaba, haciendo que las frutas y cereales no maduraran". Por esa misma época, una espantosa sequía asoló grandes zonas de China, provocando la muerte del 80% de la población de esa zona del planeta. Estos relatos revelan la presencia de una especie de invierno nuclear, ratificada en la actualidad por los estudios botánicos que sobre el clima del pasado se realizan a través de los anillos de los troncos de árboles milenarios.

La causa de ese cataclismo pudo ser una gran actividad volcánica que arrojara a la atmósfera enormes nubes de gas y polvo. Pero ni hay referencias escritas de dichas erupciones, ni existen pruebas geológicas que avalen dicha hipótesis. La otra posible causa pudo ser el impacto de un meteorito de 1,6 km de diámetro sobre la superficie terrestre o sobre el mar, lo que pudo producir una explosión semejante a la de un millón de bombas atómicas.

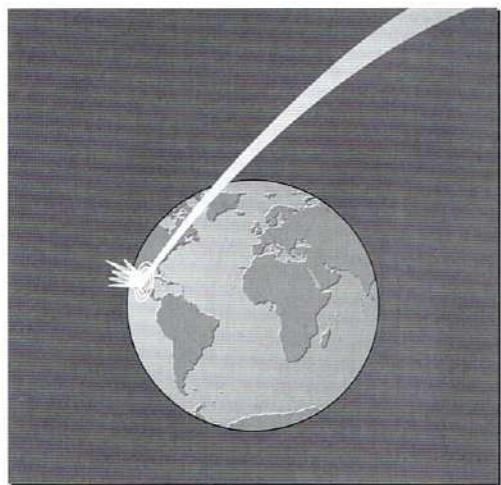


FIGURA 3.3. Posible impacto de un gran meteorito sobre el actual golfo de México.





CUESTIONARIO SOBRE EL TEXTO

A. Realiza un resumen de las ideas más importantes del texto

1. DE LA TEORÍA GEOCÉNTRICA AL MODELO HELIOCÉNTRICO

COPÉRNICO

Durante siglos nadie se atrevió a cuestionar la teoría geocéntrica, fueron tiempos de oscurantismo y represión política y religiosa. En el Concilio (congreso de obispos cristianos) de Nicea (año 325 d. C.), la Iglesia católica estableció que se celebrara el Domingo de Pascua (Semana Santa) el primer domingo siguiente a la primera luna llena después del equinoccio de primavera (21 de marzo). Debido a la inexactitud del calendario Juliano vigente en esa época, hacia el siglo XIII esa fecha se había adelantado hasta el 11 de marzo. En 1514, el papa León X pidió ayuda a distintos astrónomos para rectificar el calendario. Entre los consultados figuraba un monje polaco, Nicolás Copérnico (1473-1543), que declinó la invitación de ir a Roma hasta no estudiar perfectamente el movimiento del Sol y de la Luna. Le preocupaba el extraño movimiento hacia atrás, respecto al fondo de estrellas fijas, que estrellas errantes (planetas) como Marte o Júpiter presentaban periódicamente en el cielo nocturno.

El simple movimiento uniforme de los planetas en órbitas circulares alrededor de la Tierra (ver fig. 3.4) había sido modificado al máximo por el modelo geocéntrico de Ptolomeo (s. II d. C.). Según este astrónomo, los planetas giraban en unas órbitas circulares, llamadas epiciclos. El centro de dicho epiciclo giraba en otra órbita circular, denominada deferente, en cuyo centro se encontraba la Tierra. Todo ello para intentar explicar ese movimiento hacia atrás o retrógrado de los planetas (ver fig. 3.5).

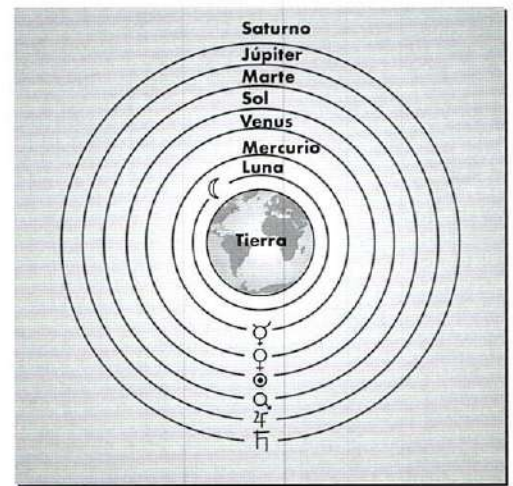


FIGURA 3.4. Modelo geocéntrico.

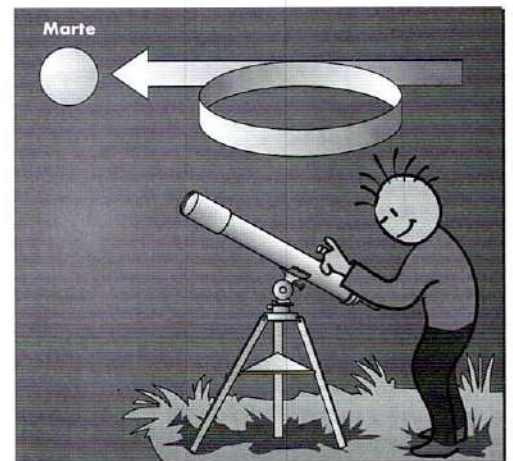


FIGURA 3.5. Observación de la retrogradación del planeta Marte.



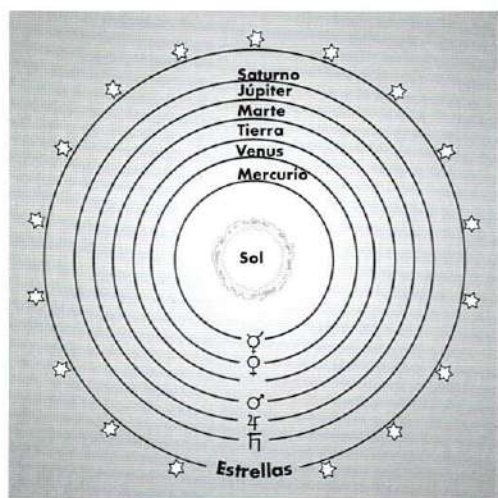


FIGURA 3.6. Modelo heliocéntrico.

Pero algo seguía fallando, las predicciones teóricas del lugar en que se debían encontrar esos planetas no se correspondían con las observaciones experimentales que se realizaban. Entonces, Copérnico (fig. 3.7) postuló su sistema heliocéntrico en el libro *Comentarios a las revoluciones de los cuerpos celestes*, que se publicó el año de su muerte. La difusión de esta obra supuso una revolución en las concepciones científicas de la época, con grandes repercusiones en el mundo teológico, político y social del momento.

El modelo heliocéntrico (ver fig. 3.6) consiste en colocar al Sol en el centro del cielo. En la primera órbita se halla Mercurio, que tarda 80 días en dar una vuelta alrededor del Sol. En la segunda, Venus, que tarda 9 meses; en la tercera, la Tierra y la Luna, que gira alrededor de ella; en la cuarta, Marte, que tarda 2 años; en la quinta, Júpiter, que tarda 12 años; en la sexta, Saturno, con un período de revolución de 30 años, y, por último, la esfera de las estrellas fijas.

Copérnico mantuvo los epiciclos y deferentes para los movimientos de cada planeta alrededor del Sol.



FIGURA 3.7. Nicolás Copérnico.



PRACTICA EN CLASE

El movimiento retrógrado de los planetas sobre el fondo de estrellas fijas se puede explicar fácilmente con la ayuda de programas de ordenador como "Solar" o "Ezcosmos".



¿SABÍAS QUE...?

Copérnico fue tachado de loco y hereje por Martín Lutero, líder de la Reforma protestante.



CUESTIONARIO

1. Conoces personajes contemporáneos de Copérnico?, ¿a qué se dedicaban, dónde vivían?
2. Consulta bibliografía adecuada y a tu profesor para redactar cuáles fueron las repercusiones políticas y sociales de la teoría heliocéntrica.
3. Realiza un cuadro comparativo entre los modelos de Copérnico y de Ptolomeo, señalando sus analogías y diferencias.

GALILEO

Uno de los sabios que leyó los libros de Copérnico fue el científico italiano Galileo Galilei (1564-1642) (fig. 3.8).

Éste ya había realizado estudios sobre los diferentes tipos de movimientos y, en particular, del movimiento de caída libre de objetos (graves) en la superficie de la Tierra.



CUESTIONARIO

4. ¿Recuerdas cuánto vale la aceleración de la gravedad sobre la superficie de la Tierra?

Galileo, fiel defensor de la teoría heliocéntrica de Copérnico, describió las siguientes observaciones astronómicas, realizadas durante la noche con ayuda de un anteojo que había encargado construir:

- Los cráteres, montañas y valles de la Luna, lo que le llevó a pensar que los cuerpos celestes no son esferas perfectas, como argumentaban los defensores de la teoría geocéntrica.
- Las fases del planeta Venus, semejantes a las que pre-

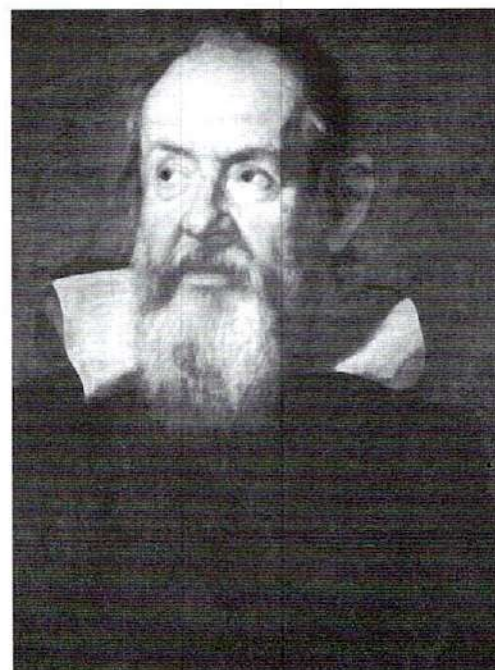


FIGURA 3.8. Galileo Galilei.





FIGURA 3.9. Galileo acusado por la Inquisición.

senta la Luna, las cuales intentó explicar con ayuda del modelo heliocéntrico.

- Los satélites de Júpiter: Io, Ganímedes, Europa y Calixto, lo que le llevó a la conclusión de que no todos los cuerpos celestes giran alrededor de la Tierra.

Estas observaciones y sus comentarios, así como la defensa del modelo copernicano, los publicó, en 1610, en su libro *Mensajero celestial*, escrito de forma coloquial para que lo entendiese cualquiera que lo leyese. Todo esto le condujo a un grave enfrentamiento con la poderosa Iglesia católica de la época, que lo juzgó mediante el Tribunal de la Santa Inquisición y lo condenó a reclusión domiciliaria perpetua (ver fig. 3.10).



¿SABÍAS QUE...?

Las obras de Copérnico, Kepler y Galileo figuraron en el Índice de libros prohibidos de la Iglesia católica hasta 1835.

En 1992, la Iglesia católica (dirigida por el papa Wojtila) rehabilitó a Galileo y pidió disculpas por haber sido torturado por la Santa Inquisición, debido a su defensa del sistema heliocéntrico.



CUESTIONARIO

5. ¿Conoces algunos personajes públicos, políticos, reyes, papas, científicos, pintores..., contemporáneos de Galileo? Cítalos mencionando su país y su ocupación.

2. EL MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS Y LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

KEPLER

El modelo de Copérnico, a pesar de ser utilizado para la reforma del calendario ordenada por el papa Gregorio XIII

...y habiéndoseme ordenado por este santo oficio que abandone por completo la falsa noción de que el sol es el centro del mundo y que no se mueve, que la tierra no es el centro del mundo y que se mueve, así como no debo sostener, defender ni enseñar, oralmente ni por escrito, dicha falsa doctrina...



FIGURA 3.10. Galileo abjurando de sus "errores".



en 1582, no fue aceptado ni por la influyente Iglesia Católica, ni por la comunidad científica y política de la época, pero la semilla de la duda estaba echada.

El astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) pasó toda su vida registrando las observaciones de las posiciones planetarias y realizó un catálogo de las posiciones de cerca de 3.000 estrellas, con una precisión no alcanzada hasta entonces. Suyo es un modelo en el cual los planetas giran alrededor del Sol y, a su vez, todo el conjunto gira alrededor de la Tierra, que permanece inmóvil en el cielo.

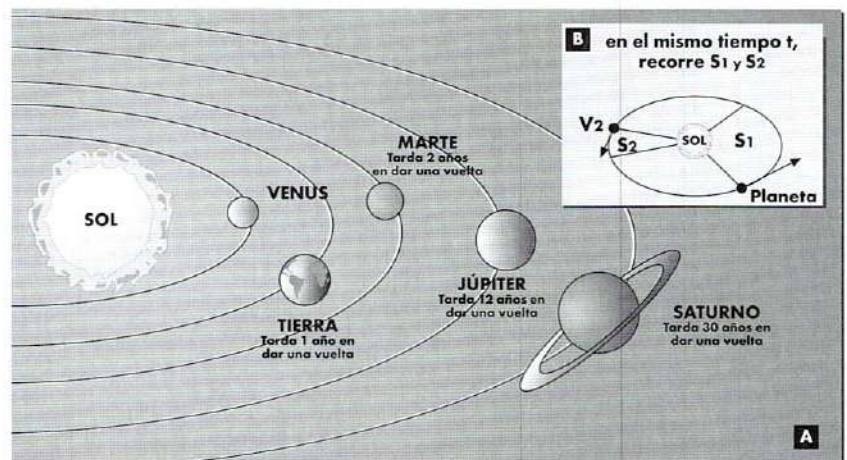


FIGURA 3.11. Períodos de revolución de algunos planetas.

Su colaborador, el científico alemán Johannes Kepler (1571-1630) (fig. 3.12), intentó establecer unas leyes matemáticas cuyos resultados se ajustaran a las observaciones empíricas de Tycho, estudiando fundamentalmente los datos de las posiciones del planeta Marte. No lo consiguió siguiendo la teoría geocéntrica, por lo que aceptó la teoría de Copérnico; estableciendo las siguientes leyes para el movimiento de los planetas alrededor del Sol:

1. Los planetas describen órbitas elípticas (casi circulares) alrededor del Sol, estando éste situado en uno de los focos de esa elipse. Esta ley deshecha definitivamente las órbitas circulares y los movimientos uniformes de los planetas propuestos en los modelos anteriores (ver fig. 3.11.A).
2. Si trazamos una línea recta que enlace el Sol con un planeta, el área descrita por ella al moverse el planeta permanece constante en intervalos de tiempo iguales. Es decir, la velocidad de los planetas es mayor cerca del Sol que en las zonas más alejadas de él (ver fig. 3.11.B).
3. La relación entre el cuadrado del período de revolución T , es decir, el tiempo que tarda un planeta en dar una vuelta alrededor del Sol, y el cubo del radio de su órbita, R , es constante. $T^2/R^3 = Cte$.



FIGURA 3.12. Johannes Kepler.





CUESTIONARIO

6. Con ayuda de la tercera ley de Kepler, calcula la distancia entre el planeta Marte y el Sol sabiendo su período de revolución (ver fig. 3.13).

PLANETA	DISTANCIA AL SOL R (KM)	PERÍODO T (AÑOS)	R ³	T ²	R ³ /T ² =K
Tierra	$150 \cdot 10^6$	1			
Marte		1,9			

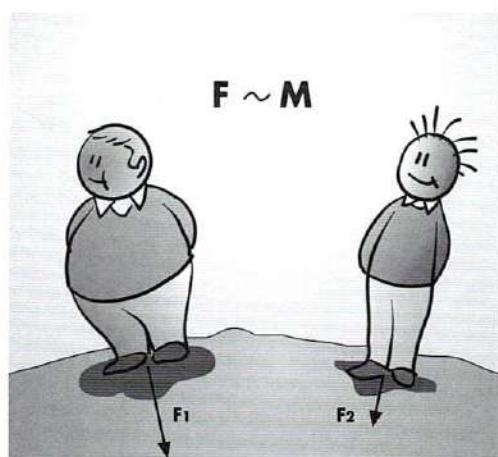


FIGURA 3.13.



PRACTICA EN CLASE

Coloca sobre una plancha de corcho un folio blanco, traza en él una línea recta y pincha sobre ella dos chinchetas, separadas una distancia d . Ata un cordel de longitud mayor que la distancia d a las chinchetas y dibuja la curva que sale al estirar dicho cordel con un lápiz. Esa curva recibe el nombre de elipse.

NEWTON

Hacia el año 1666, Isaac Newton, un joven de 24 años, tomaba el té bajo un manzano de la Universidad de Cambridge. Poco tiempo después escribiría: "Observando la caída de una manzana, comencé a pensar en la gravedad que debía extenderse hasta la órbita de la Luna. A partir de la tercera ley de Kepler deduje que las fuerzas que mantienen a los planetas en sus órbitas deben estar en razón inversa a los cuadrados de las distancias al centro alrededor del cual giran. De este modo, comparé la fuerza necesaria para mantener la Luna en su órbita con la fuerza de la gravedad en la superficie terrestre, encontrando para ella un resultado bastante preciso. Todo esto en los años de la peste de 1665 y 1666."

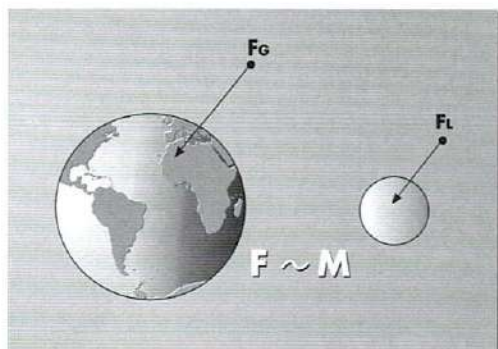


FIGURA 3.14.

1° La fuerza de atracción entre dos masas es directamente proporcional a la masa atraída m ; es decir, a mayor masa mayor fuerza de atracción (ver fig. 3.13).

2° La fuerza de atracción sobre una masa es directamente pro-

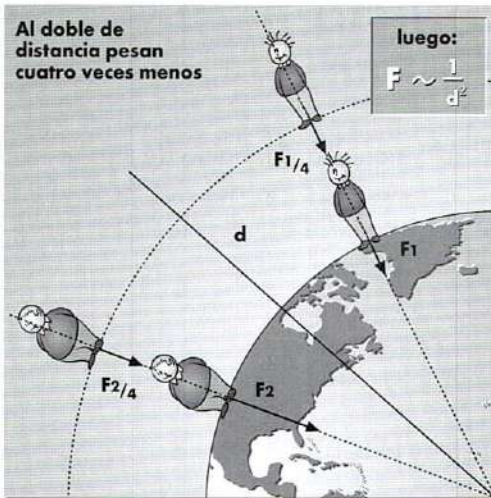


FIGURA 3.15



FIGURA 3.16. Isaac Newton.

porcional a la masa atrayente M ; es decir, un mismo cuerpo situado a igual altura de la superficie de la Luna o de la Tierra es más fuertemente atraído por ésta (ver fig. 3.14)

3º La fuerza de atracción entre dos cuerpos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa ambos cuerpos (ver fig. 3.15),

$$\text{En definitiva } F = G \frac{M \cdot m}{d^2}$$

siendo, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ la constante de Gravitación Universal.

Calculemos la fuerza de atracción entre la Tierra y la Luna utilizando la ecuación de Newton. Datos: fig. 3.17.

DATOS:

Masa de la Tierra	$M_t = 5'98 \cdot 10^{24} \text{ Kg.}$
Masa de la Luna	$M_l = 7'35 \cdot 10^{22} \text{ Kg.}$
Distancia Tierra-Luna	$d = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m.}$
Cte de gravitación universal	$G = 6'67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{Kg}^2$

$$F = \frac{G M M'}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,98 \cdot 10^{24} \cdot 7,34 \cdot 10^{22}}{(3,84 \cdot 10^8)^2} = \frac{6,67 \cdot 5,98 \cdot 7,34}{(3,84)^2} \frac{10^{-11} 10^{24} 10^{22}}{10^{16}} = 1,98 \cdot 10^{20} \text{ N}$$



¿SABÍAS QUE...?

Isaac Newton (fig. 3.16) nació en 1642, el año en que moría Galileo, en Woolsthorpe, una pequeña villa de Inglaterra. Fue un muchacho aficionado a las construcciones y a las matemáticas. Estudió en el Trinity College de la Universidad de Cambridge. A los 24 años ya había hecho grandes descubrimientos en matemáticas (teorema del binomio, cálculo diferencial...) y en física (estudios sobre óptica, mecánica...). En 1687 publicó su famoso libro "Principios matemáticos de la filosofía natural", compendio de física clásica. Poco después cayó en una grave depresión nerviosa que le convirtió en una persona de carácter huraño e introvertido, lo que le impidió realizar nuevos descubrimientos. Fue nombrado guardián de la Casa de la Moneda, parlamentario y presidente de la Royal Society. Murió en 1727 y fue enterrado en la abadía de Westminster.



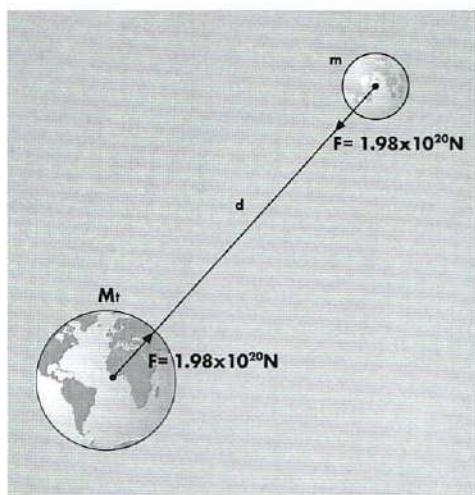


FIGURA 3.17. Atracción mutua entre la Luna y la Tierra.

3. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL SISTEMA SOLAR

Desde la antigüedad se conocía la existencia de unas estrellas "errantes" o planetas, llamados así porque sus posiciones cambiaban continuamente respecto a las estrellas fijas. Estos planetas recibieron nombres de los dioses romanos como:

- Mercurio → dios del comercio y mensajero de los dioses
- Venus → diosa de la belleza femenina
- Marte → dios de la guerra
- Júpiter → dios supremo
- Saturno → dios de los tiempos

A comienzos del siglo XVII, Galileo enfocó su telescopio refractor hacia los planetas y descubrió las lunas de Júpiter. El holandés Huygens y el inglés Hooke, contemporáneos de Newton, observaron los anillos de Saturno y los "canales" de Marte, respectivamente.

Posteriormente, al mejorar los datos de distancia de cada planeta al Sol y sus períodos de revolución alrededor de éste, apoyados en los cálculos obtenidos aplicando la ley de Gravitación Universal de Newton, se emitió la hipótesis de la existencia de otros planetas. Así:

En 1781 se descubrió Urano (dios de los cielos).

En 1846 se confirmaba la existencia de Neptuno (dios de los mares).

En 1930 se observó por primera vez el planeta más alejado del Sol, Plutón (dios de los infiernos).

El Sol y los planetas (ver fig. 3.18) tienen ciertas características comunes como, por ejemplo:

- Las órbitas de los planetas están prácticamente en el mismo plano del ecuador del Sol.

CUESTIONARIO

7. Calcula la fuerza con que la Tierra atrae, sobre la superficie terrestre, a un camión cuya masa es de 10 toneladas. ¿Y a una bicicleta con una masa de 10 kg?

Los valores obtenidos son los pesos de esos cuerpos expresados en Newton. Divide dichos valores entre cada una de sus masas y obtendrás la aceleración de la gravedad sobre la superficie terrestre. Datos:

Radio de la Tierra, $R_T = 6.376 \text{ km}$.

8. Isaac Newton vivió en el siglo XVII, época de los grandes descubrimientos científicos. ¿Podrías hacer una lista de científicos de aquel siglo, indicando sus aportaciones a los diferentes campos de las ciencias?

- Los planetas giran en el mismo sentido alrededor del Sol.
- Los planetas interiores son relativamente pequeños, sólidos y muy densos. En cambio los exteriores son gigantes y poco densos, exceptuando Plutón.

Estos hechos hacen suponer que el Sol y los planetas tiene un origen común. La hipótesis planetesimal propuesta en 1944 por el alemán Weizsäcker y el norteamericano Kuiper, mejorada y ampliada hasta la actual teoría, propone el siguiente origen:

El estallido de una supernova cercana a una nebulosa (nube de gas y polvo) produce una onda de choque que hace girar a gran velocidad la nebulosa, elevando así su temperatura.

Cuando en el centro de la nebulosa se alcanza la temperatura de 10 millones de grados centígrados, las partículas interiores empiezan a chocar entre sí, produciendo energía y una estrella primitiva o primigenia comienza a brillar en el centro de la nube de gas y polvo (ver fig. 3.19).

Al mismo tiempo, las partículas exteriores de la nebulosa también chocan entre sí, colocándose en un disco concéntrico a la primitiva estrella interior.

A continuación, un paulatino enfriamiento origina que los gases de la nube exterior con forma de disco se condensan, comenzando la formación de pequeños planetas llamados planetesimales.

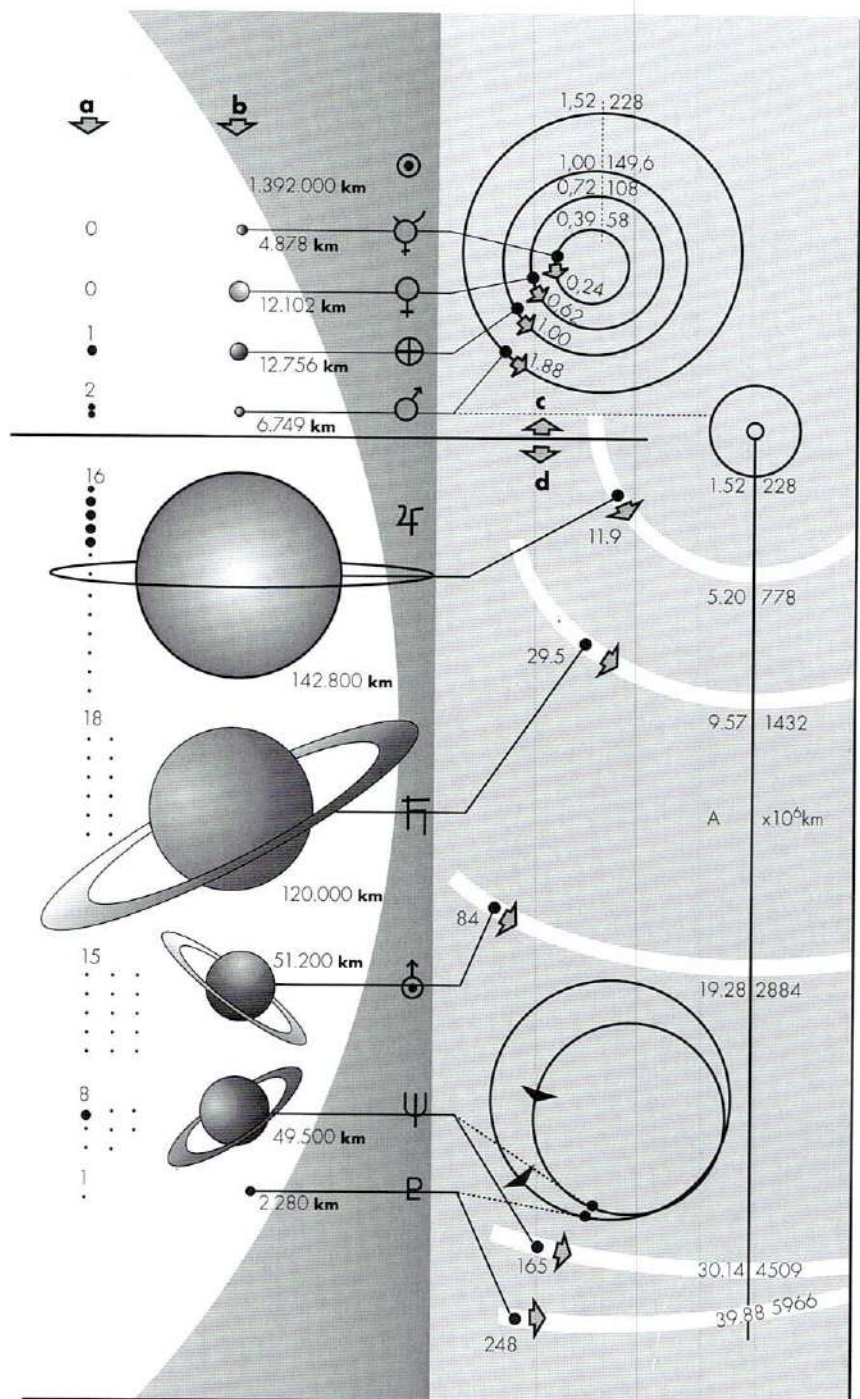


FIGURA 3.18. El Sol y los planetas.

Columna A: n.º de satélites de cada planeta.

Columna B: diámetro de cada planeta.



FIGURA 3.19. Formación del Sistema Solar. Estrella primitiva.

En los planetesimales interiores se condensan los gases de elementos pesados y en los exteriores se condensan los gases de elementos ligeros. Dichos planetesimales continúan creciendo por los continuos choques con otros próximos durante un proceso que duró un millón de años.

En la estrella comienza el proceso de fusión termonuclear, emitiéndose hacia el exterior un fuerte viento solar que se encarga de limpiar de gas y polvo el espacio interplanetario (ver fig. 3.20).

4. LA ESTRELLA DE NUESTRO SISTEMA: el Sol

Los cálculos de Aristarco de Samos que estudiamos en la fase anterior, aunque erróneos, iban en una dirección adecuada. El Sol es una estrella de tamaño mucho mayor que la Tierra y está a bastante más distancia de ésta que la Luna.

Con los conocimientos actuales vamos a estudiar las características de nuestro Sol, estrella formada hace unos 5.000 millones de años y con unas características medias respecto al resto de las estrellas de nuestra galaxia.

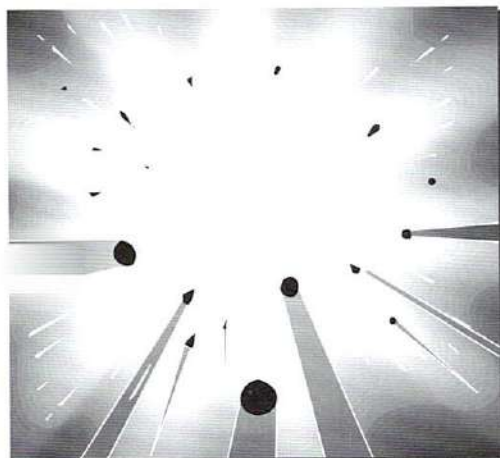


FIGURA 3.20. Formación del Sistema Solar. Inicio del proceso de fusión termonuclear.

DATOS DEL SOL

Diámetro ecuatorial	1.390.000 km	109 D terrestres
Masa	$2 \cdot 10^{30}$ kg	330.000 M terrestres
Período de rotación	25/30 días	
Densidad	1'4 g/cm ³	0'25 d terrestres
Aceleración de la gravedad	273'4 m/s ²	28 g terrestres
Temperatura superficial	5.500 °C	



CUESTIONARIO

9. Si la luz viaja a la velocidad de 300.000 km/s, ¿cuánto tiempo tardará en llegar a la Tierra la luz procedente del Sol?

ESTRUCTURA DEL SOL

El Sol tiene forma de esfera, en la que podemos distinguir tres partes (ver fig. 3.21):

PARTE INTERIOR, constituida por:

- El **Núcleo**, de 139.000 km de radio (0,2 veces el radio solar), es la zona donde se producen las reacciones nucleares que originan la energía del Sol; su temperatura varía desde 15 millones de °C en el centro hasta 9 millones en el extremo superior del núcleo.
- Desde 139.000 km hasta 625.500 km del centro (de 0,2 a 0,9 veces el radio solar) se encuentra la **zona de radiación**, por donde se transmite la energía producida en el núcleo mediante ondas, con una temperatura comprendida entre 9 millones y 500.000 °C.
- Desde 625.500 km del centro hasta la superficie, a 695.000 km del centro, está la **zona de convección**, a través de la cual se transmite la energía por convección, es decir, por corrientes de materia a distintas temperaturas; ésta varía en la zona entre 500.000 y 9.000 °C.

SUPERFICIE SOLAR:

La superficie solar se denomina **fotosfera**, tiene 400 km de espesor y su temperatura desciende de 9.000 hasta 5.500 °C; es la zona que podemos observar a simple vista, siempre que protejamos adecuadamente nuestros ojos. Presenta una granulación o forma de granos de arroz que cambia cada 11 años, el llamado ciclo solar; en esta zona se encuentran:



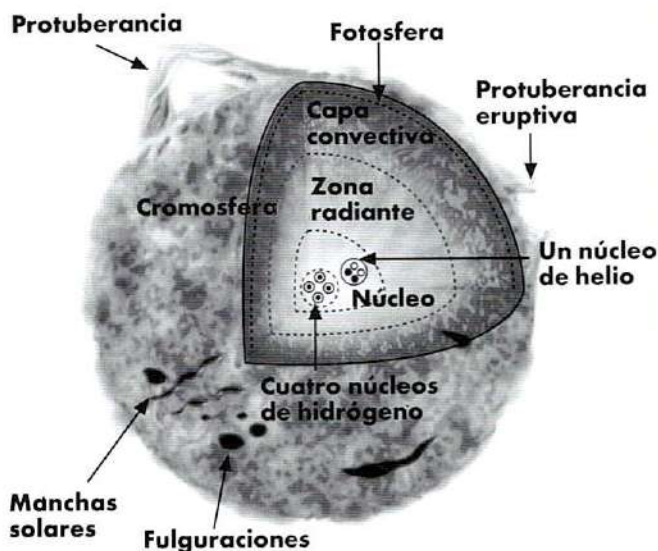


FIGURA 3.21. Corte del Sol.

- Las **fáculas** o regiones brillantes de gas, a una temperatura más alta, unos 6.000 °C.
- Las **manchas solares**, que pueden alcanzar extensiones con un diámetro de 100.000 km, con una parte central más oscura y otra de penumbra; son lugares de la superficie donde la temperatura es menor que en el resto, unos 4.000 °C.
- Las **fulguraciones** que rodean a las manchas solares son explosiones que desprenden gran cantidad de energía.
- Las **protuberancias** (ver fig. 3.23) son cintas o lenguas de gases con temperaturas semejantes a las manchas que ascienden bastantes kilómetros, hasta 70.000, por encima de la fotosfera solar.

PARTE EXTERIOR, no visible debido a la luz procedente de la superficie y que está formada por:

- La **cromosfera**, una zona de unos 8.000 km de altura por encima de la superficie, donde la densidad de materia disminuye rápidamente con la altura.
- Por último, la envoltura más externa es la corona solar, con una altura de unos 11.000 km; no es observable desde la superficie de la Tierra salvo durante los eclipses totales de Sol.
- Además, el Sol emite partículas cargadas eléctricamente a una velocidad de unos 500 km/s que constituyen el llamado "viento solar", que llega hasta los confines del Sistema. Estas partículas cargadas son desviadas al llegar a las proximidades de la Tierra hacia los Polos por el fuerte campo magnético terrestre. Allí chocan con las altas capas de la atmósfera, produciendo una energía que se transforma en luz visible durante las noches polares, lo que da lugar a los fenómenos llamados auroras boreales cerca del Polo Norte y australes cerca del Sur.



FIGURA 3.23. Protuberancia solar.

ENERGÍA DEL SOL

En la zona central del Sol se producen reacciones nucleares de fusión, en las que se combinan átomos de hidrógeno entre sí para

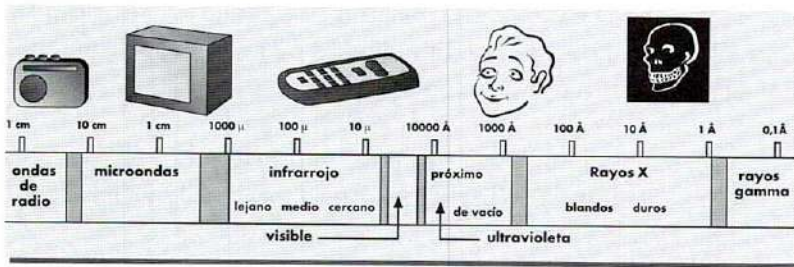


FIGURA 3.22. Radiación electromagnética emitida por el Sol.

dar átomos de helio y desprender una cantidad enorme de energía. Esta energía se transmite a la superficie del Sol, que emite radiación al exterior. Por otra parte, la gigantesca masa del Sol impide, a causa de la gravedad, que su materia salga despedida al exterior, lo que mantiene el proceso de fusión nuclear controlado.

RADIACIÓN SOLAR

El gigantesco reactor de fusión nuclear que constituye nuestro Sol emite hacia el exterior ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz ($c = 300.000 \text{ km/s}$). Recuerda que, como vimos en la Unidad 1, la longitud de onda, λ , y la frecuencia, f , se relacionan por la expresión $\lambda = c/f$. Son de este tipo las ondas de radio y TV, las microondas, los infrarrojos, los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma (ver fig. 3.22).

Las radiaciones γ , X y ultravioleta son muy energéticas y producirían la muerte de los seres vivos. Afortunadamente, en la frágil atmósfera terrestre, la capa de ozono sólo permite el paso de una ínfima parte de la radiación ultravioleta, que aporta la energía necesaria a las plantas para producir la fotosíntesis. La radiación visible, vulgarmente llamada luz blanca, que se puede descomponer en los colores del arco iris (violeta, añil, azul, verde, amarillo, naranja y rojo), es perceptible por nuestro sentido de la vista. La radiación infrarroja calienta la superficie terrestre. Una pequeña parte de las radioondas pueden atravesar la atmósfera terrestre y ser detectadas por radiotelescopios.

5. LOS PLANETAS INTERIORES

MERCURIO

Es el planeta más próximo al Sol (fig. 3.25); se halla a una distancia media de él de 58 millones de km (0,4 U.A.) y sólo tar-



¿SABÍAS QUE...?

El nivel del lago Victoria, situado en la zona central de África, varía cada 11 años, es decir, un ciclo solar. Igual ocurre con los anillos de crecimiento de los árboles.

Recientemente, el telescopio espacial Hubble ha podido fotografiar el nacimiento de estrellas situadas en las constelaciones de Orión, Tauro y Vela lo que confirma las hipótesis sobre la formación de nuestro Sol.



FIGURA 3.25. Fotos de Mercurio tomadas desde telescopios terrestres a través de la zona más gruesa de la atmósfera, lo que impide obtener imágenes con nitidez.

da 88 días en completar una vuelta a su alrededor. Debido a su rapidez se le puso el nombre de Mercurio, dios romano del comercio y mensajero de los dioses.

Mercurio describe una órbita, elipse (ver fig. 3.24), con una excentricidad de 0,2. El plano de su órbita está inclinado 7° respecto del plano de la eclíptica.

Este planeta rota sobre sí mismo de oeste a este cada 59 días terrestres, alrededor de un eje inclinado 28° respecto de la recta perpendicular al plano de su órbita.

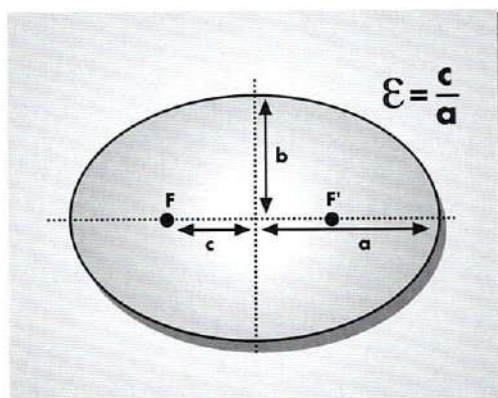


FIGURA 3.24. Elipse: a = semieje mayor
 b = semieje menor
 c = semidistancia entre los focos, F y F'
 ε = excentricidad



¿SABÍAS QUE...?

La excentricidad de una elipse nos da su proximidad a una circunferencia, de forma que:

- Si vale 0, es una circunferencia.
- Si vale 1, es una hipérbola.

Cuando vale entre 0 y 1 la elipse es más o menos achatada.

El diámetro ecuatorial de este planeta es de 4.878 km, es decir, 0,4 veces el diámetro de la Tierra, y se calcula que tiene una masa de 0,06 veces la de la Tierra.

La temperatura media del planeta Mercurio es de 500°C durante el día mercuriano, si bien por la noche desciende hasta -200°C .

Su superficie de rocas volcánicas presenta numerosos cráteres, mesetas y valles, como la Luna. Es un planeta sin atmósfera, ya que su escasa gravedad no es capaz de retener los gases de la superficie.



NOTICIAS

Algunos de los cráteres de Mercurio situados cerca de los polos del planeta podrían contener hielo en su interior, como han mostrado las imágenes obtenidas por el radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico).





¿SABÍAS QUE...?

El planeta Mercurio no tiene satélites ni anillos. Su existencia es conocida desde la antigüedad y observado desde la Tierra presenta fases semejantes a las de la Luna por estar más cerca del Sol que ésta. En 1974 fue fotografiado por la sonda espacial norteamericana Mariner X (fig. 3.26).



CUESTIONARIO

10. ¿A qué horas es visible Mercurio? ¿Por qué no es fácilmente observable a simple vista?
11. ¿Podrías exponer las causas de la elevada temperatura de Mercurio durante su día y su baja temperatura durante su noche?
12. ¿Sabrías explicar las causas de la enorme craterización de la superficie de Mercurio?
13. Debido a que el año mercuriano es de 88 días y su período de rotación alrededor de su eje es de 59 días, ¿cuánto tiempo durará el día y la noche mercuriana?

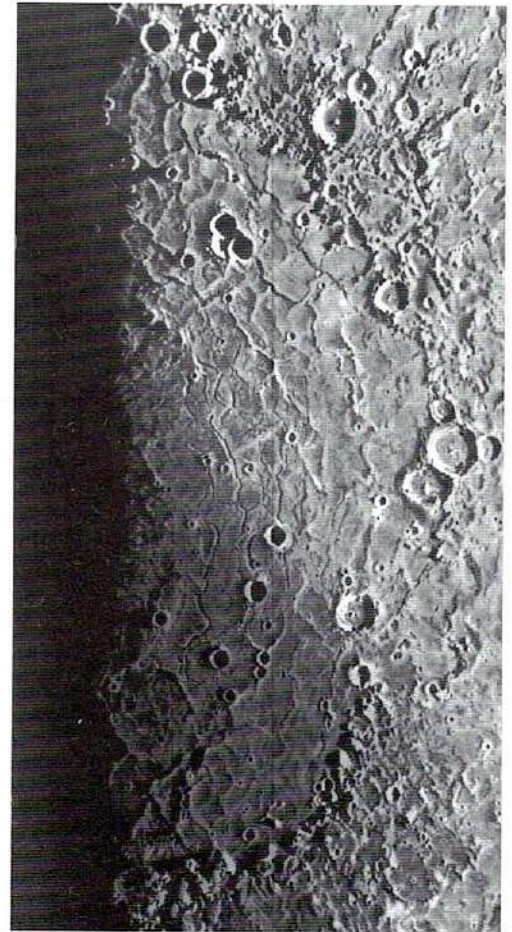


FIGURA 3.26. Fotografía de la depresión Caloris de la superficie de Mercurio obtenida por la sonda Mariner X.

VENUS

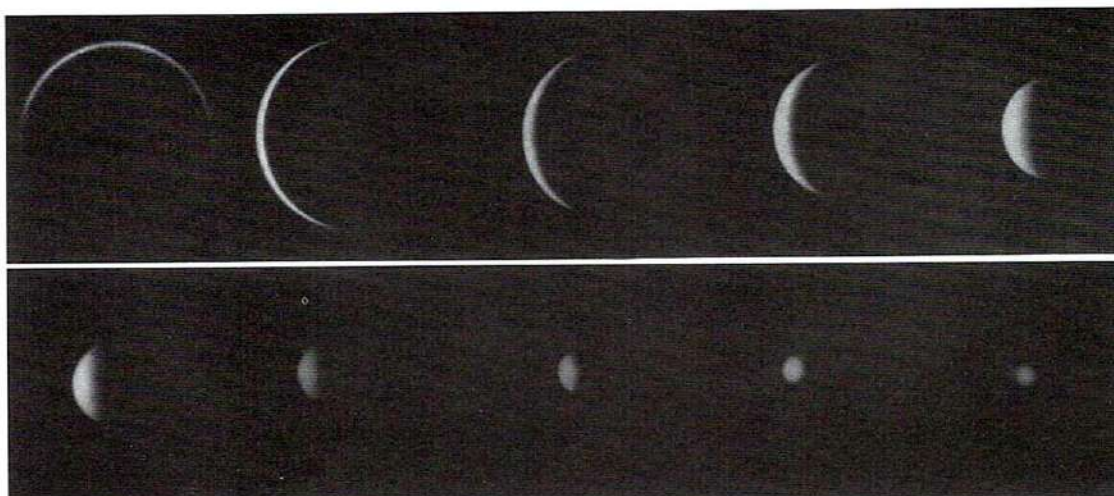
El segundo planeta del Sistema Solar es Venus; está situado a una distancia media de 108 millones de km del Sol (0,72 U.A.) y su órbita alrededor de éste es prácticamente una circunferencia, por lo que su excentricidad tiene un valor de 0'007.

Su período de revolución alrededor del Sol es de 225 días y el plano de su órbita está inclinado 3° respecto de la eclíptica.

Al estar más cerca del Sol que la Tierra, desde ésta presenta fases semejantes a las de la Luna (ver fig. 3.28), observadas por primera vez en 1610 por Galileo. Hay dos ocasiones en que no es visible, una en la conjunción inferior, en la



FIGURA 3.28.
Fases de Venus.



que nos presenta su cara no iluminada por el Sol, y otra en la conjunción superior, en la que, a pesar de presentarnos su cara iluminada, el planeta se encuentra detrás del Sol, por lo que no podemos observarlo (ver fig. 3.27).

El diámetro medio de este planeta es de 12.104 km, muy semejante al de la Tierra ($0,95 \cdot D_{\text{Tierra}}$) y se calcula que tiene una masa de 0,81 veces la de la Tierra.

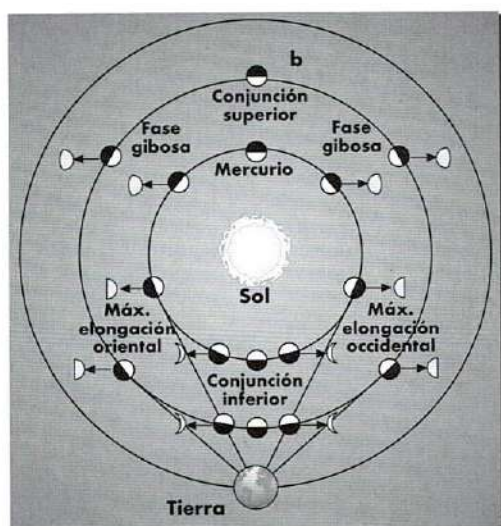
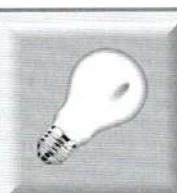


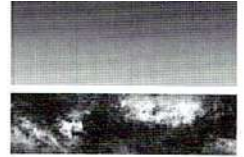
FIGURA 3.27. Explicación de las fases de Venus, en su recorrido alrededor del Sol, vistas por un observador terrestre.



¿SABÍAS QUE...?

Venus rota sobre sí mismo en sentido retrógrado (de este a oeste), su eje de giro está inclinado 6° respecto de una recta perpendicular al plano de su órbita y su período de rotación es de 243 días. La causa de esta anómala rotación podría ser el fuerte impacto de un gran meteorito hace millones de años.

La superficie del planeta Venus tiene una temperatura media de 475°C . Posee una atmósfera compuesta de dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de azufre (SO_2) en forma de gotas, lo que produce una lluvia ácida que nunca llega a caer sobre su superficie, puesto que se evapora antes. Dicha atmósfera gira en sentido contrario al de rotación del planeta, lo que origina unos vientos de velocidades enormes, y se extiende hasta



100 o 150 km por encima de la superficie venusiana, ejerciendo una presión 90 veces superior a la de la Tierra.

La superficie de Venus es bastante llana comparada con otros planetas sólidos del Sistema Solar. Su corteza exterior está formada por granitos, basaltos y otras rocas de origen volcánico, según descubrieron las sondas rusas no tripuladas Venera en los años setenta.

El planeta Venus no tiene satélites ni anillos. Conocido desde la antigüedad como lucero del atardecer o del amanecer, en 1974 fue fotografiado por la sonda espacial norteamericana Mariner X (ver fig. 3.29) y, recientemente, por la sonda Magallanes, que realizó una detallada cartografía de su superficie mediante señales de radar.

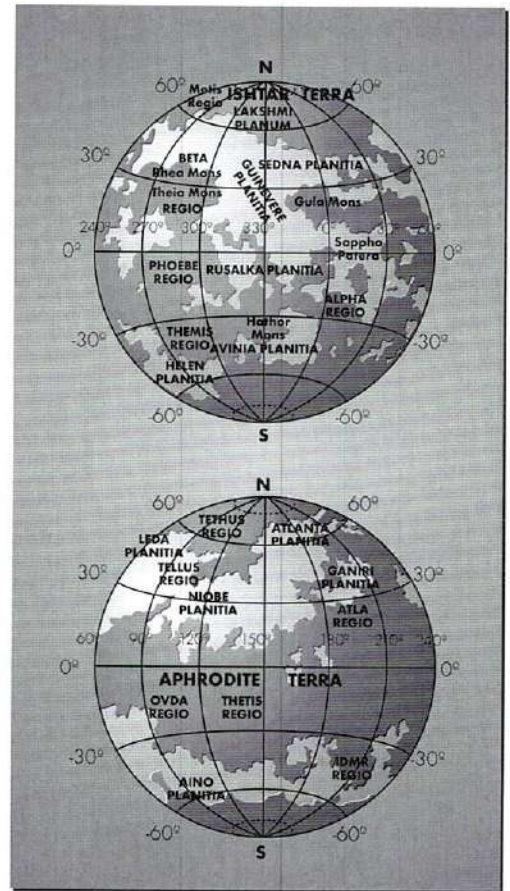


FIGURA 3.29. Mapas de Venus elaborados por la sonda Pioneer Venus Orbiter.



CUESTIONARIO

14. Con los datos anteriores, calcula la velocidad de Venus en torno al Sol en km/h.
15. Averigua, utilizando la ecuación de Newton, cuánto vale la aceleración de la gravedad en dicho planeta. Recuerda que la ecuación es $g = G M/R^2$, siendo $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$.
16. Podrías exponer las causas de la elevada temperatura de Venus, casi igual que la de Mercurio a pesar de estar mucho más lejos del Sol?

6. EL SUBSISTEMA TIERRA-LUNA

LA TIERRA

El tercer planeta del Sistema Solar es la Tierra; está situado a una distancia media de 150 millones de km del Sol (1 U.A.). Su período de revolución alrededor del Sol es de 365,25 días y su trayectoria es una elipse de excentricidad 0,02.

La Tierra gira en sentido oeste-este y su eje de giro está inclinado $23^\circ 27'$ respecto de la recta perpendicular al plano de su órbita. Su período de rotación es de 23 horas y 56 minutos.



¿SABÍAS QUE...?

Hace 500 millones de años, dicho período era menor (21 horas) y en el futuro será mayor, hasta hacerse sincrónico con el movimiento de rotación de su satélite, la Luna; de hecho, la Tierra acelera a la Luna y ésta frena a la Tierra, debido a la interacción gravitatoria entre ambos cuerpos.



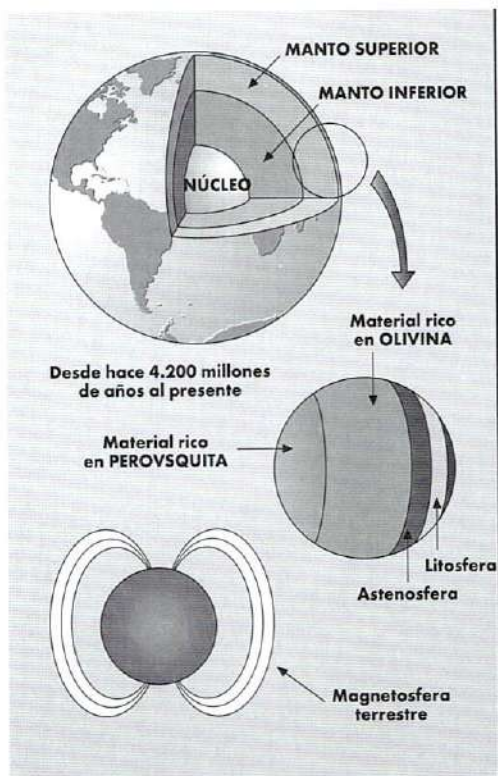


FIGURA 3.30. Corte de la Tierra.

La Tierra está achatada por los polos debido al efecto de la rotación, por lo que existe una diferencia entre su diámetro polar, 12.714 km, y su diámetro ecuatorial, 12.756 km. Se calcula que tiene una masa de $5,98 \cdot 10^{24}$ kg y la aceleración de la gravedad a nivel del mar es de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Como sucede en Mercurio y Venus, en la Tierra se distinguen tres capas: núcleo, manto y corteza (ver fig. 3.30).

En el núcleo hay hierro y níquel fundidos que se mueven por corrientes de convección, este movimiento produce un importante campo magnético. Dicho campo se evidenció en 1958, con el descubrimiento de los llamados cinturones de Van Allen, zona del espacio exterior situada a una distancia entre 4.000 y 10.000 km de la Tierra, donde el campo magnético terrestre captura las partículas cargadas (protones y electrones) procedentes del Sol y del espacio interestelar, obligándoles a girar en órbitas elípticas en torno a la Tierra (ver fig. 3.31).

La atmósfera de la Tierra es única en el Sistema Solar (ver fig. 3.32), se extiende desde la superficie terrestre hasta una altura de unos 1.000 km. En su parte inferior está formada por una mezcla de gases que denominamos aire, compuesto de nitrógeno (N_2), un 75,5%, oxígeno (O_2), un 23,1%; argón (Ar), un 1,2%; dióxido de carbono (CO_2), un 0,045%; etc. La cantidad de vapor de agua oscila entre 1 y 0,1%. Sobre su superficie coexisten los tres estados de agregación del agua: hielo, agua líquida y vapor de agua; la temperatura media de la Tierra es de 15°C .

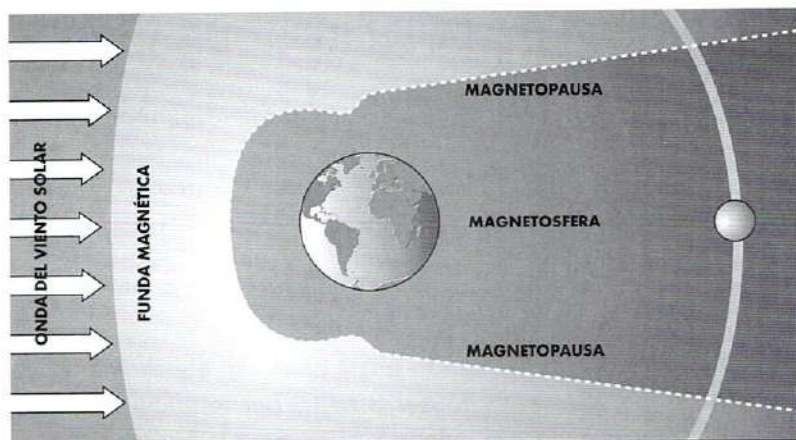


FIGURA 3.31. Magnetosfera terrestre.



¿SABÍAS QUE...?

En el pasado hubo glaciaciones y también hubo períodos cálidos con efectos más notables que los actuales durante los cuales llegaban a fundirse los casquetes polares.

El planeta Tierra tiene como características diferenciadoras del resto de los planetas del Sistema Solar las siguientes:

- Un satélite gigante comparado con el tamaño de la Tierra, la Luna.
- Una atmósfera escasa en CO_2 , a diferencia de los planetas Venus y Marte.
- Un potente campo magnético.
- Un 76% de su superficie cubierta de agua en estado líquido (hidrosfera).
- La existencia de una gran diversidad de formas de vida autorreproducibles y que toman energía del medio.



CUESTIONARIO

17. Con los datos anteriores, calcula la velocidad de la Tierra en torno al Sol, en km/h, suponiendo que su trayectoria fuese una circunferencia.
18. ¿Por qué hay estaciones en la Tierra? ¿Cómo son esas estaciones?
19. Sabiendo la masa de un cuerpo y su volumen (el de una esfera vale $\frac{4}{3}\pi R^3$) se puede averiguar la densidad de ese cuerpo. ¿Cuánto vale la de la Tierra?
20. ¿Por qué la proporción de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera terrestre es tan pequeña comparada con la del planeta Venus?

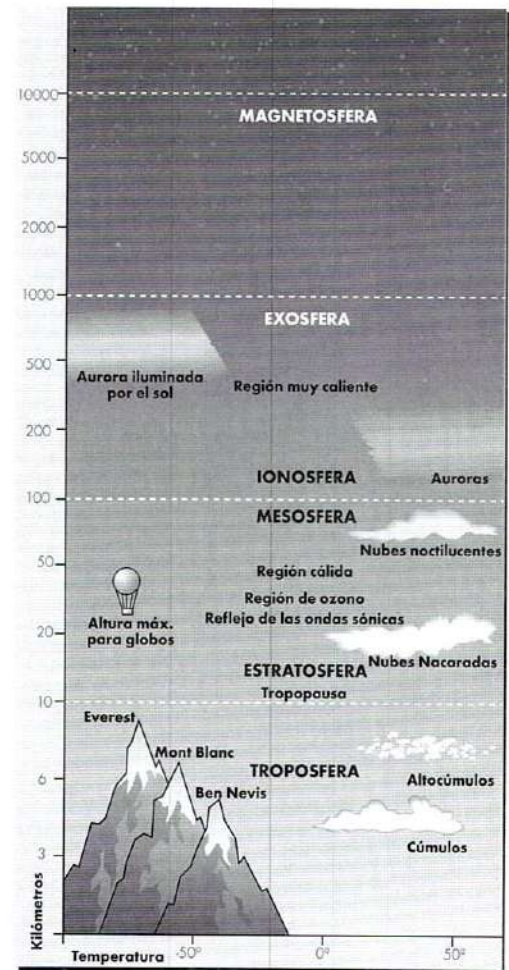


FIGURA 3.32. Atmósfera terrestre.



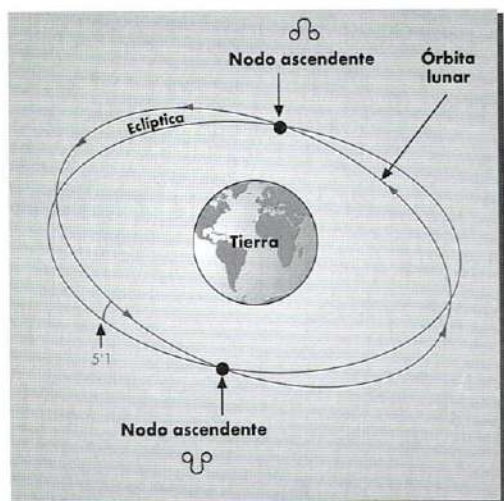


FIGURA 3.33. Órbita de la Luna y los puntos de corte con la eclíptica.

LA LUNA

Sus movimientos

La Luna está situada a una distancia media de la Tierra de 384.000 km. Dicha distancia se calculó desde muy antiguo utilizando la técnica del paralaje y relaciones trigonométricas. Hoy día se obtiene enviando un rayo láser que se refleja en un espejo colocado para tal fin en la Luna por astronautas norteamericanos del proyecto Apolo, se mide el tiempo que tarda en ir y volver a la Tierra y se multiplica por la velocidad de la luz, lo que determina la distancia exacta entre la Tierra y la Luna.

La trayectoria seguida por la Luna de oeste a este en su órbita alrededor de la Tierra es una elipse, de forma que cuando se encuentra en el punto más alejado de la Tierra, denominado apogeo, está situada a 406.610 km, y en el punto más cercano, o perigeo, está a una distancia de 356.334 km. Dicha órbita tiene una inclinación de $5,1^\circ$ respecto de la eclíptica. Los puntos de intersección entre la órbita lunar y la eclíptica reciben los nombres de nodos: ascendente cuando la Luna cruza la eclíptica en dirección sur-norte y descendente cuando lo hace en dirección norte-sur (ver fig. 3.33).

La Luna tarda 27 días, 7 horas, 43 minutos y 11,5 segundos en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra, respecto a una misma estrella (período o mes sidéreo).

En cambio transcurren 29 días, 12 horas, 44 minutos y 2,9 segundos entre dos fases iguales consecutivas, por ejemplo entre una Luna llena y la siguiente; es el llamado período o mes sinódico, también llamado lunación (ver fig. 3.34).

Por otra parte, la Luna rota sobre sí misma respecto a un eje inclinado $83^\circ 20'$ respecto del plano de su órbita. El período de rotación de la Luna es de 27,32 días, lo mismo que el período de traslación alrededor de la Tierra; es decir, los días lunares y el mes sidéreo duran lo mismo. Este acoplamiento de los períodos es debido a la atracción gravitatoria del planeta Tierra, cuya masa es mucho mayor que la de la Luna, por esta razón desde la Tierra siempre se ve la misma cara de la Luna.

Observaciones más precisas permiten confirmar que en realidad se ve un 60% de la superficie lunar debido a "balan-

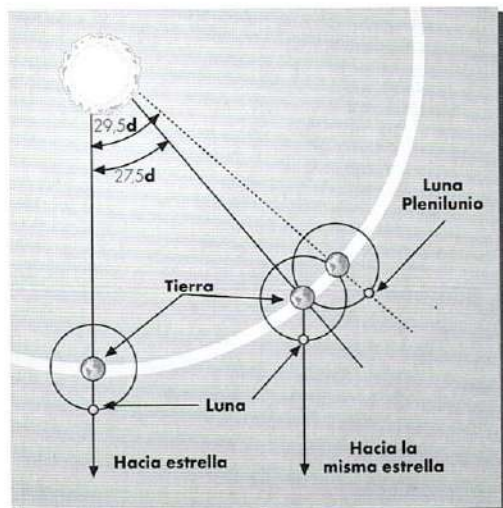


FIGURA 3.34. Mes sidéreo y mes sinódico.



ceos" o "libraciones" aparentes en el movimiento lunar. Éstos son de dos tipos:

- Libración en longitud. Producido por el desfase de acoplamiento entre la velocidad de rotación de la Luna sobre sí misma y la velocidad orbital de la Luna alrededor de la Tierra, puesto que esta última es mayor en el perigeo que en el apogeo.
- Libración en latitud. Debido a la inclinación del eje de rotación de la Luna respecto de su plano orbital. Por lo que a veces se nos muestra preferentemente el hemisferio sur y en el extremo opuesto de su trayectoria el hemisferio norte.

DATOS DE LA LUNA

Diámetro ecuatorial	3.746 km	3,6 D
Masa	$7,34 \cdot 10^{22}$ kg	81,5 M
Densidad	3,3 g/cm ³	
Atmósfera	No tiene	
Temperatura superficial	107 / -173 °C	



¿SABÍAS QUE...?

La Luna es un cuerpo oscuro que no emite luz, sino que refleja parte de la luz del Sol que recibe, en concreto sólo un 7%. No obstante, la luminosidad de la Luna es enorme debido a su cercanía a la Tierra. Así, cuando la Luna empieza a crecer observamos una pequeña porción de ella iluminada por el Sol, pero podemos distinguir todo el disco lunar iluminado por la tenue luz azul proveniente del reflejo de la luz solar sobre la atmósfera terrestre.



CUESTIONARIO

21. ¿Cuál es el valor de la aceleración de la gravedad sobre la superficie lunar? Recuerda que el valor de g se calcula mediante la expresión

$$g = G M/R^2$$

22. ¿Cuánto pesará una persona en la Luna si en la Tierra pesa 50 kg?
¿Cuál será su masa?
23. ¿A qué es debido esa fuerte variación de la temperatura superficial de la Luna, si prácticamente está a la misma distancia del Sol que la Tierra?
24. Desde la Luna se verá siempre la misma cara de la Tierra? ¿Por qué?



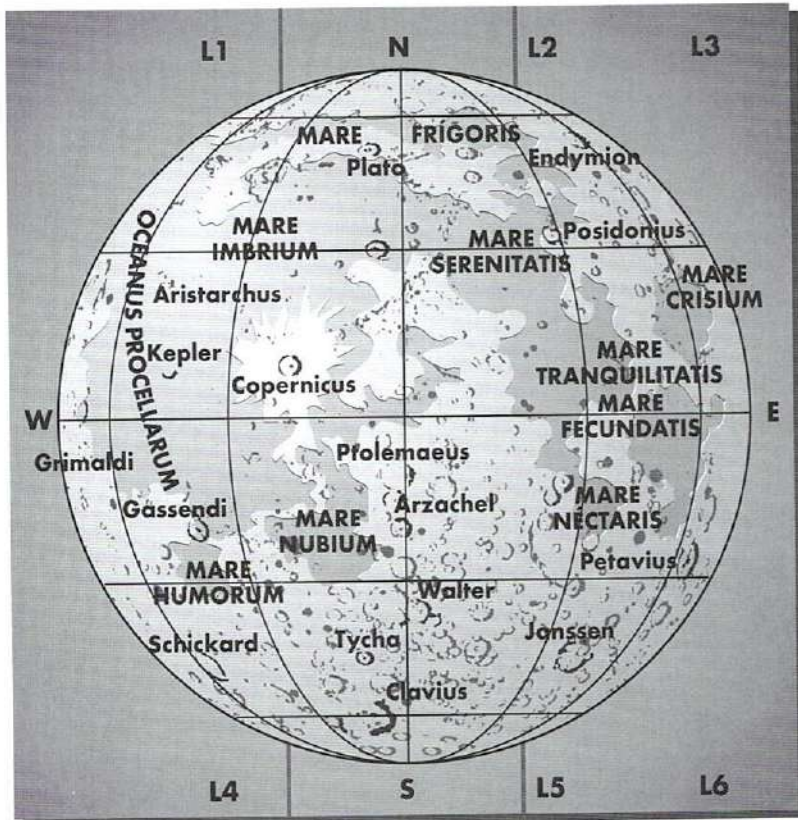


FIGURA 3.35. Cara visible de la Luna. En ella se aprecian los "mares" más importantes.

La superficie lunar presenta dos zonas claramente diferenciadas, observadas por primera vez con un telescopio por Galileo. Las tierras altas, de color claro, que presentan numerosos cráteres, algunos de ellos gigantes y que han sido bautizados con los nombres de importantes astrónomos. Las tierras bajas o mares, de color más oscuro y con muchos menos cráteres, reciben nombres románticos y se encuentran rodeadas de cadenas montañosas con nombre semejantes a los de las grandes cordilleras de la Tierra; dichas cadenas montañosas llegan a tener longitudes de 160 km y alturas de hasta 5.500 m. (ver fig. 3.35).

Las fases de la Luna

Durante su movimiento alrededor de la Tierra, se observa como la Luna va cambiando su aspecto debido a la iluminación que recibe del Sol. La Luna "desaparece" de nuestro cielo nocturno, en otras ocasiones brilla en su plenitud o adquiere formas de fina hoz o de semicírculos.

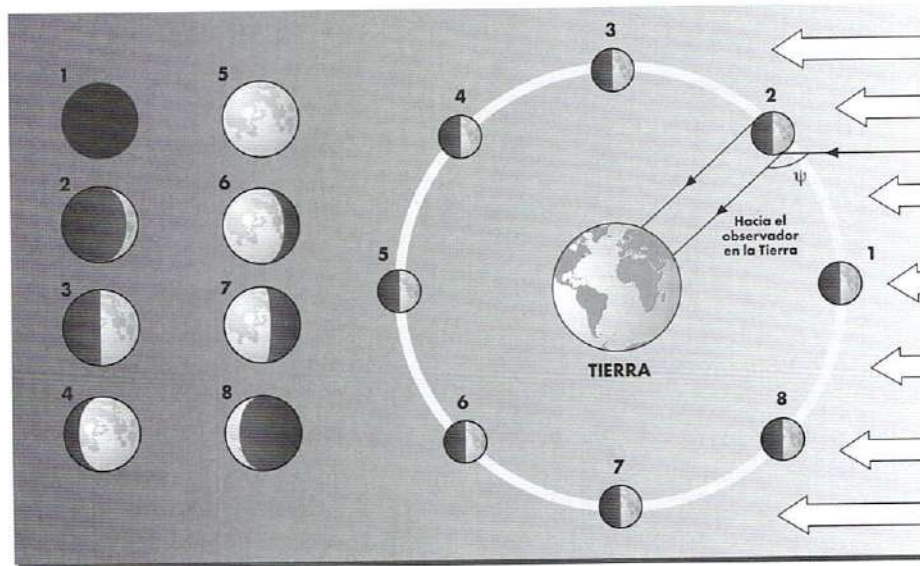


FIGURA 3.36. Explicación de las fases de la Luna vistas por un observador terrestre.

Por la lejanía del Sol podemos considerar que los rayos solares inciden sobre la Tierra y la Luna paralelos entre sí, de tal forma que siempre quedan iluminadas la mitad de sus esferas. Dependiendo de cuál sea la posición relativa de la Tierra y la Luna con respecto al Sol, veremos la Luna en una u otra fase. Dicha posición relativa la podemos determinar mediante el ángulo de fase, ψ , que es el que forman los rayos que inciden y los reflejados por la Luna hacia la Tierra. Observando el dibujo podemos entender cómo un observador situado en la Tierra aprecia las distintas fases (ver fig. 3.36).



En el dibujo se aprecian las fases que corresponderían a las posiciones relativas de la Tierra y la Luna con respecto del Sol. Los números que acompañan a las fases (parte inferior) se corresponden con la visión de la Luna desde la Tierra cuando la Luna está situada en el punto de su trayectoria marcado con ese mismo número.

Las cuatro fases fundamentales son: Luna nueva, cuando el ángulo de fase es de 180° ; cuarto creciente, cuando es de 90° ; Luna llena, cuando el valor de ese ángulo es de 0° , y, por último, cuarto menguante, cuando su valor es de 90° .



QUESTIONARIO

25. alguna vez habrás observado que puede verse la Luna de día. ¿En qué fases posibles se encontrará? Trata de determinar a qué horas del día o la noche se verán las distintas fases de la Luna.
26. ¿Crees que desde la Luna se observarán "fases de la Tierra"? Si es así, representa para las posiciones del 1 al 8 de la Luna, un dibujo similar al que aparece en la parte inferior del dibujo anterior.

Los eclipses

Al estudiar el movimiento de la Tierra y la Luna respecto del Sol puede ocurrir que los tres se encuentren en conjunción (en línea recta) sobre el plano orbital de la Tierra o eclíptica. Si en esos momentos la Luna se interpone entre el Sol y la Tierra observaremos un eclipse de Sol. Por el contrario, si es la Tierra la que se interpone entre el Sol y la Luna, se producirá un eclipse de Luna. Si el plano orbital de la Luna coincidiera con el de la Tierra, se producirían eclipses cada vez que la Luna se encontrara en esas fases. Como la inclinación del plano orbital de la Luna es de 5° , sólo se producen eclipses cuando la Luna se halla en un nodo ascendente o en el descendente o en su proximidad. Por tanto sólo se producen eclipses dos veces al año, habiendo transcurrido entre uno y otro unos seis meses. Los eclipses se presentan por parejas, de Sol y de Luna, prácticamente en el mismo mes.



¿SABÍAS QUE...?

El intervalo de seis meses entre eclipses no es totalmente preciso, debido a que el tiempo que la Luna tarda en pasar dos veces por el mismo nodo, conocido como mes draconítico, es dos horas menor que el tiempo que tarda en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra (mes sidéreo). Los nodos se desplazan 20° cada año, por lo que tardarán 18 años y 11,3 días en dar una vuelta completa. A este período de tiempo se le conoce como período de Saros; es decir, después de esos 18 años se repiten los eclipses exactamente en las mismas posiciones, mientras que de año en año se van adelantando.



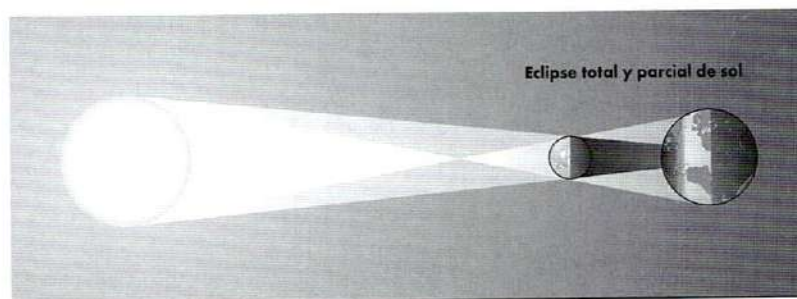


FIGURA 3.37. Eclipse total y parcial de Sol.

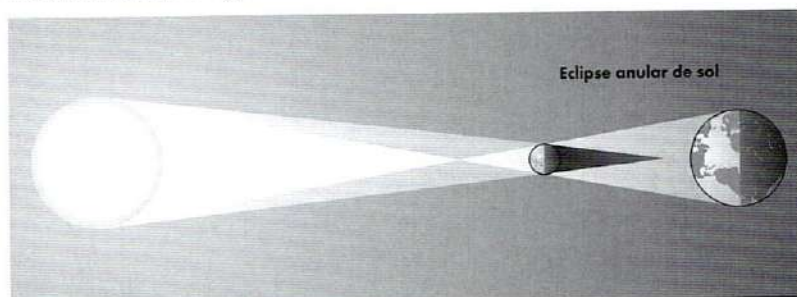


FIGURA 3.38. Eclipse anular de Sol.

Eclipses de Sol

Debido a la distancia entre el Sol y la Luna y a sus tamaños, la proyección de la sombra de ésta sobre la Tierra presenta dos zonas diferenciadas; un cono de oscuridad sobre una zona de la Tierra, donde se observará un eclipse total de Sol, y una zona de penumbra sobre la Tierra desde donde se observa un eclipse parcial de Sol (ver fig. 3.37). Cuando la distancia Tierra-Luna es máxima, en el apogeo, el cono de sombra no alcanza la superficie terrestre, por lo que los habitantes que estén situados sobre el eje de dicho cono observarán un eclipse anular del Sol, en el que queda tapada la superficie solar y se puede observar una brillante corona solar (ver fig. 3.38)

Eclipses de Luna

Los eclipses de Luna son más fácilmente observables; debido al tamaño de la zona de oscuridad y penumbra proyectada por la Tierra, el eclipse puede ser observado en una zona mayor del 50% de la superficie terrestre, pues el tránsito de la Luna por dichas zonas puede durar hasta tres horas y media. A la distancia que la Luna está de la Tierra, la sombra de ésta tiene un diá-



CUESTIONARIO

27. ¿Por qué razón no observamos con tanta frecuencia eclipses solares, si se producen dos al año?
28. Si se produce un eclipse de Sol cuando la Luna está en un punto situado a 364.000 km de la Tierra, y la longitud del cono de sombra es de 385.000 km, ¿cuál es el diámetro de la zona terrestre desde la que se verá el eclipse total? Utiliza las relaciones de equivalencia entre triángulos isósceles.
29. ¿En qué fase de la Luna se producen los eclipses de Sol y de Luna?



metro 2,5 veces mayor que el diámetro de la Luna, por lo que el eclipse se ve desde todo el lado nocturno de la Tierra, a diferencia de los eclipses de Sol.

Los eclipses de Luna pueden ser totales (ver fig. 3.39), cuando la Tierra y la Luna están en la misma línea recta y por tanto el cono de sombra la oculta totalmente (ver fig. 3.40), o parciales, cuando la Tierra y la Luna están próximas a un nodo y la Luna penetra sólo parcialmente en el cono de sombra. Todos los eclipses de Luna van precedidos y acaban en un eclipse penumbral cuando la Luna entra en la zona de penumbra que proyecta la Tierra. Incluso en ocasiones sólo se produce un eclipse de estas características.



¿SABÍAS QUE...?

En un eclipse total de Luna, ésta no se oscurece del todo, queda en un cierto color rojizo, debido a que la sombra que proyecta la Tierra es de ese color por efecto conjunto de la refracción y la dispersión de la luz solar que incide tangencialmente a la atmósfera terrestre (ver fig. 3.41).



CUESTIONARIO

30. ¿Cómo observaríamos nuestro satélite, en un eclipse total de Luna, si la Tierra careciera de atmósfera? Razónalo detalladamente.

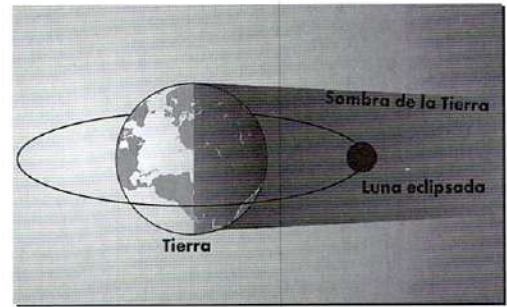


FIGURA 3.39. Eclipse total de Luna.

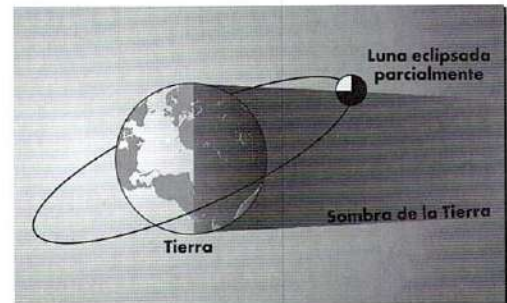


FIGURA 3.40. Eclipse parcial de Luna.

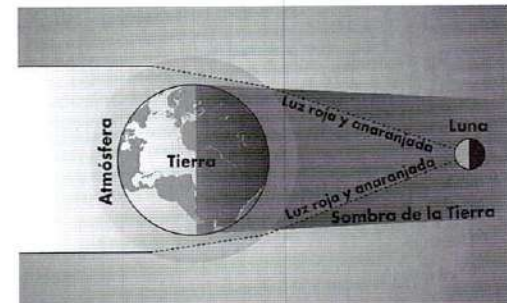


FIGURA 3.41. Eclipse total de Luna. Explicación del color rojizo que adquiere la Luna durante el eclipse.

7. LOS PLANETAS EXTERIORES

MARTE

El cuarto planeta del Sistema Solar es Marte. Se halla a una distancia media de 228 millones de km del Sol, o 1,52 U.A., y su período de revolución alrededor de éste es de 1,9 años terrestres; el plano de su órbita está inclinado 2° respecto de la eclíptica, dicha órbita presenta una excentricidad de 0,09.





FIGURA 3.42. Sección del cañón Valle Marineris (Marte).

Marte gira en sentido oeste-este y su eje de giro está inclinado 25° respecto de la perpendicular al plano de su órbita; su período de rotación es un poco mayor que el terrestre, en concreto 24,6 horas.

El diámetro ecuatorial de este planeta es de 6.794 km, 0,5 veces el diámetro de la Tierra, y se calcula que tiene una masa de 0,11 veces la masa de la Tierra. La temperatura de Marte varía con la latitud del planeta; por ejemplo, para una latitud de 17° Norte oscila entre -86°C y -31°C ; llegando a alcanzar en el ecuador del planeta, a mediodía de verano, 10°C .

Es un planeta con una atmósfera muy tenue, compuesta fundamentalmente de dióxido de carbono (CO_2), un poco de oxígeno (O_2), algo de nitrógeno (N_2) y algo de vapor de agua, con una presión de 0,01 veces la presión de la atmósfera terrestre. Su superficie está formada por rocas de origen volcánico y sedimentos, y presenta pequeños casquetes de hielo en los polos.

Marte es un planeta rocoso con gigantescos cráteres, como el monte Olimpo, cuya base tiene 500 km de anchura y 25 km de altura; también posee elevadas cadenas montañosas y grandes llanuras surcadas por impresionantes cañones, como el valle Marineris, de 5.000 km de largo, 200 km de ancho y 6 km de profundo (fig. 3.42). Estos accidentes geográficos llevaron en el pasado, al observar el planeta con telescopios poco potentes, a pensar que la superficie de Marte estaba surcada por "canales" realizados por seres inteligentes o "marcianos". Si bien las condiciones ecológicas del planeta podrían permitir la existencia de alguna forma de vida, el hecho es que los experimentos realizados por las sondas espaciales que se posaron en el planeta no han podido confirmar la existencia de seres vivos.



NOTICIAS

La comparación de las fotografías obtenidas por las ondas Viking en los años setenta y las del telescopio espacial Hubble en los noventa permiten deducir que el planeta Marte es ahora más frío y seco. Se especula que este planeta pudo tener mayor cantidad de agua en el pasado, lo que habría permitido un hábitat adecuado para alguna forma de vida.



NOTICIAS

En un meteorito encontrado en la Antártida procedente del planeta Marte se han encontrado pequeños rastros de fósiles con una antigüedad cercana a los 3.000 millones de años. Este descubrimiento ha vuelto a poner de actualidad la posibilidad de que en el pasado pudiera haber existido alguna forma de vida elemental en el planeta Marte.



El planeta Marte tiene dos satélites: Fobos (fig. 3.43), de 23 km de ancho, y Deimos, de 13 km. Se observaron por primera vez en 1877, aunque la imaginación de escritores como Swift y Voltaire los intuyeran un siglo antes de su descubrimiento. Marte fue descubierto en la antigüedad y recientemente, en 1977, dos sondas espaciales, Viking I y II se posaron en él, fotografiándolo, explorándolo y realizando experimentos.



CUESTIONARIO

31. ¿Habrá estaciones en Marte? ¿Por qué?
32. Calcula el peso de una persona en Marte, si en la Tierra pesa 70 kg. Recuerda que $P = m \cdot g_{Marte}$.
33. ¿Podrías exponer las causas de la variación de temperatura en Marte con la latitud?



FIGURA 3.43. Fobos, satélite de Marte.

ASTEROIDES

Como recordarás de la Unidad 1, en 1772, el físico Bode encontró una coincidencia matemática, que no una ley por sus múltiples excepciones, entre la distancia de cada planeta al Sol y la serie de números $n = 0, 3, 6, 12, 24, \dots$, donde cada número es el doble del anterior. Si a estos números les sumamos 4, obtenemos:

n	$d = n + 4$	DISTANCIA PLANETA-SOL (millones de km)	$D_{\text{PLANETA-SOL}} / D_{\text{TIERRA-SOL}}$ $\times 10$	PLANETAS
0	4	58	3'8	Mercurio
3	7	108	7'2	Venus
6	10	150	$150/150 \times 10 = 10$	Tierra
12	16	228	15'2	Marte
24	28			
48	52	778	51'8	Júpiter
96	100	1.427	95'1	Saturno

Una vez completada la anterior tabla, se preguntó: "¿Qué representa el número 28?". No había planeta alguno cuya distancia al Sol dividida entre la distancia Tierra-Sol y multiplicada por 10, diera ese número 28.



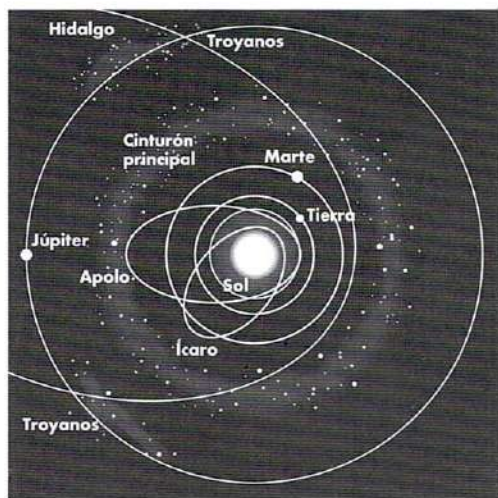


FIGURA 3.44. Asteroides Troyanos en la misma órbita que Júpiter. Cinturón principal de asteroides, entre las órbitas de Marte y Júpiter y asteroides con órbitas muy excéntricas, como Apolo.

Los astrónomos de la época escudriñaron el cielo para encontrar algún planeta entre Marte y Júpiter que cumpliera la relación numérica descubierta por Bode. Por fin, en 1801, el astrónomo Piazzi descubrió un pequeño planeta o asteroide cuya distancia al Sol era de 415 millones de km y que fue bautizado con el nombre de Ceres.

Desde 1807 se han descubierto más de 2.000 asteroides, la mayoría dentro de una zona comprendida entre Marte y Júpiter conocida como el cinturón de asteroides. Sin embargo otros asteroides se encuentran en la misma órbita de Júpiter, sin llegar a chocar con él, puesto que se encuentran separados 60° a ambos lados de dicho planeta (ver fig. 3.44).

Los asteroides tienen órbitas muy excéntricas, se pensaba que su origen podría ser el de un planeta que se hubiera desintegrado; no obstante, hoy día se piensa que son pequeños trozos de materia condensada cuando se formó el Sistema Solar que no llegaron a convertirse en un planeta (fig. 3.45).

Los asteroides más importantes son:

Asteroide	Diámetro (km)	Distancia al Sol (millones de km)	Período de revolución	Inclinación de su órbita
Ceres	1.003	415	1.681 días	$10,6^\circ$
Pallas	608	415	1.684 días	$34,8^\circ$
Juno	247	400,5	1.594 días	$13,0^\circ$
Vesta	538	354,1	1.325 días	$7,1^\circ$
Eros	23	218,7	643 días	$10,8^\circ$



FIGURA 3.45. Asteroide 951 Gaspra, fotografiado por la sonda Galileo.



CUESTIONARIO

34. Comprueba que el asteroide Ceres, situado a 415 millones de km del Sol, cumple la relación de Bode.
35. Comprueba si Urano, descubierto 20 años antes de los cálculos de Bode, cumple dicha relación.



JÚPITER

Júpiter es el quinto planeta del Sistema Solar y el más grande de todos; se conoce su existencia desde la antigüedad. Este planeta está situado a una distancia media de 778 millones de km del Sol, es decir 5,2 U.A. Su órbita elíptica tiene una excentricidad de 0,05 y su período de revolución alrededor del Sol es de 12 años terrestres, estando el plano de su órbita inclinado 1° respecto de la eclíptica.

Este planeta rota muy deprisa en sentido directo (oeste-este) y su eje de giro está inclinado 3° respecto de la perpendicular al plano de su órbita, su período de rotación de 10 horas.

El diámetro ecuatorial de este planeta es de 142.800 km (11,2 DT) y se calcula que tiene una masa de 318 veces la de la Tierra.

El planeta Júpiter tiene una temperatura máxima de -150°C y emite el doble de la energía calorífica que recibe del Sol. Se supone que su núcleo está formado por silicatos y metales, rodeado de un manto compuesto de hidrógeno metálico y gaseoso, lo que explicaría su elevado campo magnético.

Es un planeta que tiene una atmósfera compuesta por bandas que van desde las regiones polares hasta las ecuatoriales. La característica principal de esta atmósfera es la "gran mancha roja", con un tamaño de 2,5 veces la Tierra, que fue descubierta por Hooke en 1664 (ver fig. 3.46). Esta mancha se supone que es una gigantesca tormenta tropical. La atmósfera de Júpiter está formada por hidrógeno (H_2) y helio (He), recorrida por nubes de amoníaco (NH_3) y metano (CH_4).

El planeta Júpiter tiene 16 satélites y un pequeño anillo. Galileo descubrió en 1610, al observar el planeta por primera vez con la ayuda de un rudimentario telescopio, los cuatro satélites más importantes de Júpiter (ver fig. 3.47):

- Io, con un diámetro de 3.636 km. Su atmósfera está formada de dióxido de azufre, originado por su gran actividad volcánica.
- Europa, con un diámetro de 3.056 km. Posee una atmósfera de oxígeno procedente de su superficie formada por una inmensa capa de hielo. De ella se evapora agua, ésta por la acción de la luz del Sol se descompone en

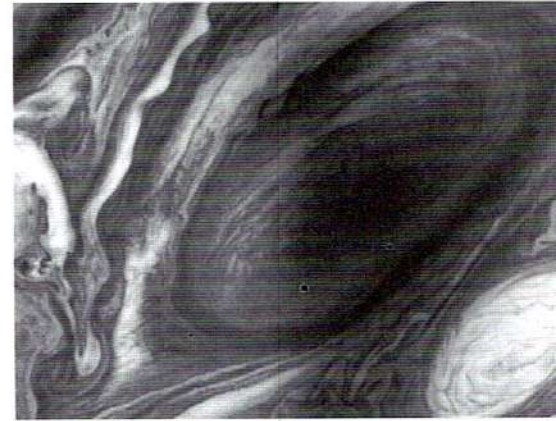


FIGURA 3.46. La gran mancha roja de Júpiter.

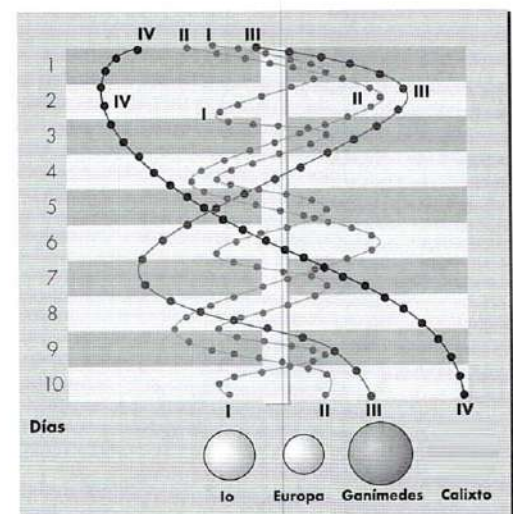


FIGURA 3.47. Los cuatro satélites galileanos de Júpiter. Posiciones de los satélites cada seis horas, durante diez días consecutivos (la banda vertical muestra la posición del planeta).



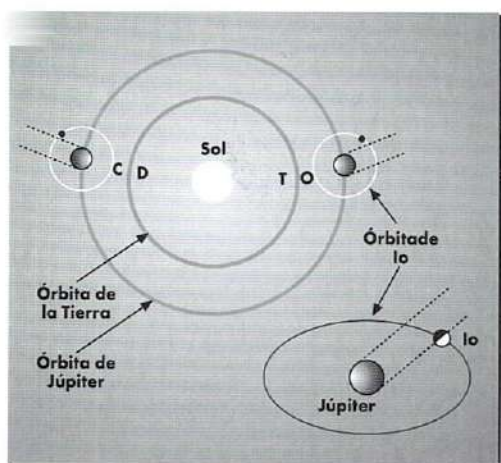
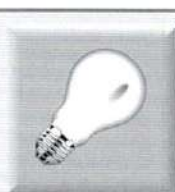


FIGURA 3.48. Eclipse del satélite Io observado desde la Tierra, provocado por el planeta Júpiter.

oxígeno e hidrógeno, este último elemento es muy ligero y no es retenido por la gravedad del satélite.

- Ganímedes, con un diámetro de 5.400 km.
- Calisto, con un diámetro de 4.820 km.

Júpiter ha sido fotografiado e investigado en 1973-1974 por las sondas espaciales Pioneer 10 y 11, posteriormente por las sondas Voyager 1 y 2 y recientemente, en 1995, ha sido fotografiado por la sonda espacial Galileo.



¿SABÍAS QUE...?

En 1676, el físico Röemer al observar los eclipses de los satélites de Júpiter, llegó a la conclusión de que la velocidad de la luz no era infinita, puesto que dichos eclipses se retrasaban cuando la distancia Tierra-Júpiter era grande y se adelantaban cuando dicha distancia era más pequeña. Hoy día sabemos que el valor exacto de la velocidad de la luz es 299.793.0 km/s. (ver fig. 3.48)



CUESTIONARIO

36. Sabiendo la masa de un cuerpo y su volumen (el de una esfera vale $\frac{4}{3}\pi R^3$) se puede averiguar la densidad de ese cuerpo. ¿Cuánto vale la de Júpiter?

SATURNO

Ocupa el sexto lugar del Sistema Solar y es el último de los planetas conocidos desde la antigüedad (ver fig. 3.49); ya en 1656, el astrónomo Huygens observó claramente sus famosos anillos. Éstos, observados desde nuestro planeta, cambian según las posiciones relativas de la Tierra y Saturno (ver fig.3.50).

En 1875 se descubrieron cuatro anillos, de los cuales el A y el B, separados por lo que se conoce como división de Casini, eran los más brillantes. Los anillos están formados por millones de partículas constituidas por un gas helado que no llega-

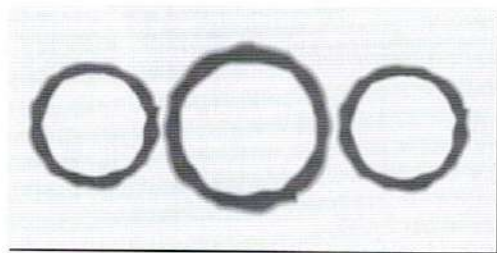


FIGURA 3.49. Dibujo de Saturno realizado por Galileo después de observarlo con su rudimentario telescopio.





ron a unirse al planeta o a sus satélites durante el proceso de formación (ver fig. 3.51).

Las visitas de la sondas espaciales Pioneer 11 en 1978 y Voyager 1 en 1980 han servido para descubrir más anillos y un total de 23 satélites; entre los más importantes señalaremos:

- Titán, con un diámetro de 5.150 km y una superficie de metano en estado sólido y líquido con una temperatura de -170°C , posee una atmósfera muy rica en nitrógeno y con pequeñas cantidades de metano, etano e hidrógeno, junto a compuestos orgánicos semejantes a los que habría en la Tierra hace 4.500 millones de años. Este satélite de Saturno fue descubierto en el siglo XVII por el físico holandés Huygens. Se espera que sea explorado por la sonda espacial del mismo nombre.
- Rea, con un diámetro de 1.530 km.
- Japeto, con un diámetro de 1.440 km.
- Tetis, con un diámetro de 1.050 km.
- Dione, con un diámetro de 1.120 km.

Saturno está situado a una distancia media de 1.427 millones de km (9,5 U.A.) del Sol. Su período de revolución alrededor de éste es de 29,5 años terrestres, y su órbita es una elipse de excentricidad 0,05, inclinada $2,4^{\circ}$ respecto de la eclíptica.

Saturno gira de oeste a este y su eje de giro está inclinado 26° respecto de la perpendicular al plano de su órbita. Su período de rotación es de 10,2 horas.

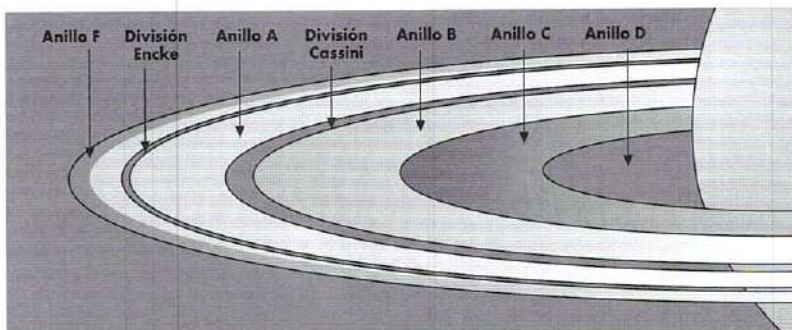


FIGURA 3.51. Nomenclatura de los anillos de Saturno y sus divisiones.

El planeta Saturno, con un diámetro ecuatorial de 120.000 km ($9,4D_{\text{Tierra}}$), es el segundo planeta en tamaño del Sistema Solar. Su masa es 95 veces la de la Tierra.

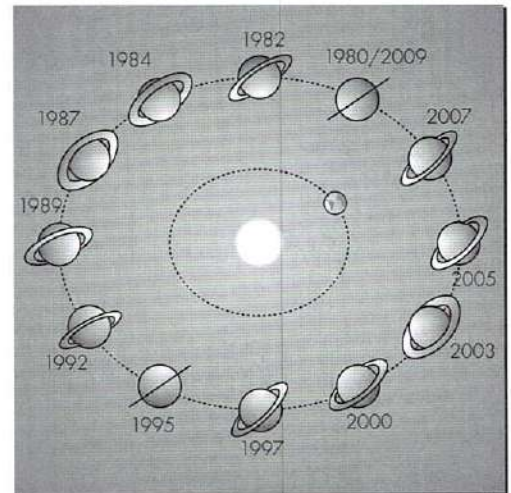


FIGURA 3.50. Posición de los anillos de Saturno, observados desde la Tierra, en distintos años.





FIGURA 3.52. Telescopio de Williams Herschel.

Tiene una estructura semejante a Júpiter, con un núcleo denso de silicatos y metales, rodeado de hidrógeno metálico, lo que crea un fuerte campo magnético alrededor del planeta. Cuenta con una espesa atmósfera de hidrógeno y helio nublada por amoníaco y metano. La temperatura exterior de Saturno es de unos -150°C y emite más energía calorífica que la que recibe del Sol.



CUESTIONARIO

37. Los anillos de Saturno se encuentran situados en el plano de su ecuador. ¿Cuál crees que es la razón de ello?

URANO

En 1757, el músico y astrónomo alemán Herschel descubrió el planeta Urano (fig. 3.52). Está situado a 2.870 millones de km del Sol (19,1 U.A.). Se mueve en una órbita elíptica de excentricidad 0,05, cuyo plano está inclinado apenas 1° respecto de la eclíptica, y tarda 84 años terrestres en completar una vuelta alrededor del Sol.

Urano rota sobre sí mismo en sentido este-oeste (retrógrado) y su ecuador se halla muy inclinado, como si el planeta hubiera volcado, 98° respecto de su órbita; tarda entre 16 y 28 horas en su rotación.

Urano tiene un diámetro ecuatorial de 52.000 km ($4D_{\text{Tierra}}$) y una masa de 14,5 veces la de la Tierra. Presenta una temperatura media de -170°C . Su estructura interna es semejante a la de Júpiter y Saturno, con un fuerte campo magnético. Es un planeta con una atmósfera rica en metano y nubes de amoníaco, hidrógeno y helio.

Urano posee un pequeño anillo y tiene 15 satélites, entre los que cabe destacar (fig. 3.53):

- Ariel, de 600 km de diámetro.
- Umbriel, de 400 km de diámetro.
- Titania, de 1.000 km de diámetro.
- Oberón, de 800 km de diámetro.
- Miranda, de 300 km de diámetro.

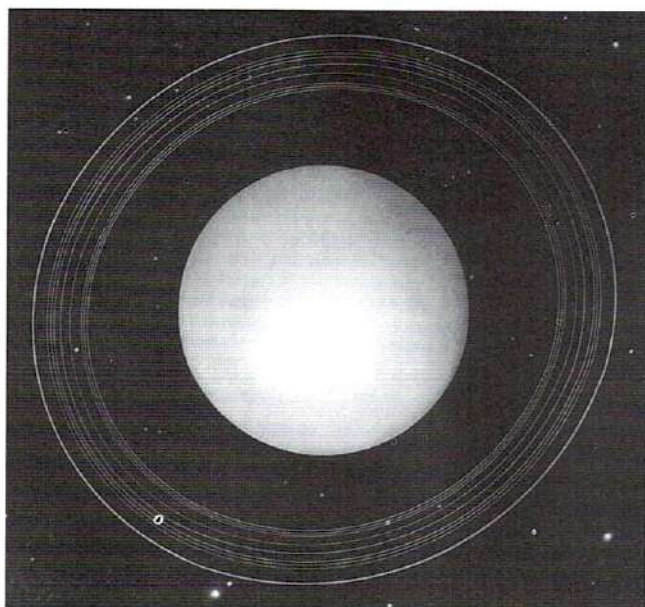


FIGURA 3.53. El planeta Urano y sus anillos.



CUESTIONARIO

38. ¿Cuál es la posible causa del "vuelco" de este planeta?
39. ¿Qué otro planeta rota en sentido retrógrado? ¿Cuál puede ser la causa?

NEPTUNO

Poco después del descubrimiento de Urano, los astrónomos Adams y Le Verrier, analizando el lento movimiento de este planeta, llegaron a la conclusión de que debía existir otro que le atrajera gravitacionalmente; por fin, en 1846 se descubrió el octavo planeta del Sistema Solar, Neptuno (fig. 3.54).

Este planeta está situado a una distancia media de 4.500 millones de km del Sol (30 U.A) y su período de revolución alrededor de éste es de 165 años terrestres. Su órbita es casi una circunferencia, con una excentricidad de 0,009. El plano de su órbita está inclinado 2° respecto de la eclíptica.

Neptuno rota en sentido oeste-este y su eje de giro está inclinado 29° (grados) respecto de la perpendicular al plano de su órbita; tarda entre 18 y 20 horas en dar una vuelta completa sobre sí mismo.

Neptuno tiene un diámetro ecuatorial de 48.400 km ($3,8 D_{\text{Tierra}}$) y una masa de 17,25 veces la de la Tierra, con una temperatura media de -228°C . Su composición es semejante a la de Júpiter, un núcleo de silicatos y metales que crean un fuerte campo magnético, rodeado de agua en estado líquido, y su atmósfera está compuesta de nubes de metano y amoníaco con hidrógeno y helio.

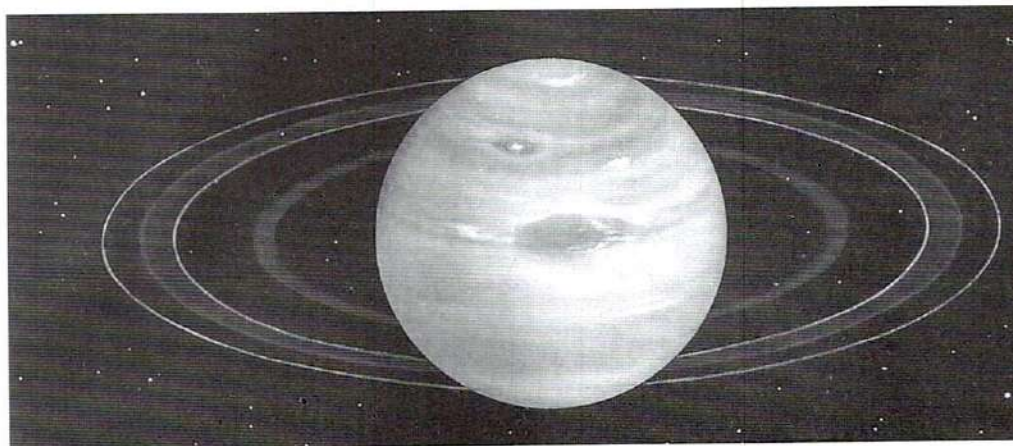


FIGURA 3.54. Neptuno y sus anillos.





CUESTIONARIO

40. Calcula el valor de la densidad de Neptuno.



CUESTIONARIO

41. Con los datos anteriores, calcula la velocidad de Plutón en torno al Sol suponiendo que su trayectoria es una circunferencia.

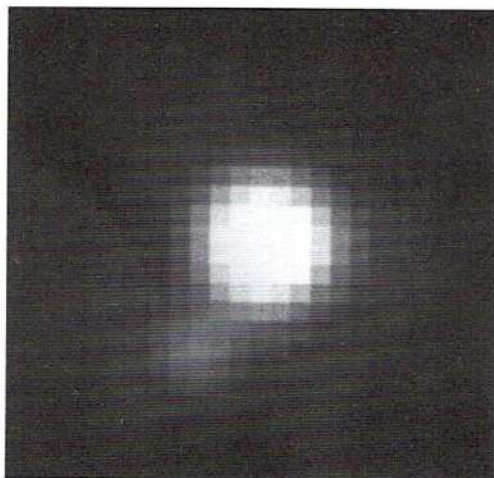


FIGURA 3.55. Plutón y Caronte, fotografiados desde un telescopio terrestre.

Este planeta tiene dos satélites importantes:

- Tritón, de 4.000 km de diámetro, que posee una atmósfera rica en nitrógeno.
- Nereida, de 300 km de diámetro.
- 6 satélites menores.
- 4 débiles anillos.

PLUTÓN

El último planeta del Sistema Solar es Plutón; fue descubierto en 1930 por Tombough, a partir de las irregularidades detectadas en la órbita de Neptuno (fig. 3.55).

Está situado a una distancia media de 5.900 millones de km del Sol (39,3 U.A.) y tarda 248 años terrestres en dar una vuelta a su alrededor. Su órbita es una acusada elipse con excentricidad de 0,25; está muy inclinada, 17° respecto de la eclíptica.

El planeta Plutón rota en sentido oeste-este, su eje de giro está bastante inclinado, 50° respecto de la perpendicular al plano de su órbita, y su período de rotación es de 6,3 días terrestres.

Este planeta tiene un diámetro ecuatorial de sólo 3.000 km ($0,23 D_{\text{Tierra}}$), lo que lo convierte en un cuerpo celeste más pequeño que muchos satélites del Sistema Solar. Su masa es 0,10 veces la de la Tierra. El planeta Plutón es rocoso y muy frío, con una temperatura media de -230°C .

Tiene un único satélite, Caronte, descubierto en 1978, que gira en un plano perpendicular al de la órbita de Plutón. Su diámetro es de 1.200 km y se halla a 17.000 km del planeta.



¿SABÍAS QUE...?

Las peculiares características de Plutón y su satélite Caronte han hecho emitir la hipótesis de que, en realidad, sea un sistema de dos planetas capturados por la atracción gravitatoria del Sistema Solar después de su formación.





8. COMETAS, METEOROS Y METEORITOS

COMETAS

Aristóteles y Ptolomeo mantenían que los cometas eran fenómenos que se producían en la alta atmósfera, que para ellos llegaba hasta la Luna. Los cometas eran clasificados según este criterio:

- Cometas con cola, que podían tener las siguientes formas: "corta y en punta", de "antorcha encendida" y de "crin de caballo".
- Cometas sin cola, que podían ser de "cabeza rodeada de una nebulosa" o de "cabeza con punta en la parte frontal".

Esta clasificación, aunque poco científica, nos sirve a nivel visual. Pero en la actualidad sabemos que los cometas están formados por un núcleo o cabeza, con un diámetro pequeño, entre 1 y 100 km, y una masa también pequeña, entre 1.011 y 1.015 kg, y una nebulosa llamada coma o cabellera (ver fig. 3.58 bis). El núcleo es sólido y se compone de partículas de polvo, férreas y de hielo. El coma sólo se manifiesta cuando el cometa se acerca al Sol, en ese momento la radiación y el viento solar evaporan los gases helados de la cabellera del cometa, compuesta de amoníaco, metano y monóxido de carbono, junto a moléculas de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno.

Los cometas se mueven en torno al Sol, describiendo órbitas abiertas y cerradas (ver fig. 3.56). Estas últimas corresponden a cometas que periódicamente se acercan al Sol, siguiendo órbitas elípticas de enorme excentricidad y que están muy inclinadas respecto de la eclíptica (ver fig. 3.57).

La gran cantidad de planetas con trayectorias elípticas alrededor del Sol nos lleva a la conclusión de que son cuerpos celestes que pertenecen a nuestro Sistema Solar y que provienen de una zona del espacio situada a 150.000 U.A. ($2,25 \cdot 10^{13}$ km) del Sol conocida como nube cometaria de Oort.

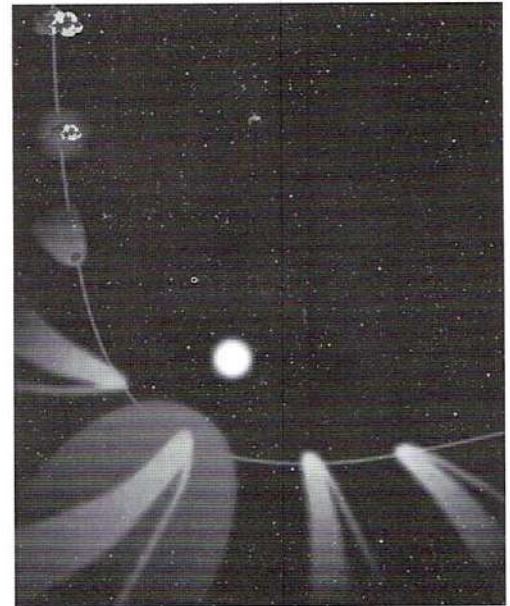


FIGURA 3.58 BIS. Desarrollo de la cola de un cometa al aproximarse al Sol.

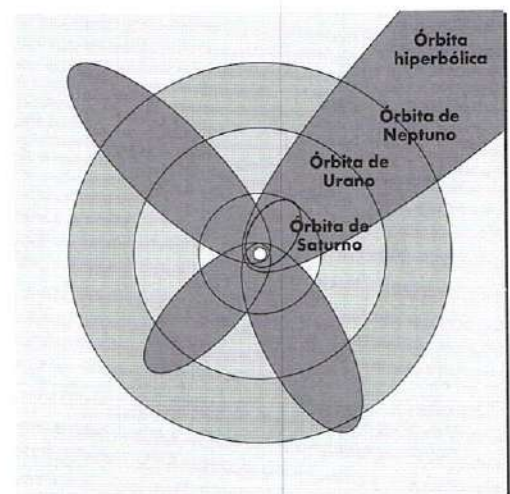
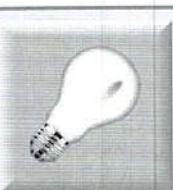


FIGURA 3.56. Órbitas de cometas con gran excentricidad, dibujadas sobre un plano.



¿SABÍAS QUE...?

A veces, la órbita de los cometas alrededor del Sol les lleva cerca de algún planeta gigante que les hace variar su trayectoria y su periodicidad, por efecto de la atracción gravitatoria de dicho planeta, llegando incluso a estrellarse contra él, como sucedió en 1995 con el cometa Shoemaker-Levy, que se estrelló contra el planeta Júpiter.



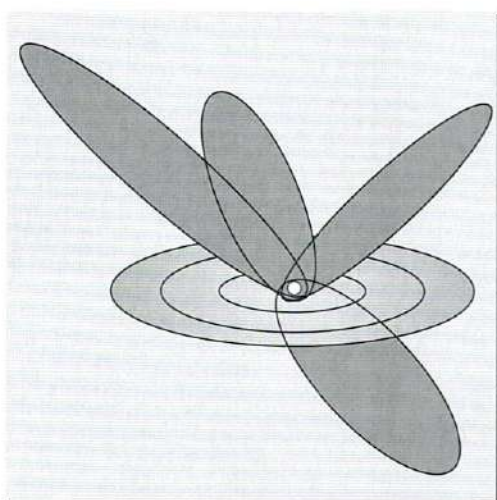


FIGURA 3.57. Órbitas de cometas, con distintas inclinaciones sobre el plano de las órbitas planetarias.

La teoría de que los cometas no eran fenómenos producidos en la alta atmósfera se debe a Tycho Brahe. El físico inglés Edmund Halley postuló que giraban periódicamente en torno al Sol al descubrir que los avistamientos detectados en 1682, 1607 y 1531 podían ser el mismo cometa, ya que sus coordenadas celestes eran semejantes. Utilizó los conceptos de la mecánica de su amigo Isaac Newton para calcular su trayectoria y predecir que la próxima aparición del cometa se produciría en 1758, con un cierto retraso por el efecto de las atracciones gravitatorias de Júpiter y Saturno. Como él no viviría para dicha fecha, encargó a los astrónomos que realizaran las observaciones requeridas; en efecto, la noche de Navidad de 1758 se avistó el cometa tal como lo había predicho, por lo que fue bautizado con su nombre.

Del cometa Halley (ver fig. 3.58) se tiene noticias desde el año 467 a.C., y desde el año 87 a.C. ha sido registrada su presencia, la última vez se produjo en el año 1986, cuando fue estudiado en profundidad por cinco sondas espaciales bautizadas con los nombres de Giotto, Sakigake, Suisei, Vega 1 y Vega 2.

Los cometas que más veces han sido observados son los siguientes:

Cometa	Nº observaciones	Período (años)
Encke	52	3,3
Halley	29	76
Pons-Winnecke	18	6,3
Faye	17	7,3
Tempel	16	5,2



FIGURA 3.58. Dibujo en el año 60 d.C. del cometa Halley sobre Jerusalén.



CUESTIONARIO

42. ¿Calcula el período del cometa Halley? ¿Cuándo volverá a ser visible desde la Tierra?
43. Algunos historiadores mantienen la teoría de que la estrella que guió a los Reyes Magos hacia Belén para agasajar a Jesús de Nazareth fue el cometa Halley, ¿lo crees posible? Razónalo.
44. ¿Por qué un cometa periódico se ve menos brillante cada vez que pasa cerca de la Tierra?



METEOROS Y METEORITOS

Un meteorito es aquel fenómeno luminoso que se observa sobre el cielo nocturno o el fenómeno que se detecta mediante radar; se le conoce también con el nombre de estrella fugaz. Si el meteorito es muy brillante y más duradero recibe el nombre de bólido. Los meteoritos son los cuerpos que atraviesan la atmósfera terrestre, llegando incluso a impactar con la superficie.

Hasta el siglo XIX se pensaba que su origen era atmosférico, es decir, terrestre. Hoy día sabemos que su origen es ajeno a la Tierra. Los meteoros son cuerpos sólidos, restos de algún asteroide, cometa o de materia interplanetaria, que viajan a unos 30 km/s; al chocar con la atmósfera terrestre se ponen incandescentes, lo que los hace visibles a simple vista, y se evaporan.

Los meteoros pueden aparecer aislados (estrellas fugaces) o en grupo (lluvia de estrellas). Las lluvias de estrellas se observan cada año sobre la misma fecha y reciben los nombres de la constelación delante de la cual se hacen visibles. Por esta razón, se supone que la materia que da lugar a la lluvia de estrellas gira en una órbita alrededor del Sol que cada año se cruza con la órbita terrestre (ver fig. 3.59).

A continuación se indican las características de las principales lluvias de estrellas:

Nombre	Constelación donde se observan	Fechas de observación	Número de meteoros
Cuadrántidas	Bootes	hacia el 4 de enero	unos 110
Perseidas	Perseo	hacia el 12 de agosto	unos 68
Geminidas	Géminis	hacia el 12 de diciembre	unos 58

Las estrellas fugaces tienen una masa entre 0,002 y 2 gramos, y miden entre 0,1 y 1 cm. Los bólidos tienen mayor masa y tamaño. Se calcula que sobre la Tierra incide cada día entre 1.000 y 10.000 toneladas de materia procedente de meteoros.

Los meteoritos son cuerpos rocosos de tamaño y masa muy variados (ver fig. 3.60), cuando atraviesan la atmósfera y



FIG. 3.59. Meteoros en la Leónidas.



FIGURA 3.60. Fragmento de meteorito.



caen sobre la superficie terrestre pueden producir grandes cráteres y consecuencias ecológicas graves. Así, los mayores cráteres son (ver fig. 3.61):

FECHA	LUGAR	DIÁMETRO DEL CRÁTER
Hace 15 millones de años	Nördlinger (Alemania)	25 km
Hace 20.000 años	Arizona (EE UU)	1,2 km
En 1908	Tunguska (Siberia)	Arrasó un bosque de 80 km



FIGURA 3.61. Principales impactos de meteoritos en la Tierra.

Algunos meteoritos albergan fósiles microscópicos y compuestos químicos, que son la base de la vida. La polémica sobre ellos no se ha extinguido y así, algunos científicos opinan que esos fósiles y compuestos son producto de la contaminación del meteorito después de caer sobre la Tierra. En cambio, otros científicos mantienen que los meteoritos llevaban consigo dichos compuestos químicos antes de caer sobre la Tierra y que, una vez en ella, se originó la vida.

El científico norteamericano Walter Álvarez y otros mantienen que la desaparición de los dinosaurios de la Tierra está relacionada con la caída de un gigantesco meteorito que originó una enorme nube de polvo que cubrió la atmósfera durante años y produjo un importante cambio climático. Sus estudios se centran en demostrar que ese gigantesco impacto produjo el actual golfo de México.



CUESTIONARIO

45. Observa el cielo nocturno durante cinco minutos, mirando hacia el sureste cerca del cenit. ¿Cuántas estrellas fugaces has visto?





9. TALLER



9.1. Aplicaciones de la energía solar

El Sol constituye para la humanidad una fuente de energía inagotable y no contaminante. Numerosos países comienzan a aprovechar este recurso energético, aunque desgraciadamente su uso todavía no es todo lo generalizado que sería de desear por razones económicas y políticas.

En los laboratorios de física de los institutos se puede disponer de una pequeña placa solar (ver fig. 3.62), con ella se pueden realizar una serie de experiencias que nos permitan observar las aplicaciones de la energía solar, por ejemplo:

- Las placas solares suelen venir conectadas a un pequeño motor de corriente continua que mueve una pequeña hélice. Comprueba la eficacia de la placa haciendo que incida en ella la luz solar.
- Intenta medir, con ayuda de un voltímetro, la diferencia de potencial de dicha placa.
- A continuación, puedes montar un sencillo circuito eléctrico con la placa iluminada por la luz del Sol, que hace las veces de una pila, una bombillas de 1,5 voltios y un interruptor; cierra el circuito y observa.

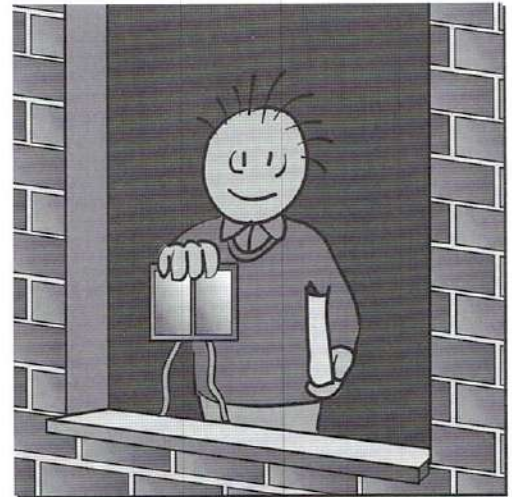


FIGURA 3.62. Alumno sujetando una placa solar.



CUESTIONARIO SOBRE LA ACTIVIDAD

- A. Si el día está nublado, ¿qué sucede?
- B. Si quisieras montar un circuito en paralelo, ¿cómo deberías operar? Realiza un esquema del circuito.

9.2. La cara oculta de la Luna

La Luna gira alrededor de la Tierra, para lo cual emplea 27 días 7 horas y 43 minutos, exactamente el mismo tiempo que tarda en dar una vuelta sobre sí misma. Este hecho, originado por



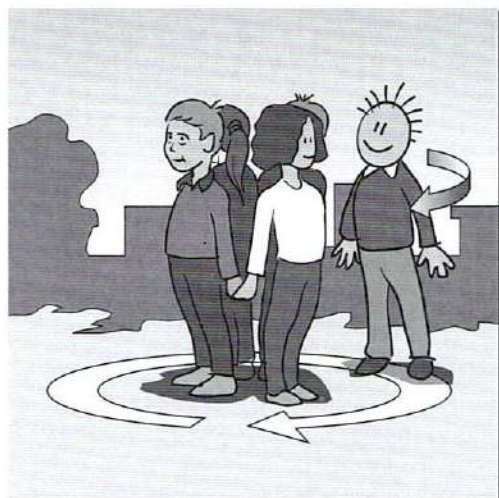


FIGURA 3.63. Grupo de alumnos y alumnas simulando la rotación de la Luna alrededor de la Tierra.

efecto de la atracción gravitatoria terrestre, hace que desde la Tierra siempre veamos la misma cara de la Luna.

Un sencillo modelo nos puede ayudar a observar este fenómeno. Para ello, cuatro alumnos con sus brazos entrelazados representarán el papel de la Tierra, mientras que otro alumno será la Luna. Este último empezará a girar alrededor de los otros que, a su vez, rotarán en el mismo sentido, de forma que nunca podrán observar la parte posterior de su compañero que hace de Luna (ver fig. 3.63).

Realiza esta simulación despacio y fíjate bien en las referencias.



CUESTIONARIO SOBRE LA ACTIVIDAD

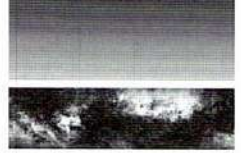
- A.** Al cabo de media vuelta, ¿ha girado la Luna sobre sí misma? Explicalo.

9.3. Simulador de eclipses

Los eclipses de Luna se producen cuando ésta, en fase de Luna llena, se coloca en una posición en la que la sombra de la Tierra impide que sea iluminada por el Sol. Cuando se oculta una parte de la Luna, se dice que el eclipse es parcial, y cuando se oculta toda, es un eclipse total. A veces, la Luna sólo recibe una parte de la luz solar, entonces se tiene un eclipse de penumbra.

Los eclipses de Sol se producen cuando la Luna se coloca entre aquél y la Tierra. También pueden ser totales o parciales. A veces, sólo se oculta la zona central del Sol, lo que se conoce como eclipse solar anular.

Los eclipses no se producen cada mes lunar debido a la inclinación del plano de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra; este hecho hace que la Luna pase por encima o por debajo del plano de la órbita terrestre alrededor del Sol, impidiendo el eclipse.



Para construir un modelo (ver fig. 3.64) que represente los eclipses deberemos tener en cuenta los tamaños y distancias entre la Tierra y la Luna, según la siguiente tabla:

Diámetro de la Tierra	12.757 km	3 cm
Diámetro de la Luna	3.476 km	0,8 cm
Distancia Tierra-Luna	384.000 km	90,4 cm

NECESITAS:

- Un listón de madera de 1 metro, con una sección de 2x1 cm.
- Una esfera de 3 cm de diámetro y otra de 0,8 cm, de porexpan o de plastelina.
- Dos clavos.
- Coloca a unos 5 cm de un extremo del listón el clavo donde pincharás la esfera que representa a la Tierra. Marca la distancia Tierra-Luna a escala y clava en esa posición el clavo donde colocarás la Luna.

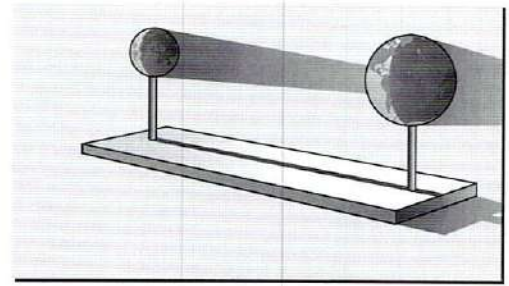


FIGURA 3.64. Simulador de eclipses.

¿CÓMO SE USA?

Para simular el eclipse basta con sujetar la maqueta ante la luz del Sol, procurando que la sombra de la Tierra oculte la esfera de la Luna; de esta forma habrás simulado un eclipse lunar. Si le das la vuelta conseguirás que la sombra de la Luna se proyecte sobre la esfera de la Tierra, obteniendo un eclipse solar.

9.4. ¿Cómo calcular el tamaño de la Luna?

En una noche de Luna llena coges una regla graduada con la mano, estiras el brazo y mides el diámetro aparente del disco lunar (ver fig. 3.65). Sabiendo la distancia media Tierra-Luna, 384.000 km, y midiendo la distancia entre tus ojos y la regla puedes calcular el diámetro real de la luna aplicando el teorema de Tales. Suponiendo que la Luna es una esfera perfecta, ¿qué volumen tendría?

9.5. Construcción de un mural del Sistema Solar

NECESITAS:

- Tres cartulinas de 50 x70 cm o 2 m de papel continuo.
- Plastelina de colores.

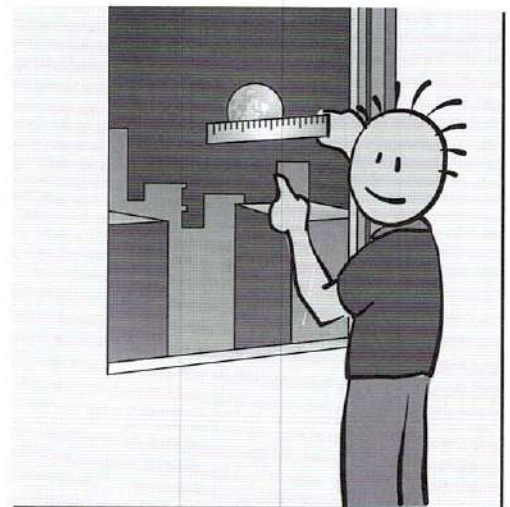


FIGURA 3.65. Alumno midiendo el diámetro aparente de la Luna llena.



- Regla de 50 cm y compás.
- Lápiz, goma y lápices de colores.

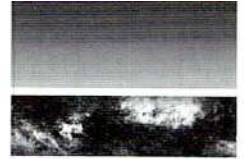
Sigue las instrucciones:

- Antes de realizar su construcción deberás hacer algunos cálculos sobre el Sistema Solar. En la tabla 1 dispones de las distancias reales desde el Sol a cada planeta en millones de km. Obviamente, deberemos utilizar una escala apropiada para construir nuestro mural; tomaremos la escala 1 cm de vuestro mural, que corresponde a 30 millones de km.
- Completa la tabla 1 utilizando dicha escala. Para comprobar que lo haces bien, te daremos un resultado: la distancia a escala de la Tierra al Sol valdría 5.

PLANETA	DISTANCIA REAL (millones de km)	DISTANCIA A ESCALA (cm)
Sol		
Mercurio	58	
Venus	108	
Tierra	150	5
Marte	228	
Júpiter	775	
Saturno	1.427	
Urano	2.870	
Neptuno	4.497	
Plutón	5.914	

- Traza una línea de dos metros por el centro del papel continuo o de las tres cartulinas unidas. Señala en ella las distancias a escala obtenidas en la tabla 1, que representan las distancias al Sol de cada planeta.
- Traza con un compás las circunferencias que corresponden a la órbita de cada planeta.

A continuación vemos la tabla 2 para los tamaños de cada planeta. La escala que utilizaremos será 1 cm del mural, que corresponde a 10.000 km de la realidad.



- Completa la otra columna de la tabla utilizando correctamente la escala. Una pista: el diámetro de Venus a escala vale 1,2 cm.

PLANETA	DIÁMETRO REAL (miles de km)	DISTANCIA A ESCALA (cm)
Sol	1392,5	
Mercurio	4,9	
Venus	12,1	1,2
Tierra	12,8	
Marte	6,8	
Júpiter	142,8	
Saturno	120	
Urano	52	
Neptuno	48,4	
Plutón	3,0	

Con plastelina de distintos colores, de acuerdo a las características físicas de cada planeta, realiza esferitas cuyo diámetro sea el de la tabla 2. Colócalas en su órbita correspondiente.

9.6. Modelo de cráteres por impacto de meteoritos

Vamos a simular cómo se produjeron los cráteres de la superficie de cuerpos como la Luna o Mercurio, producidos por el impacto de meteoritos.

NECESITAS:

- Una bandeja pequeña.
- Harina.

Procede según las siguientes instrucciones:

Cubre la bandeja con 2 o 3 cm de harina, alísala con una regla. A continuación, coge una cucharilla con algo de harina y déjala caer poco a poco sobre la bandeja desde distintas alturas, por ejemplo, desde 0,5, 1, 1,5 y 2 m de altura. Hazlo despacio y fijándote en las huellas que produces (ver fig. 3.66).

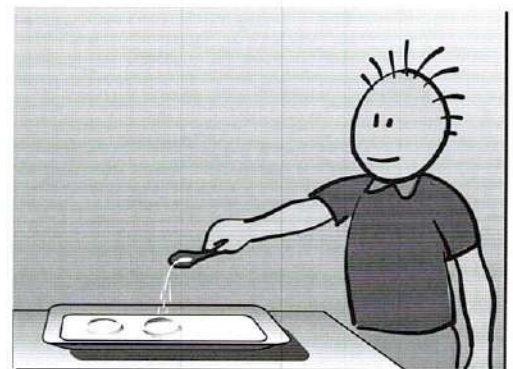


FIGURA 3.66. Alumno produciendo cráteres por impactos.

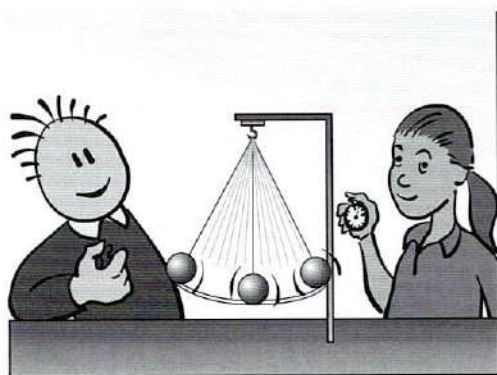


FIGURA 3.67. Alumnos midiendo el periodo de un péndulo en movimiento.

Puedes repetir la experiencia dejando caer azúcar y granos de arroz desde esas mismas alturas, sobre la superficie.

9.7. Cálculo de la aceleración de la gravedad con un péndulo

La ecuación que relaciona el período de un péndulo con la longitud del mismo es: $T^2 = 4\pi^2 L / g$, siendo:

T = el periodo de un péndulo, es decir, el tiempo que tarda en una oscilación (ida y vuelta).

L = la longitud del péndulo.

π = el número 3,1415...

g = la aceleración de la gravedad terrestre.

Necesitarás material que puedes encontrar en el laboratorio de física de tu centro.

- Soporte de mesa.
- Varilla metálica larga.
- Nuez doble.
- 1,5 m de cuerda fina.
- Esfera de acero con gancho.
- Metro metálico de 2 m.
- Cronómetro.
 - Mide la longitud de la cuerda y anótala en la tabla de abajo. Separa, ligeramente, el peso de la vertical y suéltalo al tiempo que disparas el cronómetro (ver fig. 3.67).
 - A las diez oscilaciones paras el cronómetro y anotas el tiempo.

Repite la experiencia con tres longitudes distintas, despeja el valor de g en la ecuación dada y realiza las operaciones que te indican en la primera línea de la tabla:

L (en m)	t (en s)	$T = t/10$ (en s)	T^2 (en s^2)	g (en m/s^2)



**CUESTIONARIO SOBRE LA ACTIVIDAD**

- A. Halla el valor medio de los valores de g obtenidos y comenta el resultado con tus compañeros y el profesor.
- B. ¿Coincide con el valor teórico que viene en los libros?
- C. ¿Qué significado tiene dicho valor?

9.8. Observación nocturna de Venus, Marte y Júpiter

La visualización a simple vista de los planetas del Sistema Solar no es sencilla. Sin embargo es posible observarlos si, en una noche con poca Luna y siempre lejos de focos de contaminación luminosa, tienes en cuenta que la luz de los planetas no parpadea y que éstos siguen la eclíptica, línea de la bóveda celeste que puedes trazar mentalmente ayudándote de los puntos este, oeste y la posición de la Luna. De esta forma podrás observar:

- Venus. Se puede ver durante varias horas después del ocaso del Sol o antes de su orto, dependiendo de la posición relativa entre el Sol, la Tierra y dicho planeta; por esta razón se le conoce con el nombre de “lucero del atardecer” o “lucero del alba”. El brillo de Venus es grande.
- Marte. Es más complicado de observar; deberás consultar alguna revista de astronomía que te indique su posición sobre la bóveda celeste, su brillo y la hora a la que se puede observar mejor (ver fig. 3.68). Ten en cuenta que presenta un tono rojizo-anaranjado.
- Júpiter. Igual que con el anterior, deberás consultar alguna revista especializada. Es posible observar los satélites galileanos de Júpiter con ayuda de unos buenos prismáticos.
- Saturno. Consulta su posición en alguna revista especializada. Es posible que puedas observar sus anillos con la ayuda de unos buenos prismáticos.



	NEPTUNO	6:34	16:10	19h50m58s	-20°29'46"	15°33'20"	1,000	31,1123	1
		5:40	15:18	19h53m04s	-20°24'14"	29°13'59"	1,000	31,0220	15
		6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	29
	URANO	6:56	16:34	20h14m03s	-20°25'09"	10°15'03"	1,000	20,7206	1
		6:04	15:43	20h17m22s	-20°14'44"	23°37'37"	1,000	20,6547	15
		5:11	14:51	20h20m26s	-20°04'59"	36°59'41"	1,000	20,5381	29
	SATURNO	9:19	20:48	23h33m01s	-5°08'15"	40°25'03"	0,999	10,3205	1
		8:27	20:01	23h38m38s	-4°30'55"	27°47'46"	0,999	10,4500	15
		6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	29
	JUPITER	5:21	14:37	18h27m12s	-23°05'00"	35°08'46"	0,997	6,0279	1
		4:37	13:54	18h39m20s7	-22°56'25"	46°31'58"	0,995	5,8783	15
		3:53	13:11	18h50m16s	-22°45'47"	58°06'53"	0,994	5,6984	29
	MARTE	7:52	18:04	21h25m18s	-16°17'47"	7°13'33"	0,998	2,3560	1
		7:26	18:05	22h08m24s	-12°35'28"	4°10'15"	0,999	2,3647	15
		6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	29
	VENUS	9:12	20:48	23h26m04s	-4°44'04"	38°57'11"	0,758	1,1383	1
		8:51	21:17	0h25m51s	-2°34'47"	41°22'20"	0,712	1,0469	15
		8:30	21:45	1h24m28s	-9°43'25"	43°27'38"	0,660	0,9497	29
	MERCURIO	6:01	15:45	1h21m54s	-19°35'19"	22°16'16"	0,353	0,7972	1
		5:56	15:37	20h08m12s	-20°11'10"	25°42'33"	0,660	1,0343	15
		6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	6:34	29

FIGURA 3.68. Tablas para la observación de planetas.

- Los demás planetas no son visibles a simple vista; si quieres observarlos deberás utilizar un buen telescopio y consultar su posición en alguna revista de astronomía. Mercurio se observa, al igual que Venus, al atardecer o al amanecer, pero su cercanía al Sol impide su visión con facilidad. Urano y Neptuno están demasiado alejados de la Tierra para poder ser observados a simple vista. Plutón es difícilmente observable incluso con un buen telescopio, al estar muy alejado de nosotros y tener un tamaño muy pequeño.

9.9. Movimiento anual de los planetas

Como ya debes saber, planeta es una palabra griega que significa estrella errante. A continuación tienes una tabla



(ver tabla 1) donde aparecen las coordenadas ecuatoriales (ascensión recta y declinación) de los cuatro planetas más fácilmente observables desde la Tierra: Venus, Marte, Júpiter y Saturno. No obstante, tu profesor te dará dichas coordenadas, que aparecen en las revistas especializadas o en el Anuario Astronómico. También dispones de un gráfico donde se representan las constelaciones próximas a la eclíptica, las denominadas zodiacales. Observa que aparecen una serie de valores en el eje horizontal, la ascensión recta, y otros valores positivos o negativos en el eje vertical, la declinación (ver fig. 3.68 bis).

Lo más correcto es que representes dos de estos planetas, uno cercano al Sol y otro más alejado, por ejemplo Marte y Saturno, y que tu compañero haga lo mismo con Venus y Júpiter. Emplea colores diferentes para cada uno de ellos. Debes ser muy cuidadoso al representar los distintos puntos 1, 2, 3... y unirlos posteriormente con el color elegido. Al cabo de algunos meses podrás sacar algunas conclusiones. Lo más adecuado es que Venus y Marte los representéis cada 10 días, y Júpiter y Saturno, cada 20 días.

COORDENADAS DE LOS PLANETAS. AÑO 1997

	Día	Venus		Marte		Júpiter		Saturno	
		A. Rec.	Dec.	A. Rec.	Dec.	A. Rec.	Dec.	A. Rec.	Dec.
1	8-9	13h 33m	-10° 10'	14h 52m	-17° 23'	21h 05m	-17° 43'	1h 15m	5° 01'
2	18-9	14h 17m	-14° 49'	15h 19m	-19° 19'				
3	28-9	15h 01m	-18° 57'	15h 47m	-21° 02'	21h 00m	-18° 04'	1h 10m	4° 28'
4	8-10	15h 47m	-22° 23'	16h 17m	-22° 28'				
5	18-10	16h 34m	-24° 56'	16h 48m	-23° 35'	21h 00m	-18° 03'	1h 04m	3° 51'
6	28-10	17h 21m	-26° 30'	17h 20m	-24° 20'				
7	7-11	18h 07m	-27° 01'	17h 53m	-24° 40'	21h 05m	-17° 39'	0h 59m	3° 20'
8	17-11	18h 50m	-26° 31'	18h 26m	-24° 34'				
9	27-11	19h 28m	-25° 09'	18h 59m	-24° 00'	21h 15m	-16° 55'	0h 55m	3° 01'
10	7-12	19h 58m	-23° 08'	19h 33m	-23° 00'				
11	17-12	20h 18m	-20° 47'	20h 06m	-21° 33'	21h 27m	-15° 52'	0h 54m	2° 58'
12	27-12	20h 24m	-18° 27'	20h 38m	-19° 43'				



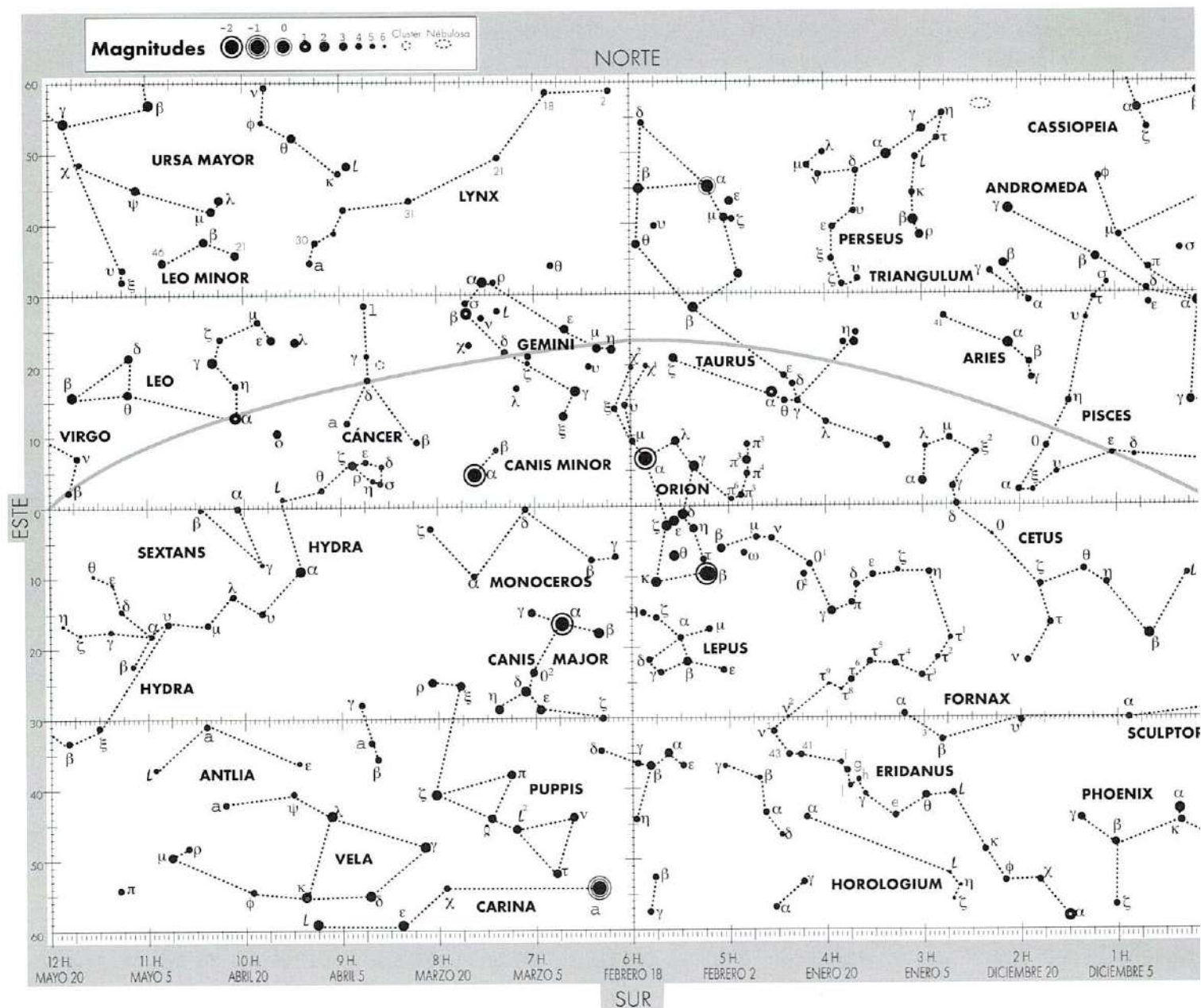
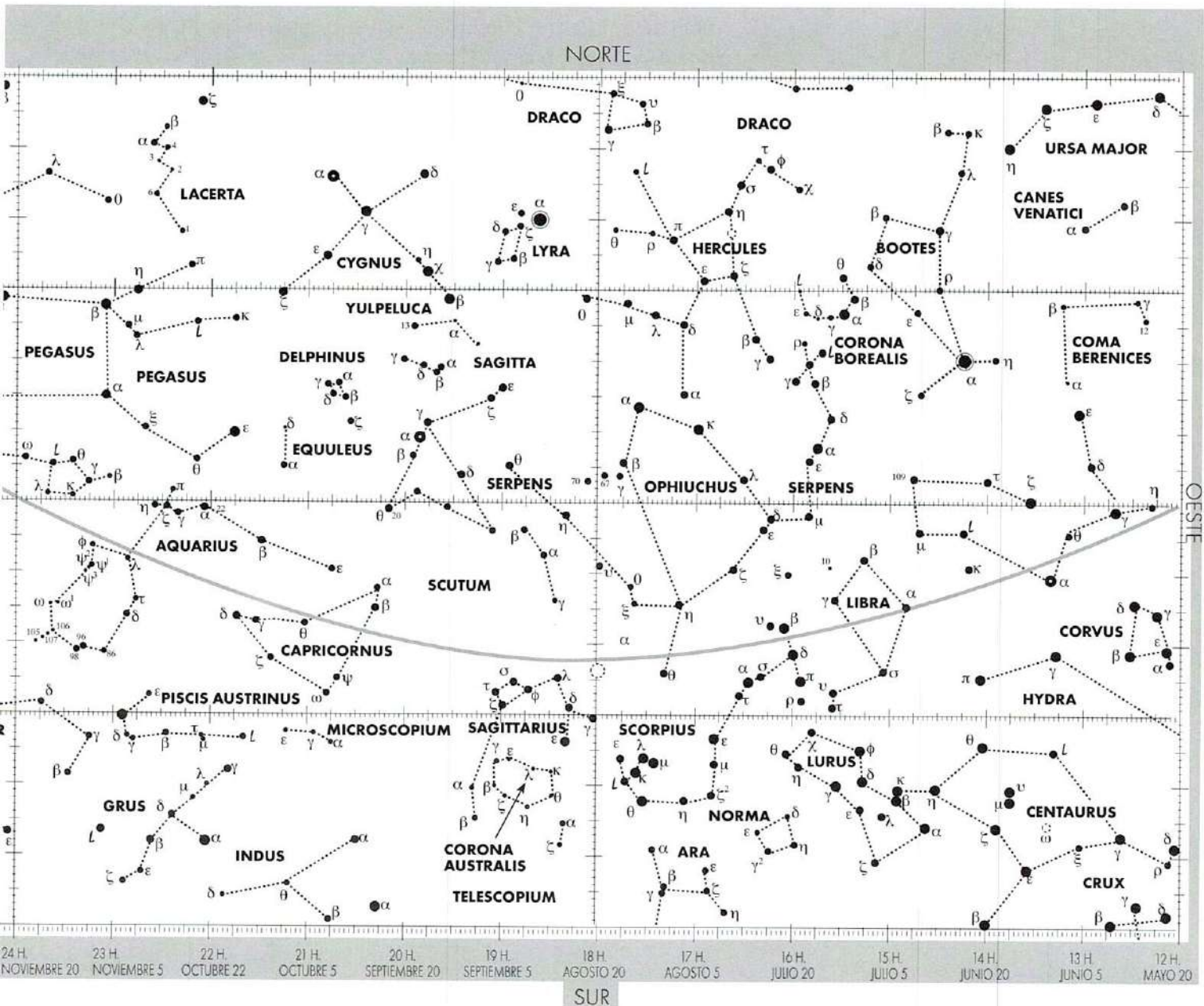
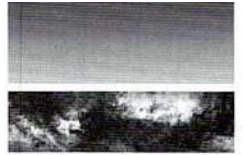


FIGURA 3.68 BIS. Mapa de la bóveda celeste con la eclíptica para la observación de planetas.





9.10. Piensa como un astronauta

La NASA (Agencia Espacial Norteamericana) planteó un sencillo test para averiguar si una persona puede ser un futuro astronauta. Este test consiste en imaginar que, viajando en una nave espacial, “naufra” sobre la superficie de la Luna. ¿Qué cosas básicas de la siguiente lista llevarías contigo para resistir hasta un posible rescate?

Señala cuáles cogerías y cuáles no indicando el porqué.

OBJETO	SÍ	NO	PORQUE...
Caja de cerillas			
Comestible concentrado			
20 m de soga de nailon			
Tela de seda del paracaídas			
Dos pistolas de calibre 45			
Una caja de leche en polvo			
Dos bombonas de oxígeno de 50 kg			
Un mapa de la Luna			
Un bote salvavidas			
Una brújula			
25 litros de agua			
5 bengalas			
Botiquín de primeros auxilios			
Una radio emisora-receptora			
¿Alguna otra cosa?			
TOTAL			



9.11. Resumen del Sistema Solar

A continuación, resume las características de los planetas con ayuda de los datos de la Unidad 3.

DATOS ORBITALES

Planeta	Distancia al Sol (millones de km)	Período de traslación (años)	Período de rotación	Satélites
Mercurio				
Venus				
Tierra				
Marte				
Júpiter				
Saturno				
Urano				
Neptuno				
Plutón				

DATOS FÍSICOS

Planeta	Anillos	Inclinación de su eje (°)	Excentricidad de su órbita	Inclinación del plano de su órbita (°)
Mercurio				
Venus				
Tierra				
Marte				
Júpiter				
Saturno				
Urano				
Neptuno				
Plutón				

Planeta	MASA ($M_{\oplus}$)	DIÁMETRO ($D_{\oplus}$)	DENSIDAD (g/cm^3)	ATMÓSFERA
Mercurio				
Venus				
Tierra				
Marte				
Júpiter				
Saturno				
Urano				
Neptuno				
Plutón				



10. APÉNDICE: ASTRONÁUTICA

El mito de Icaro, del que oíste hablar en la Unidad 1, perduró en la mente de personas como Leonardo da Vinci (1452-1519), que durante el Renacimiento italiano diseñó y construyó una máquina de volar (ver fig. 3.69).

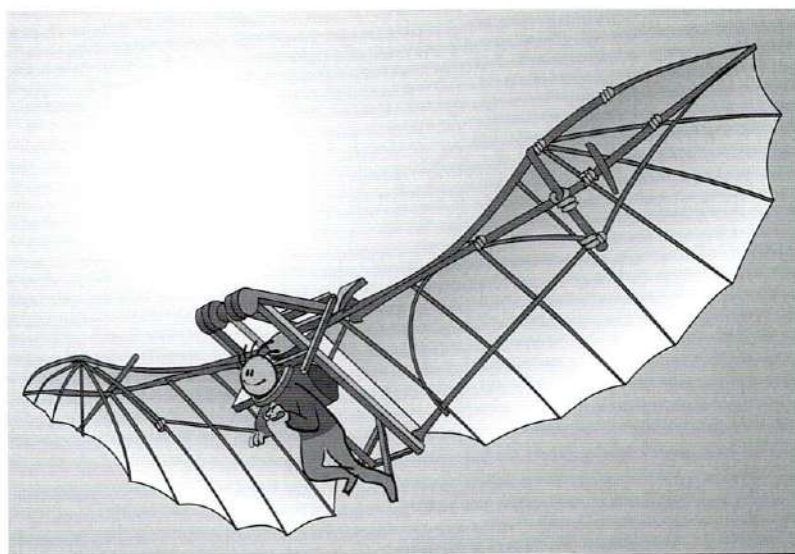


FIGURA 3.69. Intento de vuelo del prototipo de Leonardo da Vinci.

Sin embargo, la humanidad tuvo que esperar hasta 1902, fecha en la que los hermanos Whright consiguieron elevarse durante 12 segundos y recorrer 37 metros con su prototipo de avión (ver fig. 3.70). Es el comienzo de la

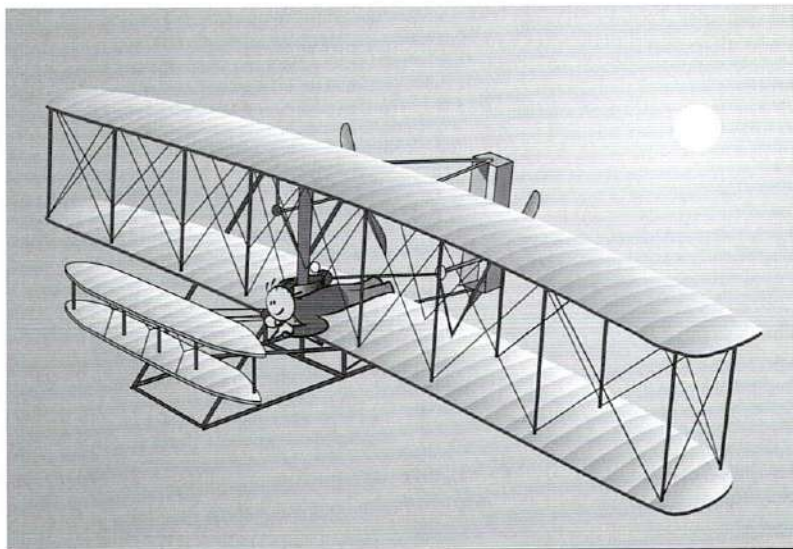


FIGURA 3.70. El primer avión de los hermanos Whright.

aeronáutica, que se desarrolló con profusión a partir de la segunda mitad del siglo XX.

Muchos fueron los escritores que viajaron a la Luna o los planetas en sus libros de ciencia-ficción. Hasta que en 1957 los rusos lograron poner en órbita alrededor de la Tierra el primer satélite artificial de la historia, el Sputnik I, cuyo tamaño no era mayor que un balón de fútbol. Es el comienzo de la astronáutica.



FIGURA 3.71. Yuri Gagarin, astronauta soviético.

En 1961, el astronauta ruso Yuri Gagarin se convirtió en el primer ser humano que observaba la Tierra desde el espacio exterior, dando tres vueltas a su alrededor en un vuelo que duró algunas horas (fig. 3.71).

En esa década de los años 60 se desarrollaron los programas de vuelos espaciales tripulados Géminis (norteamericanos) y Vostok (rusos). Por fin, a través del programa norteamericano Apollo, la tripulación de la nave Apollo 11, formada por Collins, Aldrin y Armstrong, consigue descender en el módulo Eagle (ver fig. 3.72)

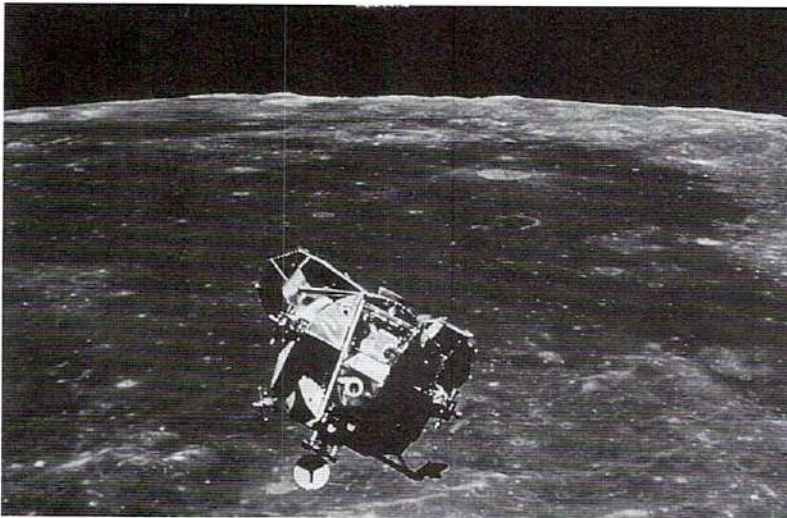


FIGURA 3.72. El módulo lunar Eagle, fotografiado desde la nave Apollo 11, acercándose a la superficie lunar con la Tierra al fondo.

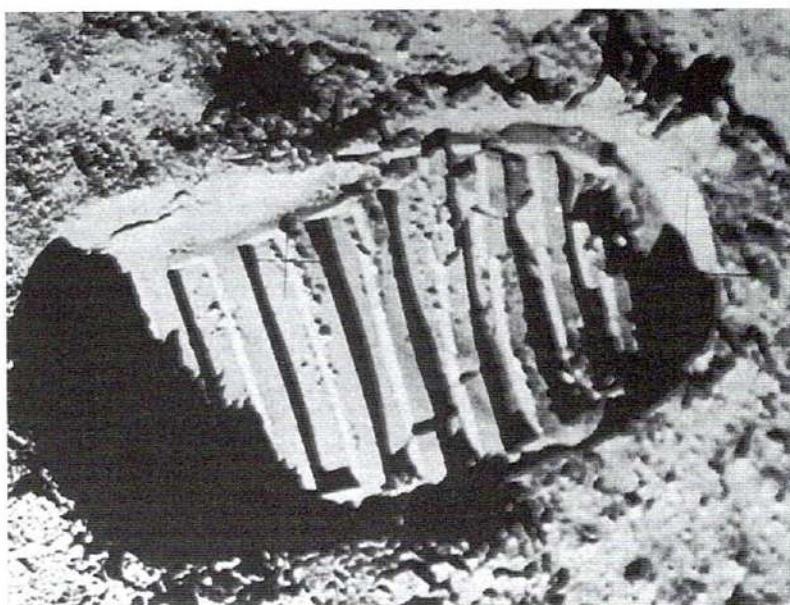


FIGURA 3.73. La primera huella del ser humano sobre la Luna.

hasta la superficie de la Luna, dejando en ella sus huellas y numerosos instrumentos de observación y experimentación (ver fig. 3.73). Se ha cumplió uno de los sueños de la humanidad.

Al mismo tiempo, los rusos, que habían abandonado la idea de poner un hombre en la Luna por problemas surgidos en sus naves, enviaron un conjunto de sondas no tripuladas, Lunik, que mediante robots mecánicos colocaban instrumentos y recogían muestras del suelo lunar.

Los balbuceantes viajes al espacio de esa década, culminados con la presencia del hombre sobre la Luna, dieron paso al intento de conquistar el Sistema Solar. El proceso ha pasado por momentos de gran éxito científico y tecnológico, así como por importantes decepciones, sobre todo de carácter político y financiero, junto a fracasos tecnológicos con pérdidas de vidas humanas.

En las décadas de los setenta y ochenta comenzó el envío de sondas no tripuladas a numerosos puntos del Sistema Solar, entre otras caben destacar:

AÑO	SONDA	OBJETIVO
1970	Venera 7	Se estrella sobre el planeta Venus.
1971	Mariner 9	Orbita el planeta Marte estudiando su superficie.
1972	Pioneer 10	Primera sonda que abandona el Sistema Solar.



1973	Pioneer 11	Se aproxima a los planetas Júpiter y Saturno para posteriormente salir del Sistema Solar en 1997.
1974	Mariner 10	Se aproxima al planeta Mercurio.
1975	Viking 1 y 2	Aterrizan en Marte y estudian muestras de su suelo.
1977	Voyager 1	Estudia Júpiter y Saturno, abandonando posteriormente nuestro Sistema Solar (ver fig. 3.74).
1977	Voyager 2	Estudia Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, tras lo cual sale del Sistema Solar (ver fig. 3.74).
1978	Venus 1 y 2	Orbitan el planeta Venus estudiando su atmósfera.
1981	Venera 13 y 14	Se posan sobre Venus y toman imágenes a color de ese planeta.
1983	Venera 15 y 16	Toman datos de la atmósfera venusiana y trazan mapas de su superficie.
1986	Giotto, Vega 1 y 2	Se aproximan al paso del cometa Halley y estudian la composición de su núcleo y de su cola.
1988	Fobos 1 y 2	Fracasan en su intento de estudiar Fobos, satélite de Marte.
1989	Magallanes	Estudia y cartografía la superficie de Venus durante cuatro años.
1989	Galileo	Estudia las lunas galileanas de Júpiter y la atmósfera de éste.
1990	Ulises	Estudiará los polos del Sol, después de un largo viaje que le llevará cerca de Júpiter para alcanzar la órbita adecuada.
1992	Mars Explorer	Se pierde en el espacio antes de conseguir su objetivo.
1994	Clementine	Realiza un mapa detallado de la superficie lunar.
1997	Explorer 1	Inicia su viaje hacia Marte para estudiar en profundidad dicho planeta.
1997	Cassini	Partirá hacia Saturno, donde se espera que llegue en el año 2005.

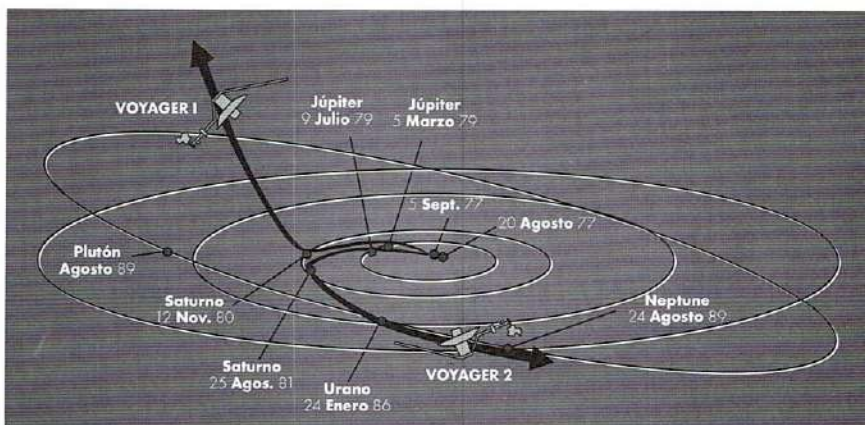


FIGURA 3.74. Recorrido por el Sistema Solar de las sondas espaciales Voyager 1 y 2.



Una vez superada la competencia y rivalidad de los países hegemónicos, a partir de la década de los noventa se inició una época de cooperación entre los distintos Estados que conforman el planeta Tierra. Fruto de dicha colaboración son:

AÑO	ESTACIONES ESPACIALES	OBJETIVO
1970	Skylab y Salyut	Experiencias de laboratorio en condiciones de microgravedad, etc. Ambas estaciones terminaron cayendo sobre la superficie de la Tierra.
1980	Mir	Efectos de las estancias prolongadas en el cuerpo humano, experimentos, acoplamiento de naves, etc. (ver fig. 3.75).
Sin decidir	Alfa	Sin concretar.

Además se han enviado al espacio exterior próximo a la Tierra numerosos satélites que giran a su alrededor con diferentes objetivos, entre los que se pueden destacar los militares, los de observación y predicción climática, los de comunicaciones, los científicos, etc. Entre los científicos podemos citar:



FIGURA 3.75. Estación orbital rusa Mir.



AÑO	SATÉLITES ESPACIALES	OBJETIVO
1972	OA0-3	Telescopio de luz ultravioleta.
1978	HEAO-2	Telescopio de rayos X.
1979	HEAO-3	Telescopio de rayos .
1980	SMM	Observación de la radiación solar.
1983	IRAS	Telescopio de luz infrarroja.
1989	Cobe	Telescopio de microondas que registró, por primera vez, la radiación cósmica de fondo producida por el Big Bang, realizando un plano del Universo hace 300.000 años.
1990	Hubble	Primer telescopio de luz visible. Situado en órbita alrededor de la Tierra a 600 km de altura, lo que le permite tomar imágenes sin la perturbación que supone la atmósfera terrestre. Con él se han obtenido imágenes espectaculares sobre explosiones de estrellas, indicios de agujeros negros, el proceso de formación de nuevas galaxias, imágenes nítidas y periódicas de los distintos planetas, satélites y asteroides de nuestro Sistema Solar, etcétera (ver fig. 3.76).
1995	Soho	Se sitúa en la órbita de Lagrange, punto del espacio donde la atracción gravitatoria de la Tierra se equilibra con la del Sol. Está situado a 1,5 millones de km de la Tierra. Desde allí observa el viento solar, formado por electrones, protones y radiaciones electromagnéticas, así como la radiación de neutrinos procedentes del Sol.
1995	Iso	Telescopio espacial de luz infrarroja; permite observar cuerpos celestes fríos, como son las nubes de polvo interestelar que rodean a las estrellas, estrellas enanas marrones y planetas de otros sistemas solares distintos al nuestro.
1996	Cluster	Flotilla de 4 minisatélites enviados a la órbita de Lagrange para estudiar el magnetismo de la Tierra y su efecto sobre el viento solar.

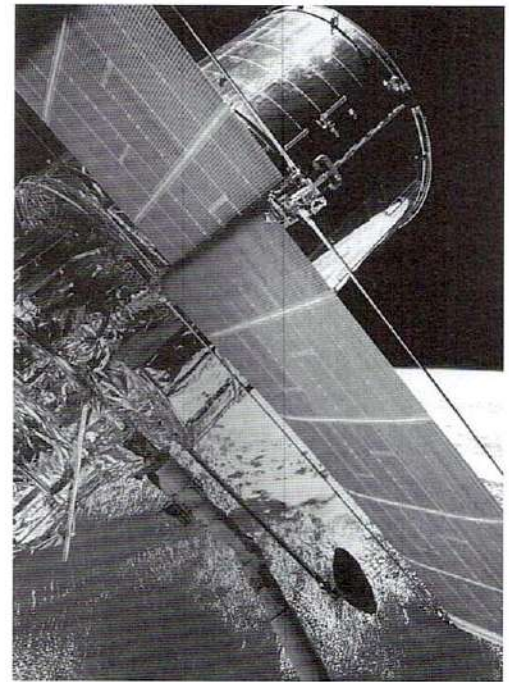
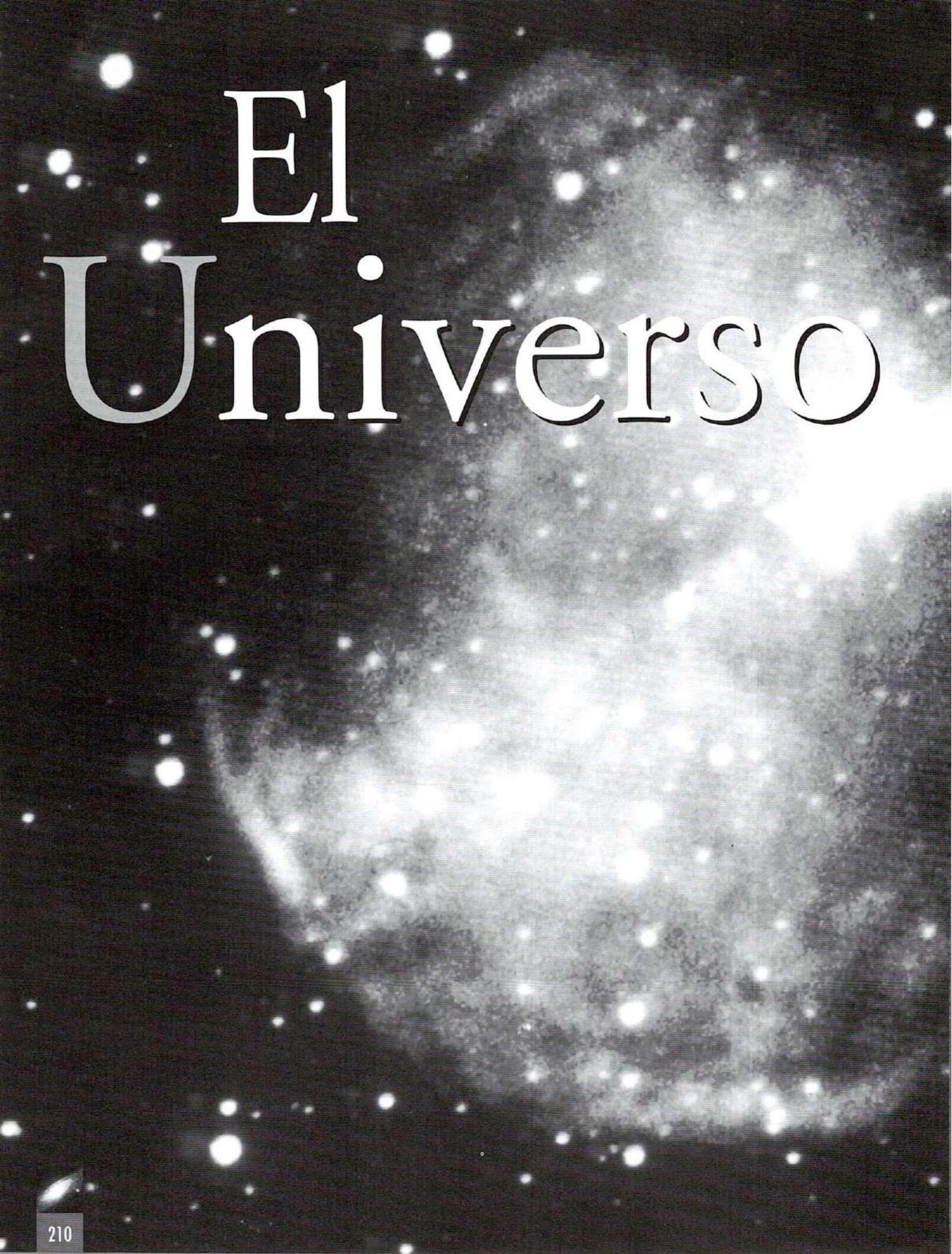


FIGURA 3.76. Telescopio espacial norteamericano Hubble.



El Universo

El Sol es una estrella que libera en cada segundo enormes cantidades de energía, una pequeña parte llega a nuestro planeta y es responsable de que exista vida en la Tierra. Pero el Sol, como el resto de las estrellas que nos rodean, no se quema, sino que sufre un proceso de fusión de núcleos de átomos de hidrógeno en helio; la fusión del helio forma núcleos de berilio, y éstos a su vez, núcleos de carbono. De ésta forma se van formando sucesivamente núcleos cada vez más pesados. El Sol, como cualquier estrella, sufre un proceso de transformación continuo: nace, vive y muere. De la materia que expulsa al morir surgen nebulosas que forman nuevas estrellas y quizá nuevos planetas, aunque este proceso puede durar miles de millones de años. El Universo es menos apacible de lo que parece. Todo cambia constantemente.

En esta unidad estudiaremos la evolución que sufren las estrellas desde que comienzan a emitir energía hasta su enfriamiento final. También se analizan las agrupaciones de estrellas en grupos binarios, ternarios o agrupaciones de miles, como son los cúmulos. Veremos los miles de estrellas que forman las galaxias, la forma y evolución de éstas. Asimismo, se analizará la velocidad de separación de las galaxias y, a partir de ahí, la expansión del Universo. Finalmente conoceremos las teorías sobre el origen del Universo y los intentos de la especie humana por establecer contacto con otras civilizaciones inteligentes. El cielo y los acontecimientos que tienen lugar en él, ha sido un motivo para creer en dioses y seres superiores. Cielo y mitología, título del apéndice final, vemos que están, por tanto, íntimamente unidos.



Objetivos específicos

1. Reconocer las características más importantes de una estrella: magnitud, color-temperatura, densidad.
2. Saber interpretar el diagrama H-R de evolución estelar.
3. Conocer la evolución de una estrella dependiendo de su masa inicial.
4. Conocer la abundancia de los sistemas solares binarios.
5. Observar objetos celestes: estrellas, cúmulos, nebulosas, galaxias, etc.
6. Comprender la importancia de las nebulosas en la evolución de las estrellas.
7. Interpretar las galaxias como agrupación de millones de estrellas con una evolución propia.
8. Comprender el dinamismo del Universo.
9. Relacionar el cielo con la mitología de diferentes culturas.

Contenidos

Conceptos

1. Las estrellas, formación. Características de las estrellas: magnitud, brillo, denominación, color-temperatura, diagrama H-R, tamaño, masa, densidad.
2. Evolución estelar: nacimiento, vida y muerte de una estrella.
3. Agrupación de estrellas: dobles ópticas y dobles físicas, cúmulos abiertos y cerrados.
4. Las nebulosas. Clases de nebulosas.
5. Las galaxias: La Vía Láctea. Tipos de galaxias.
6. Evolución del Universo. El Big Bang y la expansión del Universo.
7. La búsqueda de vida inteligente. Proyectos: Pionner, Voyager, Seti, el telescopio Hubble.
8. Taller.
9. La mitología antigua como método de aproximación a la astronomía.

Procedimientos

1. Estimación de la magnitud de una estrella por comparación.
2. Determinación del color de una estrella.
3. Determinación de la distancia a la que se encuentra una estrella en función de su paralaje.
4. Clasificación de una estrella en el diagrama H-R.
5. Cálculo aproximado del número de estrellas visibles.
6. Observación de estrellas dobles.
7. Observación con instrumentos ópticos, prismáticos o telescopios de diversos objetos galácticos, como son: cúmulos abiertos (Pléyades, Híades...), cúmulos cerrados (Pesebre, M-13...), nebulosas (de Orión...), galaxias (Vía Láctea, Andrómeda...).
8. Construcción tridimensional de constelaciones.
9. Utilización de la información que aparece en los medios de comunicación.

Actitudes

1. Apreciar la belleza del cosmos y de los objetos que hay en él en una noche oscura.
2. Reconocimiento de la astrofísica y la cosmología como ramas importantes actuales de la física para el conocimiento del Universo y su evolución.
3. Análisis crítico del geocentrismo y del heliocentrismo como teorías de la concepción del cosmos.
4. Tomar conciencia de los cambios físicos y químicos que se producen en las estrellas y otros objetos estelares.
5. Apreciación de las dimensiones de la Tierra y el Sistema Solar en comparación con el Universo.
6. Capacidad de incorporar el tiempo en las observaciones astronómicas.
7. Actitud crítica sobre la validez de la información científica en relación con la astronomía que nos llega de los medios de comunicación.



Encuesta inicial

1. Cita el nombre de los siguientes tipos de constelaciones:
 - ☐ 3 que sean circumpolares.
 - ☐ 3 que se encuentren en el hemisferio norte.
 - ☐ 5 que pertenezcan al zodíaco.
 - ☐ 3 que pertenezcan al hemisferio sur.
2. ¿A qué se debe la energía del Sol? ¿Cuándo crees que dejará de emitir luz y calor?
3. ¿Sabrías calcular el valor de un año-luz?
4. ¿Qué es la Vía Láctea?
 - ☐ Una mancha lechosa que hay en el cielo.
 - ☐ Una constelación.
 - ☐ Una galaxia cercana a la nuestra.
 - ☐ La galaxia a la que pertenece el Sol.
5. Indica los elementos químicos más abundantes en el Universo.
6. ¿Sabrías decir qué es y para qué sirve un radiotelescopio?
7. ¿Qué es un agujero negro? ¿Cómo se forman?
8. Indica aproximadamente a qué distancia se encuentra de la Tierra:
 - ☐ El Sol.
 - ☐ La estrella Polar.
 - ☐ La galaxia más próxima.
 - ☐ Los límites del Universo.
9. ¿Cómo es posible conocer los elementos que hay en las estrellas, observadas desde la Tierra?
10. Haz un dibujo del Universo destacando los cuerpos que lo forman.



ACTIVIDAD 1.^a

Objetivos: 1

Contenidos: 1

Dificultad



¿De dónde procede la energía de las estrellas?

ACTIVIDAD 2.^a

Objetivos: 1

Contenidos: 1.5

Dificultad



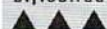
Calcula el paralaje de la estrella Proción, perteneciente a la constelación de Can Menor, sabiendo que se encuentra a una distancia de 11,3 años luz. Resuelve la cuestión aplicando la geometría.

ACTIVIDAD 3.^a

Objetivos: 2

Contenidos: 1.4

Dificultad



Explica la relación que hay entre la temperatura y la luminosidad en las siguientes clases de estrellas: Gigantes rojas, enanas blancas, amarillas (Sol).

ACTIVIDAD 4.^a

Objetivos: 1

Contenidos: 1.1

Dificultad



Indica cuántas veces es más brillante una estrella de 1^a magnitud que otra de 3^a.

ACTIVIDAD 5.^a

Objetivos: 3

Contenidos: 2.2

Dificultad



¿Cuándo se forma el hierro en una estrella? Explica las condiciones que se deben dar en una estrella para que se forme hierro.

ACTIVIDAD 6.^a

Objetivos: 2 y 3

Contenidos: 2.1, 2.2 y 2.3

Dificultad



Explica detalladamente la evolución que puede tener una estrella en función de su masa inicial.

ACTIVIDAD 7.^a

Objetivos: 1 y 4

Contenidos: 3.1

Dificultad



Explica la gráfica de la variación del brillo observado en el sistema binario formado por la estrella Algol y su compañera correspondiente a la constelación de Perseo.



**ACTIVIDAD 8.^a****Objetivos: 1 y 5****Contenidos: 3.2.1****Dificultad**
▲

Observa el cúmulo de las Pléyades o M-45 situado en la constelación del Toro. Trata de identificar las 7 estrellas principales. Si es posible, observa nuevamente con unos prismáticos. Busca información en un libro sobre este cúmulo abierto.

ACTIVIDAD 9.^a**Objetivos: 1, 5 y 6****Contenidos: 1.1, 1.2, 1.3 y 3.3.1****Dificultad**
▲▲

Observa la constelación de Orión. Trata de identificar las estrellas principales. Busca ahora el grupo de estrellas que forman la espada del guerrero. Localiza la Gran Nebulosa y obsérvala con unos prismáticos. Busca información sobre esta nebulosa, en la que nacen miles de estrellas.

ACTIVIDAD 10.^a**Objetivos: 7****Contenidos: 4.1****Dificultad**
▲

Dibuja nuestra galaxia, la Vía Láctea, vista de perfil y desde "arriba". Indica las distancias y el nombre de las distintas partes que la forman. Señala la posición del Sol. Haz un pequeño resumen. Si es necesario, busca información suplementaria.

ACTIVIDAD 11.^a**Objetivos: 8****Contenidos: 5.1****Dificultad**
▲▲▲

Explica por qué un objeto celeste, cuando se aleja de la Tierra a una velocidad cercana a la de la luz, se ve de color rojo y cuando se acerca se ve de color ligeramente azulado.

ACTIVIDAD 12.^a**Objetivos: 1, 5 y 9****Contenidos: Apéndice****Dificultad**
▲

Escoge una constelación que tenga una historia mitológica interesante, busca información de la misma y trata de reconocer las estrellas que la forman, así como la figura que da lugar a su nombre. Anota todo esto en tu cuaderno. Cuando salgas con tus compañeros a observar el cielo explícales lo que has investigado. Como constelaciones te proponemos algunas como las siguientes: Orión, Can Mayor, Can Menor, Perseo, Andrómeda, Cefeo, Casiopea, Pegaso, Hércules, León, Géminis, Osa Mayor, Osa Menor, Dragón, Toro, Ofiuco, etcétera.





LECTURA

¿Qué es el cielo? A esta simple cuestión podría responder un astrónomo: el cielo es todo lo que existe fuera de la Tierra, es el espacio sin límite, es el ejército de estrellas, también es el Sol y la Luna. La propia Tierra es un astro del cielo o, más exactamente, un planeta en movimiento en el espacio celeste.

En el Universo no existe ni hacia arriba ni hacia abajo, ni derecha ni izquierda, ninguna dirección posee privilegio, ningún lugar es predominante. El cielo se halla sobre nuestras cabezas, como una cúpula bajo la que la Tierra se asemeja a un disco plano... pero difícilmente nos imaginamos que el cielo existe también "bajo la Tierra", y por tanto bajo nuestros pies.

Así pues, nos sumergimos en el espacio cósmico, ya que el cielo se cierra como una inmensa esfera alrededor de la Tierra. Lo que nos imaginamos como una bóveda, en realidad es un abismo, y nos hallamos al borde de tal abismo sin límites, como turistas al borde de una sima, ante algo desconocido y fantástico que se halla ante nuestros ojos. El cielo es nuestro lugar de residencia. Nuestro origen y nuestra evolución se hallan ligados a acontecimientos cósmicos muy lejanos. Somos, pues, ciudadanos del cielo... aunque no siempre seamos conscientes de ello.

El espacio cósmico es ilimitado, pero principalmente está vacío... ¿Desea obtener una representación figurada? Reduzca el Sol al tamaño de una naranja. La Tierra sería una pepita de uva situada a 15 metros de la naranja. La densidad media del Universo es de un átomo por metro cúbico: eso equivale a un grano de arena perdido en un cubo de 30 km de arista. Pero no hay que pensar que la materia cósmica se halla tan dispersa; al contrario, se reúne en agregaciones más densas, estrellas y planetas, pero entre tales astros no existe prácticamente nada.

Nuestra galaxia es tan sólo una entre los millones, quizá miles de millones, de galaxias del Universo. Redúzcala al tamaño de un balón de fútbol y coloque las galaxias más lejanas conocidas a más de 60 km de distancia. Así pues, la principal característica del Universo es un espacio vacío ilimitado, oscuro y frío (casi a -273°C). La Tierra representa sólo un punto en esta inmensidad, y ocupa un instante en la duración del Universo.



FIGURA 4.1. Galaxia espiral M 51.

Jean Lacroix. Iniciación a la Astronomía



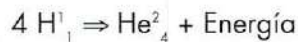


CUESTIONARIO SOBRE EL TEXTO

1. Lee el texto atentamente procurando extraer las ideas más importantes. A continuación comenta aquello que más te ha interesado con tus compañeros de grupo.

1. LAS ESTRELLAS

Para el ojo humano, una estrella es sólo un punto luminoso. En realidad, cada estrella es un Sol, algo semejante al nuestro. Es también una fantástica reserva de energía nuclear. El Universo está formado fundamentalmente por dos elementos: hidrógeno y, en menor medida, helio. Nuestro Sol se formó a partir de una nube de hidrógeno que se contrajo debido a la fuerza de atracción gravitatoria. Llegó un momento en que la temperatura y la presión son tan grandes en el centro de la nube que se produce una reacción nuclear, es decir, los núcleos de los átomos de hidrógeno comienzan a chocar entre sí y producen helio; en este proceso se libera una gran cantidad de energía (fig. 4.2).



Todas las estrellas se formaron de la misma manera, a partir de las nubes de gas y polvo, que reciben el nombre de nebulosas. Sin embargo, el tamaño de estas nebulosas iniciales es muy diferente, y este hecho va a ser determinante en la evolución posterior de una estrella. De hecho, nuestro Sol es una estrella de masa pequeña. Hay estrellas que poseen una masa mil veces la del Sol. Cabe pensar que aquellas estrellas de menor masa se "consumen" rápidamente, mientras que las mayores tardan más tiempo en extinguirse. Pero en realidad no ocurre así; estrellas como el Sol tardan unos 10.000 millones de años en consumir toda su energía, mientras que estrellas con una masa de veinte veces la del Sol tardan sólo un millón de años en consumirse. De igual manera que una gran hoguera puede tardar unos pocos minutos en apagarse, mientras que una pequeña estufa, con poco combustible, puede estar ardiendo durante horas.

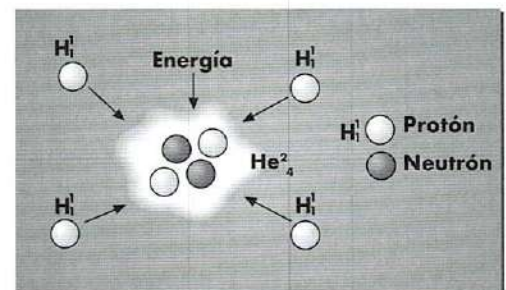


FIGURA 4.2. Fusión del hidrógeno.



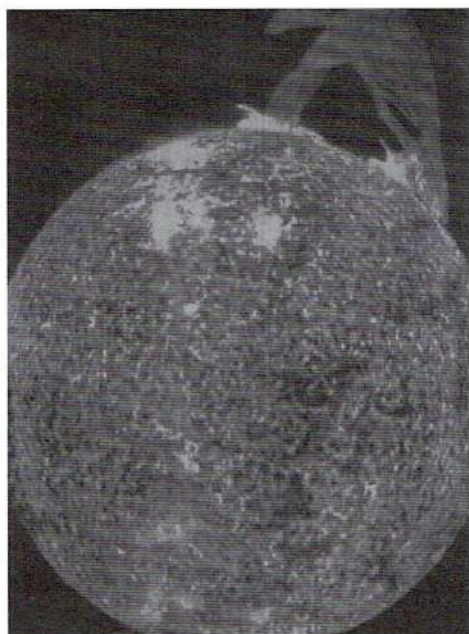


FIGURA 4.3. Imagen del Sol.

Sin embargo estos ejemplos no deben confundirte. Las estrellas no queman su combustible, como lo hace la madera o el carbón; ten en cuenta que, entre otras cosas, en el Universo no hay oxígeno, elemento imprescindible en toda combustión. Lo que ocurre, como ya hemos dicho, es que el hidrógeno se une entre sí, es decir, se fusiona. Sin embargo, por analogía se suele decir que las estrellas "queman su combustible" (fig. 4.3).

1.1. Brillo

Lo primero que llama la atención al observar las estrellas en una noche oscura es la gran variedad de luminosidad que presentan. Algunas son tan débiles que no pueden verse a simple vista más que en noches muy oscuras, sin luna. Mientras que otras poseen un intenso brillo, comparable al de los planetas. A simple vista podemos observar en la semiesfera celeste unas 3.000 estrellas.



¿SABÍAS QUE...?

Fue Hiparco, astrónomo griego del siglo II a.C. el primero que clasificó las estrellas, y lo hizo en seis órdenes de brillo, en seis magnitudes. Cada una de ellas con la mitad de brillo aparente que el grupo anterior. Las estrellas más brillantes se incluían en la primera magnitud, y las más débiles se consideraban de sexto orden. A simple vista no es posible ver estrellas de magnitud superior a seis.

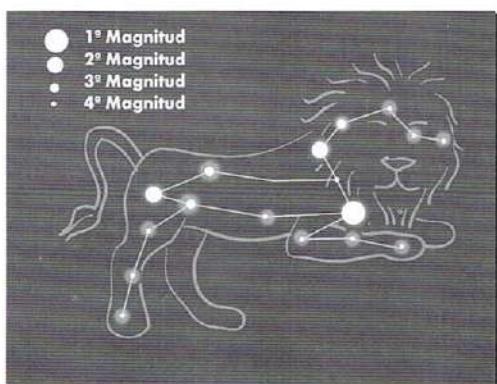


FIGURA 4.4. Diferente magnitud de las estrellas que forman la constelación del León.

Esta primera clasificación fue posteriormente modificada y ampliada. John Herschel, hacia el año 1830, encontró que la mayoría de las estrellas de 1ª magnitud, de la escala de Hiparco, eran 100 veces más brillantes que las que él había clasificado como de 6ª magnitud. Lo que se había considerado como dos veces más brillante era en realidad 2,512 veces, puesto que: $2,512^5 = 100$ (fig. 4.4).

Se observó que había estrellas o planetas cuyo brillo era más intenso que el correspondiente a primera magnitud. Se recurrió a magnitudes 0, -1, -2, -3, etc. En otros casos se necesitaba una mayor precisión, y para ello se utilizaron magnitudes decimales. La estrella más brillante, Sirio, tiene una magnitud de -1,5 y Venus puede alcanzar la magnitud de -4,4. La luna llena alcan-



za la magnitud de -12,7 y el Sol -26,8 (fig. 4.5). Los telescopios terrestres actuales pueden fotografiar estrellas de magnitud +24.

CUESTIONARIO

2. ¿Cuántas veces es más brillante una estrella de 1ª magnitud que otra de 4ª? ¿Y una de 3ª que otra de 6ª?
3. Suponiendo que el Sol es de magnitud 27 y la Luna 13, ¿cuántas veces es más brillante el Sol que la Luna?

La tabla que sigue presenta las estrellas más brillantes visibles desde Europa (ver fig. 4.6).

NOMBRE	CONSTELACIÓN	BRILLO	DISTANCIA (años luz)
Sirio	Can Mayor	-1,5	8,6
Vega	Lira	0	26
Arturo	Boyero	0,1	36
Capella	Auriga	0,1	42
Rigel	Orión	0,2	900
Proción	Can Menor	0,4	11,3
Altair	Águila	0,8	16
Betelgeuse	Orión	0,9	310
Aldebarán	Tauro	1	68

El brillo aparente de una estrella, estudiado en el apartado anterior, no nos da información acerca de ese astro, sino sólo de cómo lo observamos desde la Tierra, lo que se denomina **magnitud relativa (m)**. Para comparar objetivamente la luminosidad de las estrellas se usa la **magnitud absoluta (M)**, definida como aquella que tendría a una distancia fija de 32,6 años-luz (10 parsec). Para hacer este cálculo es necesario saber la distancia a la que se encuentra una estrella.

1.2. Denominación

Las estrellas más brillantes del cielo tienen nombres propios que hacen referencia a la mitología árabe, griega, etc., como

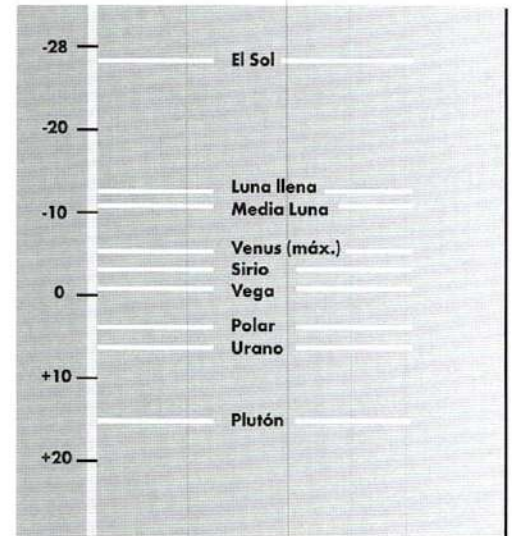


FIGURA 4.5. Escala de brillo aparente de diferentes cuerpos celestes.

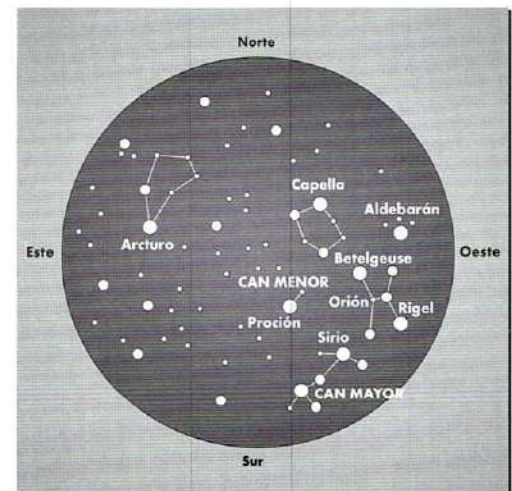


FIGURA 4.6. Algunas de las estrellas más brillantes visibles desde Europa.

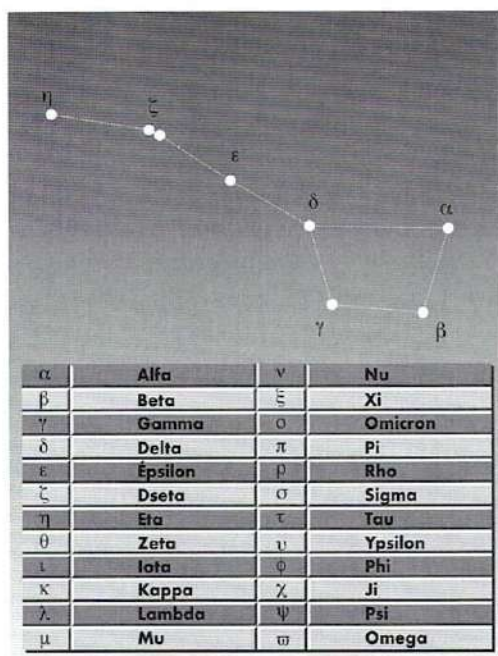


FIGURA 4.7. Denominación de las estrellas de la Osa Mayor.

son: Sirio, Rigel, Proción, Deneb, Aldebarán... Pero la mayor parte de ellas, de menor luminosidad no tienen denominación propia. En 1603, J. Bayer, un abogado de Augsburgo, introdujo una denominación metódica. Dentro de cada constelación, las estrellas se nombran siguiendo las letras del alfabeto griego (α , β , γ , δ , ...). Por ejemplo, Cástor, la estrella más brillante de la constelación de Géminis, se denomina α -Geminorum, la siguiente β -Geminorum (Pollux). La Osa Mayor es una excepción ya que sus estrellas se han nombrado por su colocación. Cuando no basta el alfabeto griego se utilizan letras latinas o incluso números. En la tabla inferior aparece el alfabeto griego (fig. 4.7).

1.3. Color

Si miras el firmamento en una noche cerrada observarás que no todas las estrellas tienen el mismo color; las hay rojizas, anaranjadas, azules, blancas... Esto se debe a que poseen en su superficie distinta temperatura. De la misma forma que, cuando calentamos un alfiler con una llama, va tomando diferentes colores según sea su temperatura; primero se vuelve rojo, después anaranjado, a continuación amarillo y finalmente casi blanco (fig. 4.8). **El color de los cuerpos depende de su temperatura.**

A principios del siglo XX se procedió a una clasificación de las estrellas según el tipo de luz que emitían. A cada tipo de estrella se la denominó con una letra. Esta clasificación empezaba por las azules, las más calientes, y terminaba por las rojas, las más frías. Las características de los distintos tipos son las siguientes:

TIPO	TEMPERATURA Superficial (°C)	COLOR
O	25.000	Muy azul
B	11.000 a 25.000	Azul
A	7.500 a 11.000	Blanco
F	6.000 a 7.500	Blanco-amarillo
G	5.000 a 6000	Amarillo
K	3.500 a 5.000	Anaranjado
M	3.500	Rojo

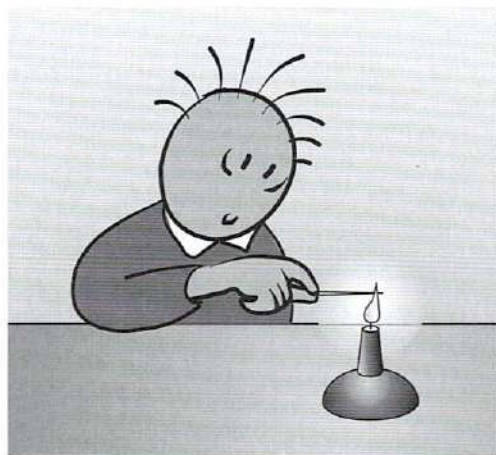


FIGURA 4.8. Influencia del color de los cuerpos con la temperatura.



1.4. Diagrama Hertzsprung-Russell

Cuando se habla de la temperatura de una estrella se hace referencia a la de su superficie, que es la parte de la estrella que emite luz y energía. Durante mucho tiempo, los astrofísicos desearon conocer la evolución de las estrellas y sospechaban que ésta dependía de su masa inicial y de su temperatura, y por tanto de su color y brillo. En el año 1913, dos científicos, el danés Ejnar Hertzsprung y el estadounidense Henry N. Russell (fig. 4.9), elaboraron independientemente una gráfica que relacionaba la magnitud absoluta (M) de una estrella, o cantidad total de luz que emite, y la temperatura superficial. Esta gráfica se denomina abreviadamente diagrama H-R (fig. 4.10). Las estrellas situadas más a la izquierda son las más calientes (azules), mientras que las situadas a la derecha son las más frías (rojas). Las estrellas situadas en la parte superior son las más luminosas, mientras que las situadas en la parte inferior son las menos luminosas.

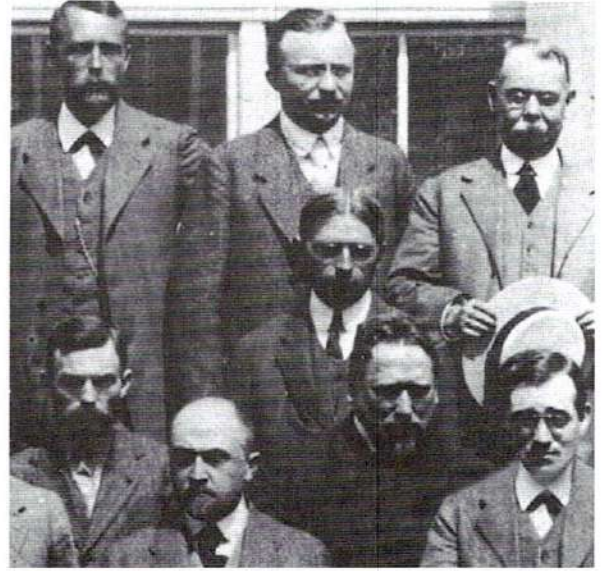


FIGURA 4.9. Congreso de la Unión Internacional para la Cooperación en la Investigación Solar. El danés Ejnar Hertzsprung es el primero de arriba a la izquierda, en el centro de pie aparece el norteamericano Henry N. Russell.

Analicemos el diagrama con detalle:

La mayoría de las estrellas están distribuidas a lo largo de la secuencia principal, que va desde la parte superior izquierda a la parte inferior derecha. El Sol se encuentra en el centro de la secuencia principal.

Existen unas estrellas que no están en la secuencia principal. Unas son rojas, y por tanto frías, sin embargo son de gran luminosidad. Se trata de estrellas de un gran tamaño, son las **gigantes rojas**. Por el contrario hay otro grupo de estrellas azules-blancas, y por tanto calientes, que emiten poca luz; son estrellas de tamaño muy reducido, se denominan **enanas blancas**.

El tiempo que emplea una estrella para estar en la secuencia principal es el tiempo que tarda en agotar su "combustible", el hidrógeno. El factor principal es su masa inicial. Si tiene una masa media, como el Sol, permanecerá en la secuencia principal miles de millones de años. Si tie-

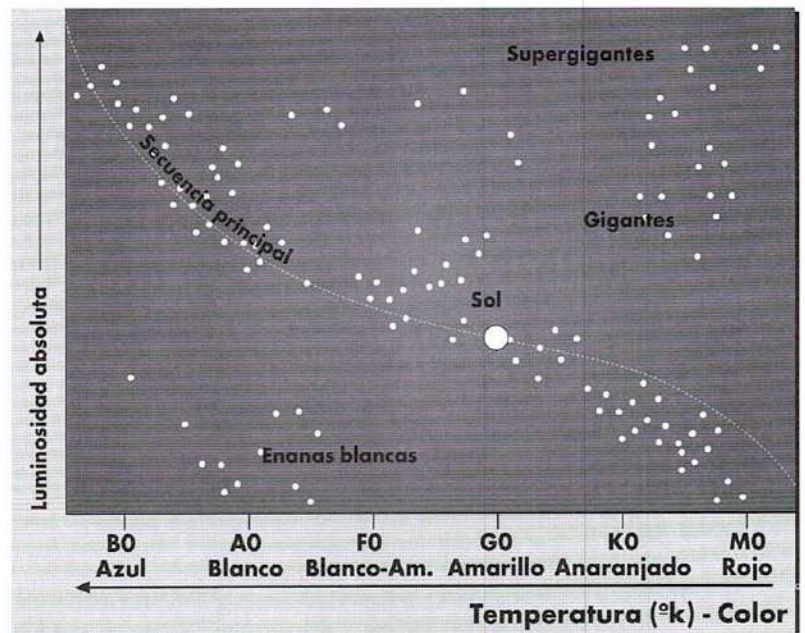


FIGURA 4.10. Diagrama H-R.

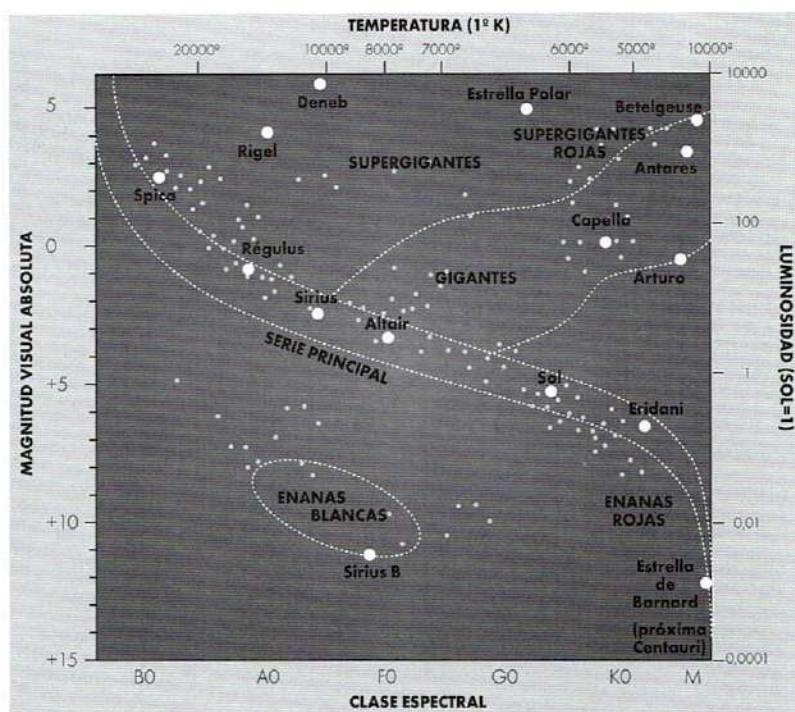


FIGURA 4.11. Situación de algunas estrellas en el diagrama H-R.

ne una masa de 20 veces la del Sol, se halla en la parte superior izquierda de la tabla y permanece allí unos pocos millones de años, se consume pronto (fig. 4.11)..

1.5. Distancia

La distancia a una estrella próxima se determina con cierta exactitud por el método del paralaje trigonométrico. Debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol, las estrellas parecen que, en un período de seis meses, han cambiado de posición en la bóveda celeste. El aparente movimiento angular se denomina paralaje.

Veamos, como ejemplo, la distancia a la que se encuentra un astro que tiene un paralaje de 1' (fig. 4.12). Siendo d la distancia Tierra-Sol, D la distancia a la que se encuentra el astro y α el paralaje observado, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{tg } \alpha &= d/D \quad D = d/\text{tg } \alpha = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km} / 4,85 \cdot 10^{-6} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km} = \\ &= \frac{3,09 \cdot 10^{13}}{9,46 \cdot 10^{12}} = 3,26 \text{ años luz} = 1 \text{ parsec} \end{aligned}$$

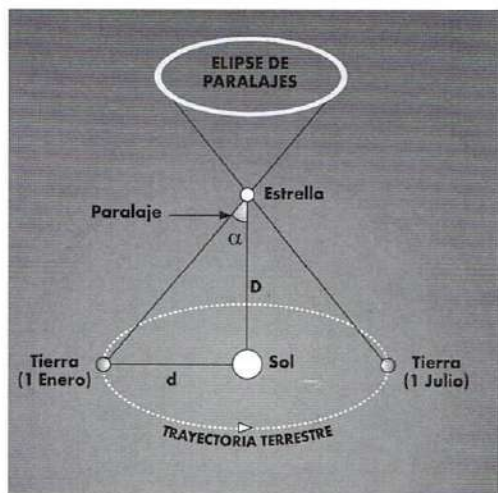


FIGURA 4.12. Paralaje de una estrella próxima.



¿SABÍAS QUE...?

Este método fue utilizado por el astrónomo alemán Friedrich Bessel para medir la distancia a la estrella β del Cisne. Dio un ángulo de sólo $0'35''$ de arco. La estrella más cercana, α -Centaurio, se encuentra a una distancia de 4 años luz, que corresponde a algo más de 1 parsec. Para estrellas que se encuentran a una distancia superior a 300 años luz, el paralaje es tan pequeño que resulta muy difícil medirlo.



CUESTIONARIO

- La estrella Algor es la segunda estrella de la constelación de Perseo. Calcula el paralaje de dicha estrella sabiendo que se encuentra a una distancia de 95 años-luz (fig. 4.13).

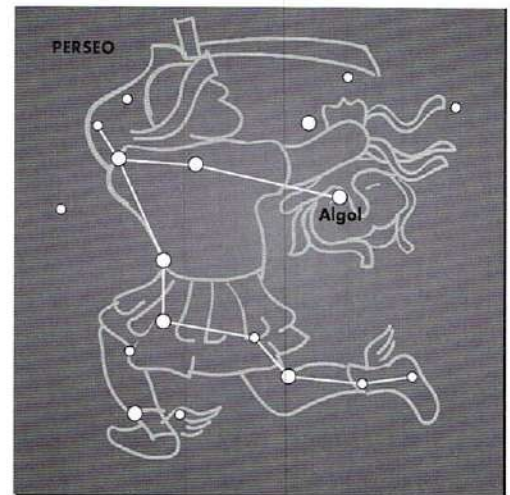


FIGURA 4.13. Paralaje de la estrella Algor de la constelación de Perseo.

Como ya hemos dicho en la Unidad 1, las constelaciones no son agrupaciones reales de estrellas. Sin embargo sirven como sistema de referencia de la bóveda celeste. Parece que estrellas de la misma constelación están próximas entre sí, pero en la mayoría de los casos se hallan a enormes distancias. La Osa Mayor es, seguramente, la constelación más conocida de la bóveda celeste. Sus estrellas más importantes, Dubhe, Merak, Phekda, Megrez, Alioth, Mizar y Alkaid, son de gran luminosidad y se observan con gran nitidez durante todas las noches del año. Los antiguos griegos veían el extremo de una Gran Osa, para los romanos eran los bueyes del Gran Carro que daba vueltas en torno al polo celeste. Si pudiéramos acercarnos a una de las más próximas a nosotros, Mizar, que se encuentra a 60 años-luz, observaríamos que Alkaid, a 160 años-luz de la Tierra, se encuentra muy lejos de ella. La forma de la constelación irá cambiando. La figura 4.14. muestra la constelación vista desde la Tierra y su verdadera posición en el espacio.

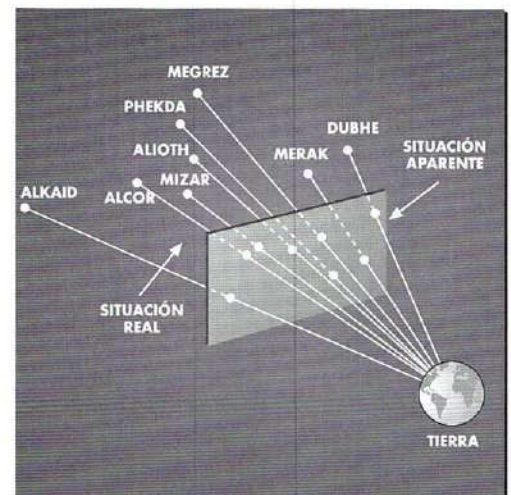


FIGURA 4.14. Situación aparente y real de las estrellas de la Osa Mayor.

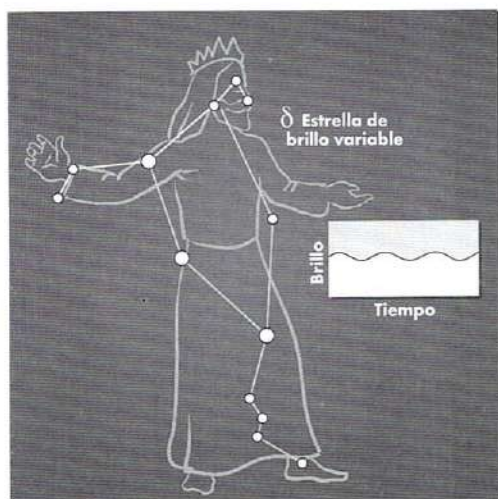


FIGURA 4.15. Localización y brillo de las cefeidas.



¿SABÍAS QUE...?

Para medir la distancia a estrellas muy alejadas sirven como referencia las denominadas cefeidas. Comparando el brillo absoluto y relativo de estas estrellas se puede determinar la distancia de la estrella. De esta forma, si se observa la presencia de una cefeida en una determinada galaxia, podemos conocer aproximadamente la distancia a la que se encuentra (fig. 4.15)

1.6. Tamaño, masa, densidad

Para conocer el tamaño de los planetas o el Sol se mide su diámetro angular, y una vez averiguada su distancia se calcula el tamaño del astro correspondiente. Incluso con los mayores telescopios las estrellas aparecen en el cielo como puntos más o menos brillantes, y por tanto no es posible determinar su diámetro angular. Sin embargo, a partir de medidas indirectas de una estrella, como son los valores de la luminosidad y temperatura, se puede medir su diámetro. La estrella más grande conocida hasta ahora es ϵ -Auriga, con 2.700 diámetros solares. Esta estrella englobaría el Sistema Solar hasta la órbita de Urano. Entre las estrellas más pequeñas están las enanas blancas, del tamaño de la Luna, o las estrellas de neutrones de unos 20 km. La tabla inferior y la figura 4.16 muestran el tamaño de algunas estrellas conocidas. Se utiliza como unidad el diámetro solar.

ESTRELLA	CONSTELACIÓN	DIÁMETRO (D. Solares)
ϵ -Áuriga	Áuriga	2.700
Betelgeuse	Orión	400
Antares	Escorpión	320
Deneb	Cisne	60
Arturo	Boyero	25
Venga	Lyra	3,8
Altair	Águila	1,5

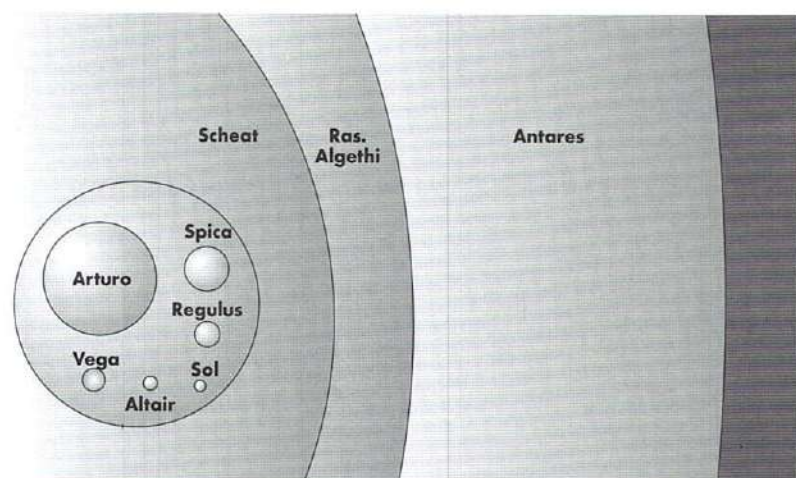


FIGURA 4.16. Tamaño de diferentes estrellas comparadas con el Sol.



¿SABÍAS QUE...?

El descubrimiento de Urano se produjo por las variaciones de la órbita que presentaba Saturno. Éste tenía una pequeña desviación de su movimiento que sólo era explicable por la existencia en sus proximidades de otro planeta aún desconocido. De la misma forma, la determinación de la masa de una estrella sólo se puede evaluar cuando va seguida de una compañera.

A diferencia del diámetro, la masa de las estrellas varía relativamente poco; las estrellas más masivas poseen una masa sólo unas 1.000 superior a la de las más "ligeras". Una estrella masiva como es HD 698, una supergigante roja, contiene 113 masas solares.

Una vez conocida la masa y el diámetro se puede calcular la densidad de una estrella. Es aquí donde se produce la diferencia más grande. La tabla inferior muestra la densidad de algunas estrellas.

ESTRELLA	DENSIDAD (g/cm ³)
Sol	1,4
Gigante roja	10 ⁻⁸
Enana blanca	10 ⁷
Estrella de neutrones	10 ¹⁶



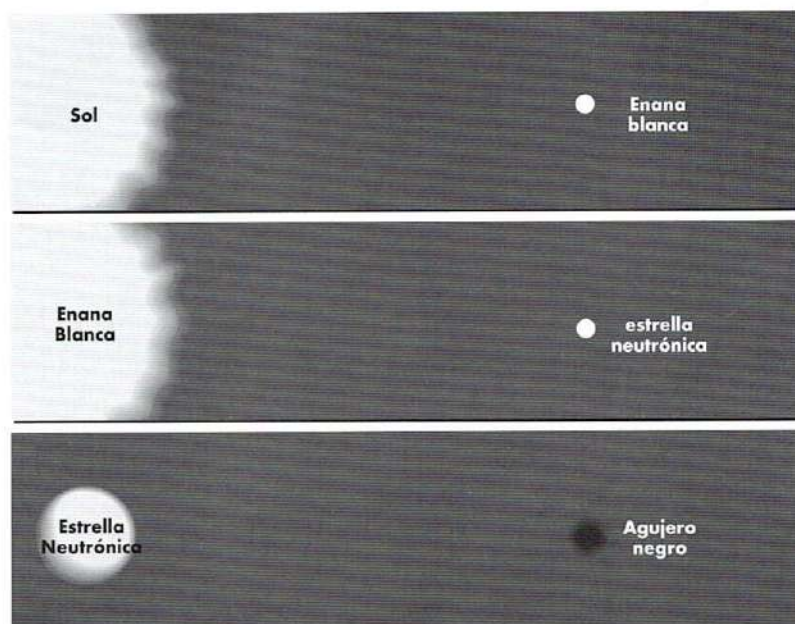


FIGURA 4.17. Cadáveres de estrellas.

Como se observa, las estrellas de neutrones poseen densidades del orden de 10^{16} g/cm³, lo cual quiere decir que 1 cm³ de esta estrella tiene una masa de 10.000.000.000 kg. De ahí la enorme gravedad que poseen estos cuerpos (fig. 4.17).

1.7. Movimiento propio

Si observamos el cielo en diferentes noches, veremos que las estrellas se encuentran en la misma posición relativa. No cambian de lugar. Si hiciéramos esto a lo largo de toda nuestra vida, no observaríamos tampoco movimiento alguno. Sin embargo, los astrónomos han detectado que las estrellas se mueven. ¿Cómo lo han hecho? Se han realizado fotografías de la misma región del cielo con un intervalo de una decena de años, y se ha observado, en el caso de algunas estrellas, pequeñas alteraciones.

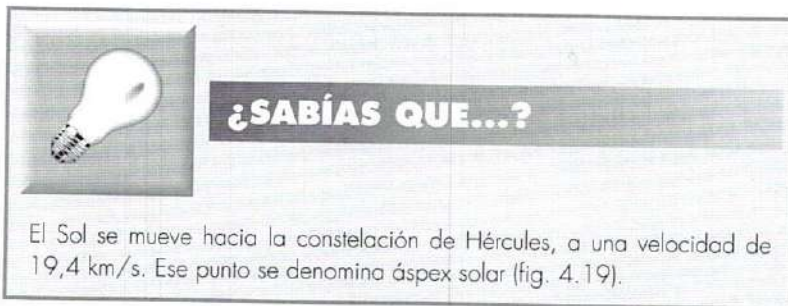
Una estrella se puede desplazar en cualquier dirección del espacio. La velocidad de este movimiento presenta dos componentes. Una es la dirección que une el observador con la estrella, denominada componente radial, y otra perpendicular a la anterior, denominada componente tangencial (fig. 4.18).



FIGURA 4.18. Movimiento de las estrellas desde la Tierra.



indica la velocidad de acercamiento o alejamiento, se emplea el denominado "efecto Doppler", del que hablaremos más adelante.



Las constelaciones, debido al movimiento de las estrellas, cambian de forma. La figura 4.20. muestra la forma de la Osa Mayor en tres momentos, hace 100.000 años, en la actualidad y dentro de 100.000 años. Las flechas indican el movimiento de cada una de sus estrellas.

2. EVOLUCIÓN ESTELAR

2.1. Nacimiento de una estrella

Las estrellas se forman a partir de nubes de materia interestelar, las nebulosas, cuando se produce la fusión de los núcleos de hidrógeno. La materia que forma una nebulosa tiene una densidad de 1 átomo/cm³. Para que esta materia sea capaz de formar una estrella debe alcanzar una densidad de 1.024 átomos/cm³. Aunque parezca increíble, las estrellas se forman a partir de nebulosas frías, cuando están a temperaturas próximas a los -200 °C.

Los átomos de hidrógeno presentes en el Universo comienzan por atraerse gravitatoriamente, por el hecho de tener masa, formando nubes de hidrógeno. Los átomos centrales atraen a los átomos más externos, haciendo que la nube se contraiga. De esta forma aumenta la presión en su interior, en la zona central de la protoestrella o futura estrella (fig.4.21). La elevada presión hace aumentar también la temperatura hasta que los núcleos de los átomos de hidrógeno empiezan a colisionar violentamente, fusionándose, para producir helio.

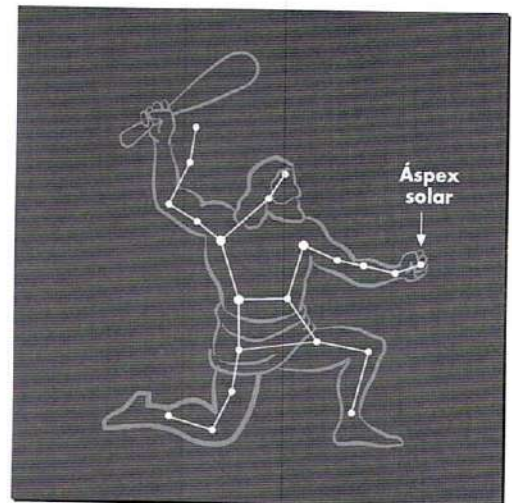


FIGURA 4.19. Ápex solar en la constelación de Hércules.

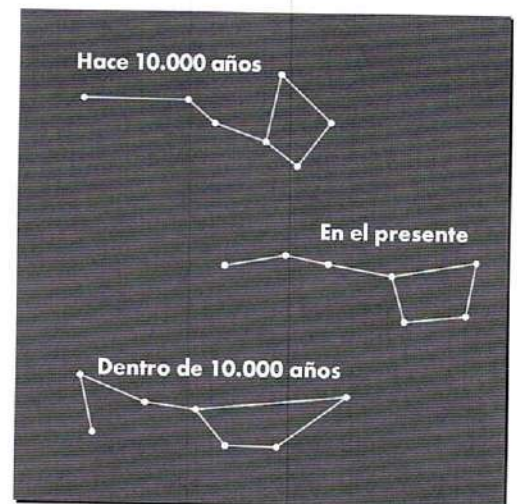


FIGURA 4.20. Variación de la forma de la constelación de la Osa Mayor.



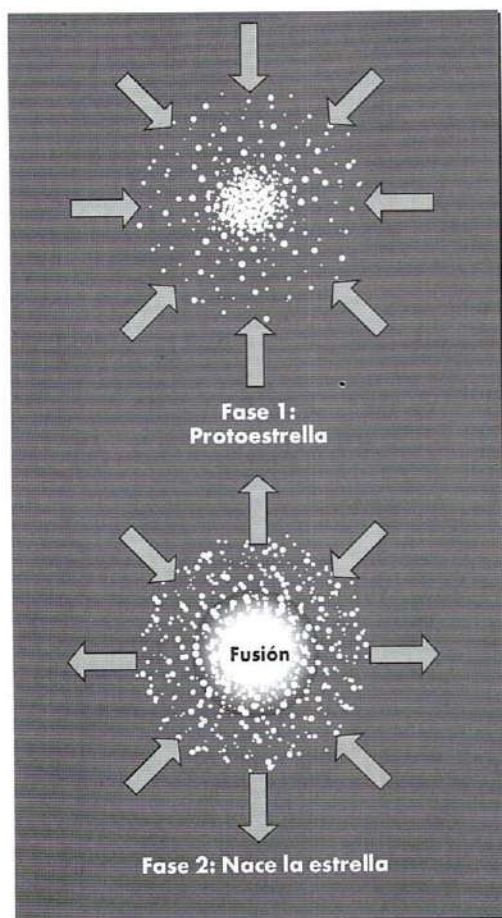


FIGURA 4.21. Fases del nacimiento de una estrella: 1 Protoestrella 2. Nacimiento.

Si una nube de gas posee una cantidad de materia insuficiente, su gravedad será demasiado débil como para lograr que se produzca la condensación necesaria, y su temperatura no se elevará hasta alcanzar el nivel crítico que desencadena la fusión nuclear. Cualquier "estrella" así formada no pasará de ser un cuerpo caliente, que puede ser detectado por las radiaciones infrarrojas que emite. Estos objetos celestes que no llegan a ser verdaderas estrellas se denominan enanas marrones. La materia mínima para que se forme una estrella es un 8% de la masa del Sol.



CUESTIONARIO

- ¿Cuál será la masa mínima para formar una estrella verdadera? Sabiendo que Júpiter se compone fundamentalmente de hidrógeno, ¿qué masa le faltaría para convertirse en una estrella? (fig. 4.22).

Las estrellas completamente desarrolladas conservan signos de su nacimiento. Las primeras estrellas que se formaron provenían de los primeros átomos de hidrógeno. Posteriores generaciones se originaron con restos procedentes de estrellas anteriores. En ellas aparecían elementos más pesados que el helio, generados en su núcleo. El Sol contiene estos elementos, lo cual demuestra que se trata de una estrella de tercera generación.

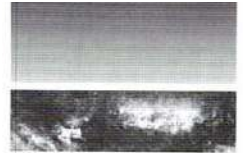
Las estrellas no sólo se forman individualmente, sino también en grupos; esto tiene lugar cada vez que cierto número de protoestrellas nacen en estrecha proximidad unas de otras, formando un conglomerado unido por la gravedad, con un movimiento colectivo propio. Éstos son los denominados cúmulos de estrellas.

2.2. Vida de las estrellas

La radiación que se libera en la fusión, y que se escapa del núcleo, ejerce una presión hacia fuera que contrarresta la contracción gravitatoria. De este modo, mientras dura la fusión del hidrógeno, el tamaño de la estrella viene determinado por el equilibrio entre la gravitación, que tiende a disminuir su tamaño, y la presión de radiación, que tiende a aumentar su volumen (fig.4.23).



FIGURA 4.22. Planeta Júpiter.



Una estrella pasa la mayor parte de su vida en la secuencia principal. Se caracteriza por la fusión del hidrógeno en helio, con la consiguiente transformación de materia en energía. Por cada gramo de hidrógeno que se convierte en helio se desprenden 180.000 millones de julios de energía. Las estrellas de más masa se consumen mucho más rápidamente, y tienen una vida más corta. Una estrella enana roja puede tener una vida de 20.000 millones de años, mientras que gigantes azules, como Rigel en Orión o Deneb en el Cisne, tienen una vida de "sólo" 30 millones de años (fig. 4.24).



CUESTIONARIO

6. ¿Por qué crees que las estrellas de mayor masa tienen una vida mucho más corta que las que poseen menor masa?

Las estrellas que se encuentran en la secuencia principal tienen una evolución similar, la temperatura central es aproximadamente la misma, unos 14 millones de $^{\circ}\text{C}$. Es en su superficie donde varía la temperatura.

A medida que la fusión avanza, el centro de la estrella va aumentando su composición de helio, hasta que llega a ser el único elemento presente en el núcleo. En este momento se produce un cambio drástico en la vida de las estrellas. Al no haber fusión en el núcleo, no se libera energía y, por tanto, no existe presión de radiación que contrarreste la gravedad de la estrella.

El núcleo se contrae y aumenta la temperatura, la cual no es suficiente para producir la fusión del helio, pero sí la del hidrógeno de las capas exteriores, las cuales comienzan a expandirse. Este aumento de volumen va acompañado de un enfriamiento del exterior, puesto que un gas se enfría al dilatarse. En este caso, la energía irradiada es menor y la luz emitida es fundamentalmente roja. La estrella se encuentra en la fase de **gigante roja** (fig. 4.25).

El núcleo de Helio ha continuado su contracción hasta que la temperatura alcanza los 100 millones de grados. En ese momento se produce la fusión del helio, formando núcleos de berilio, que son muy inestables. Éstos, en su corta vida,



FIGURA 4.23. Nacimiento de una estrella. 3 Equilibrio.



FIGURA 4.24. Situación de la estrella Rigel.



FIGURA 4.25. Proceso de formación de una estrella Gigante roja.



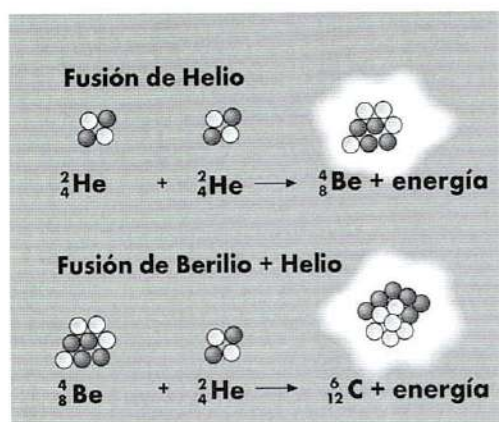


FIGURA 4.26. Formación de núcleos de berilio y carbono respectivamente.

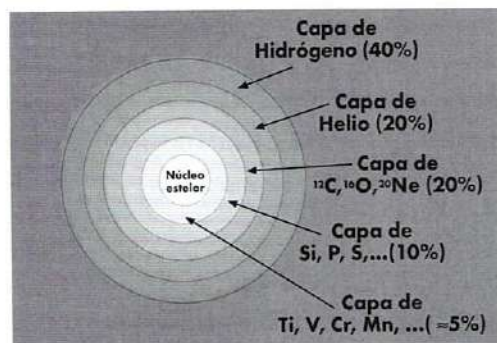


FIGURA 4.27. Estructura de una estrella en capas de cebolla.

pueden chocar con otro núcleo de helio, lo cual da lugar a un núcleo de carbono estable. Ésta es una fase relativamente corta. Las reacciones que se producen son las que aparecen en la figura 4. 26.

Este proceso continúa, ya que a esas elevadas temperaturas los átomos de carbono se unen y se desintegran de muy diversas formas, originando núcleos cada vez más pesados, como el neón, el oxígeno y el silicio. En fusiones sucesivas se forman elementos más pesados, como el cromo, el manganeso y el níquel, hasta que alcanzan una situación estable con la formación de hierro. Ahora bien, no en todas las estrellas se forma hierro en su núcleo, sólo en aquellas que tienen una masa muy elevada.

En este proceso, las distintas familias de elementos se disponen en capas, dando lugar a una estructura llamada "en cebolla" (fig. 4.27). Estos elementos formarán parte de nuevas estrellas y quién sabe si de nuevos planetas. En uno de éstos, la Tierra, surgió la vida y los seres humanos. Por tanto podemos decir que **nuestro cuerpo está hecho de polvo de estrellas**.

2.3. Muerte de las estrellas

El proceso que siguen las estrellas en su última fase va a depender de la masa inicial. Si la masa es menor de 1,5 masas solares, se forma un **enana blanca**; si la masa se encuentra entre 1,5 y 3 masas solares, se forma una **estrella de neutrones**; finalmente, si la masa es superior a 3 veces la del Sol, da lugar a un **agujero negro**.

2.3.1. La agonía del Sol. Una curiosidad nos puede inquietar: ¿cómo y cuándo dejará el Sol de emitir luz? El proceso de agonía del Sol seguirá las fases de una estrella gigante roja (fig. 4.28).

- En primer lugar, cuando se acabe el hidrógeno del núcleo, comenzará a "quemar" el de las capas superficiales. Las capas exteriores se expandirán; en ese momento el Sol englobará hasta la órbita actual de la Tierra. Nuestro planeta alcanzará temperaturas elevadas y la vida desaparecerá. Pero esto ocurrirá dentro de unos 5.000 millones de años.



- Cuando la temperatura en el centro del Sol sea de unos 100 millones de grados centígrados, se producirá una gran liberación de energía y una enorme luminosidad. Se encontrará en la fase de gigante roja.
- Posteriormente expulsará una gran masa de gases, formando una nebulosa planetaria, mientras que la estrella colapsará con un brillo todavía apreciable.
- Finalmente se convertirá en una **enana blanca**, hasta su total extinción. La materia se comprimirá, alcanzando una densidad de 1 Tm/cm^3 con un radio de sólo unos miles de kilómetros.

Pero no todas las estrellas morirán de la misma forma. Si la masa de la estrella se encuentra entre 1,5 y 3 masas solares, la estrella se contraerá mucho más. El núcleo sufre un colapso catastrófico, alcanzando densidades del orden de 10^{16} g/cm^3 . En este caso los electrones se incrustan con los protones del núcleo para formar neutrones. Simultáneamente se produce una gran explosión de las capas exteriores, dando lugar a una **supernova**, como posteriormente veremos. Si el Sol se convirtiera en una estrella de neutrones, cosa que no es posible debido a su masa, el radio de 1.400.000 km que ahora ocupa toda la materia quedaría reducido a sólo 15 km.

Una estrella de este tipo no sería posible "verla" ni con el más poderoso telescopio, pues emite muy poca luz. Sin embargo emiten periódicamente otro tipo de radiaciones, como rayos X y rayos γ . Por medio de los radiotelescopios es posible detectar la energía que emiten estas estrellas de neutrones, que actúan como faros celestes; son los denominados **púlsares** (fig. 4.29).

2.3.2. Agujeros negros. Uno de los cuerpos celestes, sobre los que el gran público muestra actualmente un interés creciente, son los agujeros negros. Parece ser que proceden de estrellas con una masa superior a 3 veces la del Sol. La materia que poseen se concentra en un volumen muy reducido, de tal forma que la densidad se hace muy elevada. La materia no tiene sentido tal como nosotros la concebimos, con átomos formados por núcleo y corteza. Esta última desaparece y los propios núcleos atómicos llegan a colapsar. Si se tratase de un pequeño agujero negro de una masa como la Tierra, ésta se concentraría en una esfera de 1 cm de diámetro.

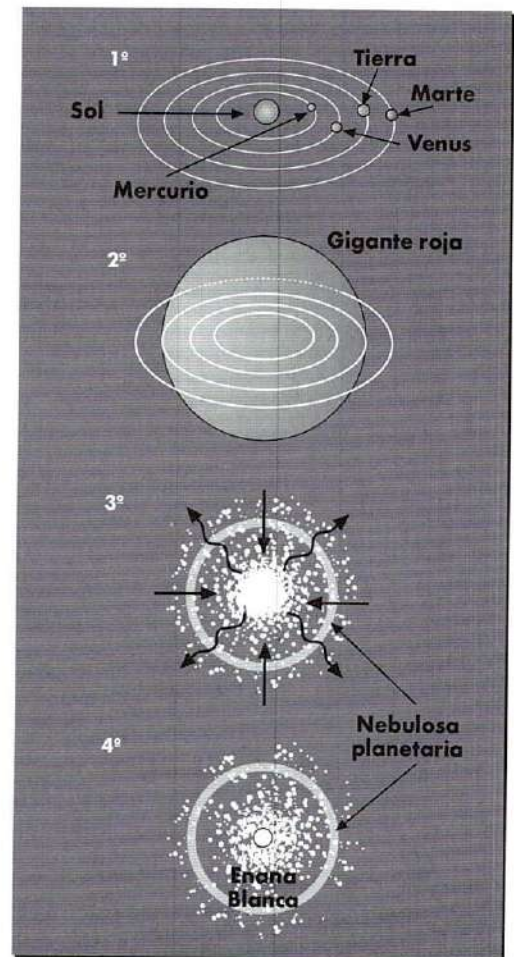


FIGURA 4.28. Evolución final del Sol.

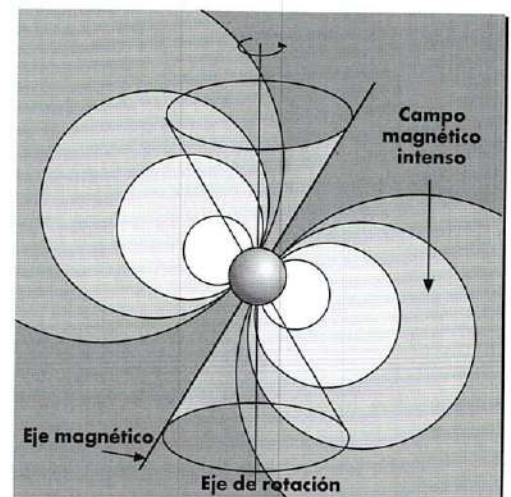


FIGURA 4.29. Esquema de un púlsar.



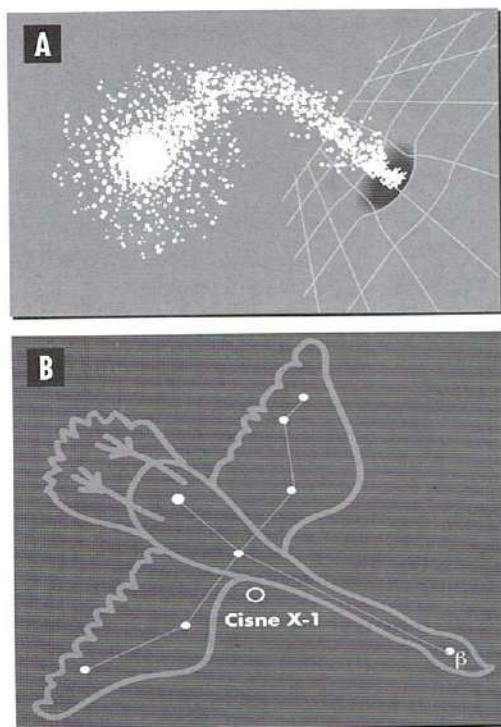


FIGURA 4.30. a) Representación ficticia de un agujero negro. b) Cisne X-1 posible agujero negro.

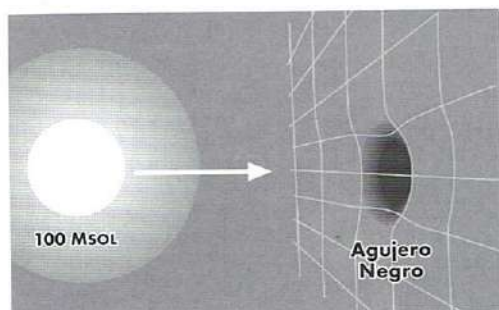


FIGURA 4.31. Agujero negro con una masa de 100 soles.

En esta situación, la aceleración de la gravedad que posee es muy elevada. Atrae a todo objeto que se encuentre a su alrededor. Es decir, todo aquello que captura ya no puede salir de él. La velocidad necesaria para escapar de ellos es superior a 300.000 km/s. La luz y cualquier otra radiación que emita no podrá escapar. Entonces, ¿cabe pensar que todo el Universo fuera absorbido por los agujeros negros? En realidad éstos poseen una gravedad increíblemente elevada, pero su radio de acción es relativamente pequeño. El Universo es lo suficientemente grande como para que la mayor parte de su masa no sea capturada por agujeros negros.

Por otra parte, éstos no pueden ser observados, pues no emiten nada en absoluto. Entonces ¿cómo es posible detectar su presencia? Como ya hemos dicho, los agujeros negros proceden de estrellas de gran masa y, a veces, éstas van acompañadas de otra compañera. Se ha observado que hay estrellas que van siendo engullidas por otro cuerpo celeste "invisible". En la actualidad, los científicos hablan de candidatos a agujeros negros. Uno de ellos es Cisne X-1, llamado así por encontrarse en esta constelación (fig. 4.30). Se cree que hay más de 100.000 millones de agujeros negros en la Vía Láctea, pero nunca tendremos noticia de la mayoría de ellos, por no ir asociados con otra estrella. La ciencia-ficción especula con que un agujero negro, del que no conocemos su existencia, se acerca al Sistema Solar y nos engulle. Y, ¿si fuera cierto?



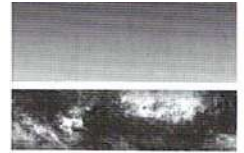
CUESTIONARIO

- Supongamos que un agujero negro procede de una estrella con una masa de 100 soles concentrada en un volumen de una esfera de 10 m de diámetro. Calcula la aceleración de la gravedad que poseería un objeto situado en su superficie (fig 4.31).

$$M_{\text{sol}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

2.3.3. Novas y supernovas. El 4 de julio de 1054, astrónomos chinos observaron un fenómeno espectacular. Apareció una estrella muy brillante, en la constelación de Toro, que brillaba como la Luna en la fase de cuarto creciente. Era tan bri-





llante que se podía ver incluso de día. Este hecho también fue observado por los indios anasazi (fig. 4.33). El fenómeno se produjo repentinamente, para luego ir disminuyendo progresivamente durante meses, hasta que se fue apagando. Astrónomos actuales han observado en esa zona del espacio una nebulosa denominada del Cangrejo debido a su forma (fig. 4.32 y 4.83).

Los datos dados por los chinos eran tan precisos que no había lugar al error: la explosión de la nueva estrella y la nebulosa del Cangrejo corresponden al mismo cuerpo celeste. Hoy día se sabe que estas enormes explosiones de luz no corresponden con la formación de estrellas, sino con el final agónico de estrellas de gran masa que antes de apagarse emiten un último suspiro.

Debido a la luminosidad emitida se puede distinguir entre novas (brillantes) y supernovas (superbrillantes). Las primeras son más frecuentes. En la actualidad, los astrónomos aficionados descubren, igual que hacen con los cometas, entre 10 y 15 novas al año. Sin embargo, en los últimos siglos no han aparecido explosiones de supernovas en la Vía Láctea. Pero, ¿cómo distinguirlas?, podía ocurrir que confundiéramos una nova cercana con una supernova más alejada.

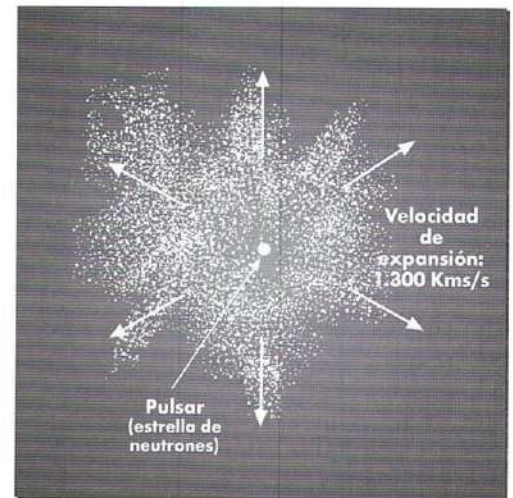


FIGURA 4.32. Nebulosa del Cangrejo.



FIGURA 4.33. Representación de la supernova de 1054 por los indios anasazi. La roca está situada a la región de los cañones de Nuevo México.



¿SABÍAS QUE...?

Sólo se entendió la diferencia entre novas y supernovas cuando en los últimos 50 años se detectaron las supernovas en otras galaxias. Son las siguientes:

- Una supernova es mil veces más potente que una nova.
- Una supernova puede durar meses o años, a diferencia de los días que dura una nova.
- Las novas pueden volver a volver a explotar al cabo de una decena de años, hecho que no se produce en las supernovas.

Después de aventurar varias teorías, los astrónomos creen haber dado con el mecanismo que produce estas explosiones. Proceden de un conjunto de dos estrellas muy próximas, una enana blanca y una supergigante roja. La enorme gravedad produ-





FIGURA 4.34. Sistema binario de una nova.

cida por la enana blanca provoca que vaya capturando parte de la masa de su estrella vecina (fig. 4.34). Este hecho hace que, en la enana blanca que se encontraba dormida, se produzcan en poco tiempo y violentamente nuevas fusiones nucleares que tienen como resultado la expulsión, al exterior, de enormes cantidades de energía. Puede ocurrir que el proceso afecte:

- A las capas superficiales de la enana blanca y se produce la formación de una nova.
- Al conjunto de toda la estrella y ésta estalla en su conjunto; se produce una espectacular explosión o supernova.

No obstante, las supernovas pueden originarse también en el proceso final de la vida de una estrella, asociada con la formación de una estrella de neutrones y agujeros negros. En el núcleo tienen lugar cambios repentinos: se calientan, se expansionan, se contraen, produciendo nuevas reacciones nucleares que llegan a romper el equilibrio. Como resultado, la estrella experimenta una gigantesca explosión, emitiendo la mayor parte de su material al espacio. Es probable que se produzcan momentáneamente temperaturas tan elevadas que lleguen a formarse elementos pesados como el uranio y los transuránidos.



CUESTIONARIO

8. Las estrellas supernovas pueden superar su brillo en 20 magnitudes. ¿Cuántas veces más brillante será una supernova en relación con la estrella de la cual procede?

En nuestra galaxia tenemos conocimiento de supernovas en los años 185, 1006, 1054, 1181, 1572 y 1604. Esta última fue observada por Johannes Kepler. Recientemente se han descubierto dos supernovas fuera de nuestra galaxia, en los años 1987 y



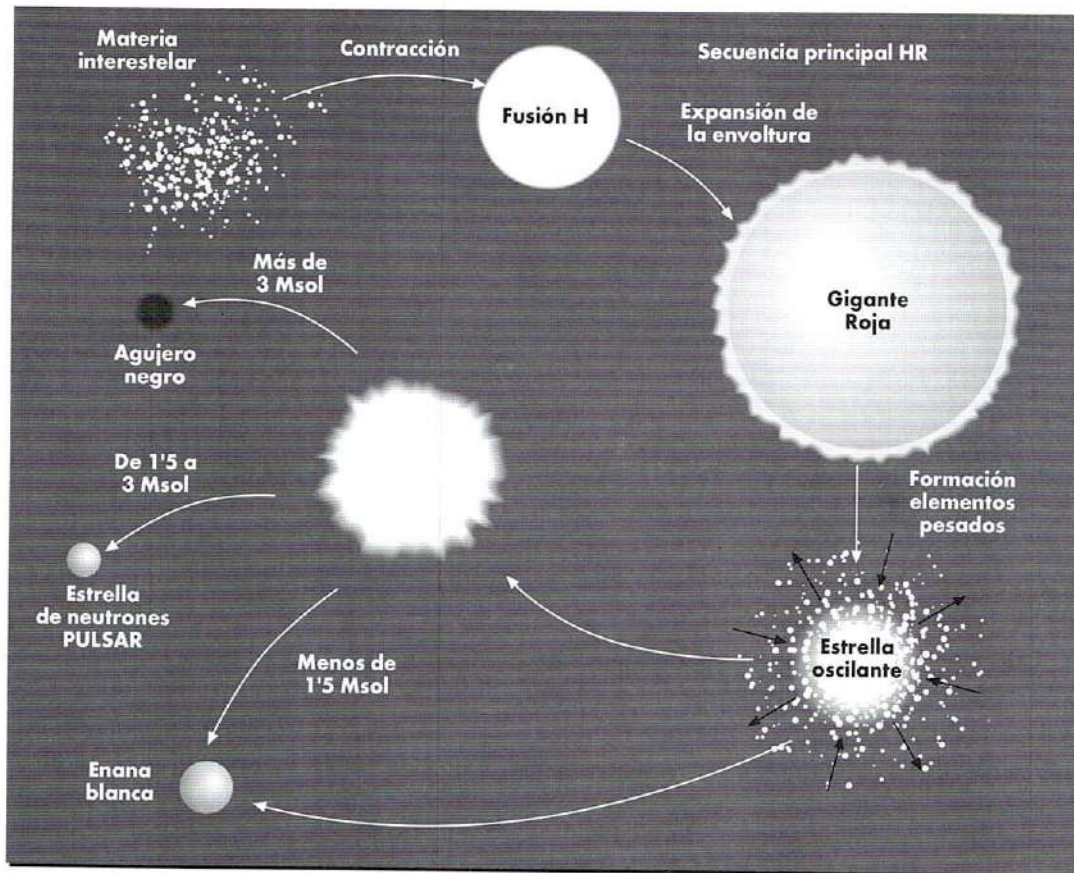


FIGURA 4.35. Evolución de una estrella en función de su masa inicial.

1993. La última fue descubierta recientemente por un astrónomo aficionado de Lugo. Betelgeuse, a 700 años luz, en la constelación de Orión, es una candidata a supernova, pues es una gigante roja que pierde constantemente masa y se encuentra en los momentos finales de su vida. Si se convirtiera en una supernova, daría una luz superior a la de Luna llena, pero deberíamos protegernos de la cantidad de Rayos UV que llegarían a nuestro planeta. La figura 4.84 nos muestra los restos de la explosión de una supernova.

El esquema anterior representa las posibles evoluciones de la estrellas, en función de su masa. La masa inicial de la estrella para que evolucione finalmente como enana blanca, estrella de neutrones o agujero negro no se puede precisar con exactitud (fig. 4.35).



La masa inicial de una estrella va a ser la clave en la evolución final de ésta:

- Si la masa inicial es menor de 1,5 Msolares → Estrella de neutrones
- Si la masa inicial se encuentra entre 1,5 y 3 Msolares → Estrella de neutrones
- Si la masa inicial es mayor de 3 Msolares → Agujero negro

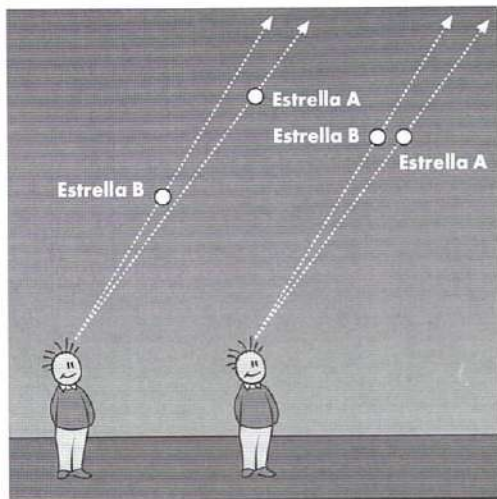


FIGURA 4.36. Diferencia entre un sistema doble óptico (derecha) y un sistema doble físico (izquierda).

3. AGRUPACIONES DE ESTRELLAS

3.1. Estrellas dobles

Si miras con unos prismáticos a la estrella Mizar, situada casi al extremo de la Osa Mayor, observarás que ésta lleva asociada una compañera, Alcor. Ambas estrellas están separadas $11,8'$ y es posible distinguir las incluso a simple vista, pues sus magnitudes $2,4$ y 4 y su separación angular lo permiten. Ambas estrellas están separadas $0,25$ años-luz y sólo por casualidad aparecen a muy poca distancia una de la otra cuando se las observa desde la Tierra. Estas parejas se denominan **estrellas dobles ópticas**, pero no tienen ninguna relación entre sí (fig. 4.36).

Si miramos nuevamente a Mizar, pero esta vez con un telescopio, podemos advertir que tiene junto así a otra estrella mucho más próxima, a sólo $14,4''$. En un principio se creyó que se trataba de una nueva casualidad, ambas estrellas estaban de nuevo en la misma dirección (fig. 4.37). Se fueron descubriendo infinidad de estrellas dobles, muchas más de las que se pudieran esperar por el simple azar. No podía darse un número tan grande de casualidades. Años más tarde se demostró que esta pareja de estrellas, y otras muchas, interaccionaban entre sí. Es decir, estaban situadas a una distancia lo suficientemente pequeña como para que una de ellas girase alrededor de la otra. O para ser más exactos, ambas estrellas giran una alrededor de la otra. Los astrónomos las denominan **estrellas dobles físicas o binarias**. Éstas son las que realmente interesan a los científicos y hay que destacar que existen catalogadas más de 80.000 estrellas binarias, pero se calcula que alrededor del 50% de las estrellas "viajan" con otra compañera. Se las conoce por el nombre de la estrella principal. Algunas parejas son realmente hermosas, como la δ del Delfín, de colores naranja y amarillo, o la β del Cisne, de tonos oro y azul.

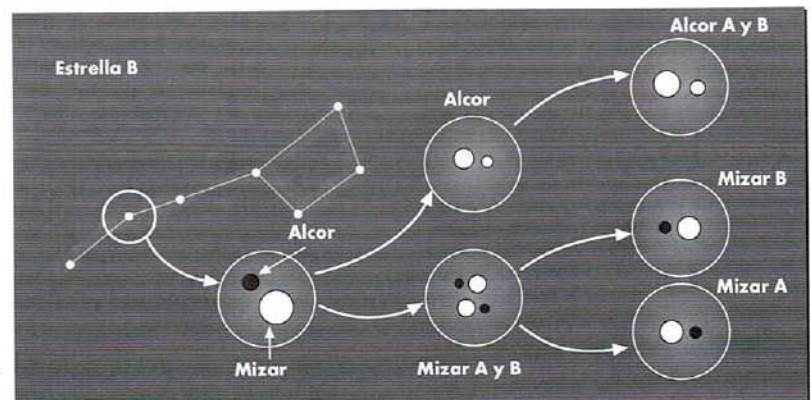


FIGURA 4.37. Detalle del sistema Mizar-Alcor.



En algunos casos, la luminosidad de las binarias varía con el tiempo. Cuando una estrella eclipsa a la otra, es decir, se sitúa delante de ella, la luz que emiten disminuye. Por el contrario, cuando una se encuentra junto a la otra, la luminosidad aumenta. Ésta fue una de las causas por la que se distinguieron las dobles ópticas de las binarias. Este pareja de estrellas que se eclipsan mutuamente se denominan **binarias eclipsantes**. Un ejemplo muy conocido de este tipo lo constituye Algol en la constelación de Perseo, la luminosidad varía entre 2,1 y 3,4 (fig. 4.38).

Uno de los hechos más increíbles es el período de revolución del sistema. Hay binarias con un período de días o incluso de horas. En el caso de la doble β -Lyra se trata de dos gigantes azules próximas entre sí. La enorme masa de sus componentes hace que el período de revolución sea sólo de 13 días y que tengan la forma de balones de rugby (fig. 4.39). Hay casos en los que la deformación es tan grande que las estrellas adoptan forma de pera. En otros casos el período puede ser de varios años.

En ocasiones se observa que una estrella presenta un movimiento anómalo girando alrededor de un punto del espacio. Se trata de un sistema doble en el que una de las estrellas es invisible. Existe una hipótesis que supone que el Sol lleva asociada una compañera invisible, Némesis, que cada 26 millones de años se acerca al Sol provocando enormes catástrofes en la Tierra. El último acercamiento coincidió con la extinción de los dinosaurios. Pero sólo se trata de una hipótesis.

3.2. Cúmulos de estrellas

3.2.1. Cúmulos abiertos. Cerca de la constelación del Toro se encuentra un grupo de estrellas muy juntas y brillantes, son las Pléyades o cabrillas. A simple vista podemos observar un conjunto de siete estrellas, mirando con unos prismáticos vemos alrededor de 40 y un telescopio detecta más de 250. Se trata de un grupo de estrellas jóvenes y azuladas de 60 millones de años de promedio; se encuentran, por tanto, en su infancia. Este conjunto de estrellas relativamente próximas entre sí, situado a unos 410 años-luz, tuvo un origen común. Constituyen lo que se denomina un **cúmulo abierto** (fig. 4.40 y 4.85). El doble cúmulo en la constelación de Perseo pertenece también a esta clase (fig. 4.86).

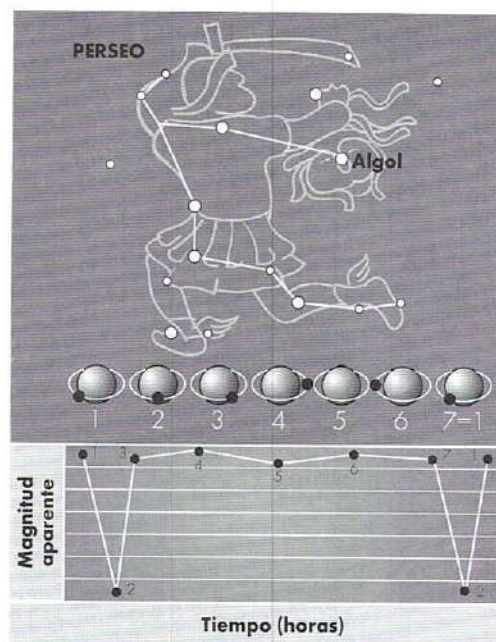


FIGURA 4.38. Sistema binario eclipsante que forman la estrella Algol y su compañera, situadas en la constelación de Perseo.

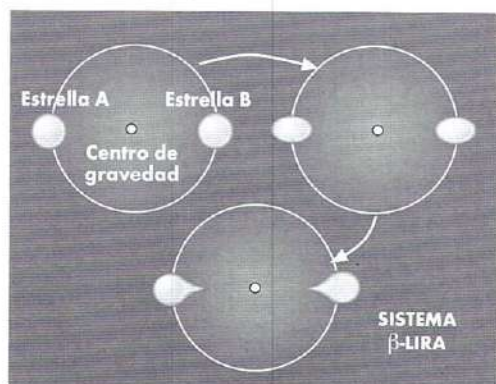


FIGURA 4.39. Deformación de las estrellas que forman el sistema binario β -Lyra.

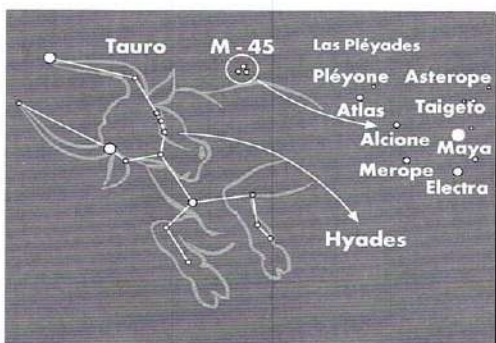


FIGURA 4.40. a. Situación de los cúmulos de las Pléyades y de las Híades en las proximidades del Toro. b. Detalle de las estrellas que forman las Pléyades o M 45.



PRACTICA EN CASA

Observa a simple vista el cúmulo de las Pléyades y trata de identificar las siete estrellas principales. Mira ahora con unos prismáticos, ¿cuántas estrellas ves?, ¿puedes distinguir la nebulosa gaseosa que las envuelve? El número de estrellas aumenta si observas con un telescopio. Busca información sobre la mitología de este cúmulo de estrellas.

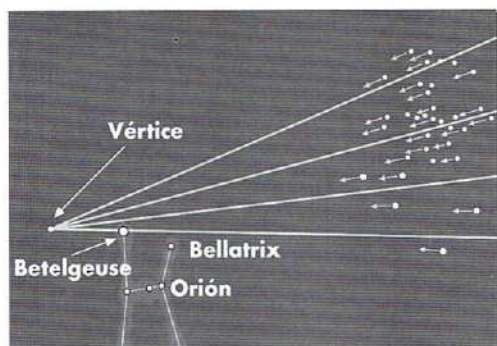


FIGURA 4.41. Convergencia del cúmulo de las Híades hacia la estrella Betelgeuse.

Otro cúmulo de este tipo lo forman las Híades, también en Tauro, alrededor de la estrella Aldebarán pero mucho más alejado que ésta, 135 años-luz frente a los 80 de la estrella. Está compuesto por unas 350 estrellas que se alejan del Sol a una velocidad de 32 km/s, y parecen converger hacia la estrella Betelgeuse de la constelación de Orión (fig. 4.41). Y no es que las Híades se estén acercando unas a otras, sino que se alejan de nosotros, y cuanto mayor sea la distancia nos parecerán más juntas. Es semejante a la visión que tiene un juez de salida, en una carrera de 100 metros, al alejarse los atletas parece que se juntan entre sí.

En la Osa Mayor, cinco de sus siete estrellas principales se mueven en la misma dirección. Este dato permite deducir que se trata de un cúmulo abierto. Es como una familia que se dirige junta por un camino común. Pero lo que resulta aún más sorprendente es que la brillante estrella Sirio, perteneciente al Can Mayor, que está muy alejada en la bóveda celeste, se mueve en la misma dirección que dichas estrellas; pertenece por tanto a la misma familia.

3.2.2. Cúmulos globulares. Frente a los cúmulos abiertos existe otra agrupación de estrellas en forma de globo o enjambre, son los cúmulos globulares. A diferencia de los cúmulos abiertos, no se pueden identificar fácilmente las estrellas individualmente, sino que existe un núcleo compacto y una serie de estrellas situadas en dirección radial. Pueden poseer cincuenta mil, cien mil y hasta medio millón de estrellas. En el centro del cúmulo la densidad de estrellas es realmente grande; pueden estar separadas unas 10 horas-luz, aproximadamente la distancia del Sol a Plu-



**FIGURA 4.42.**

A. Dibujo ilustrativo del cúmulo M 13 desde un posible planeta cercano.

B. Situación del cúmulo globular de M 13 en la constelación de Hércules.

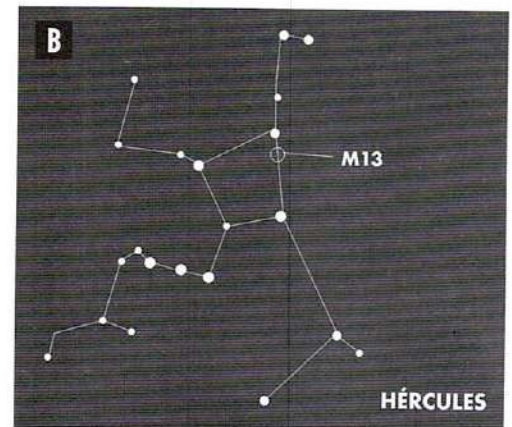
tón. Si el Sol perteneciera a un cúmulo cerrado, cosa que es imposible porque los cúmulos más cercanos se encuentran enormemente alejados de nosotros, por la noche brillarían más de 10.000 estrellas de 1^o magnitud o incluso más brillantes. Pero esto que parecería maravilloso nos impediría ver la luz del resto de objetos celestes más alejados. Probablemente distinguiríamos varios soles en pleno día.

Los cúmulos globulares son los objetos más viejos del Universo, y por tanto están formados por estrellas a punto de extinguirse. Incluso el corazón de los mismos está formado por cadáveres de estrellas, lo que sugiere la existencia de estrellas de neutrones y agujeros negros.

Destacan por su grandeza el cúmulo M 13, en la constelación de Hércules (fig. 4.42. y 4.88)

También hay que destacar el cúmulo M 3 en los Perros de Caza, aunque se han catalogado infinidad de ellos (fig. 4.87).

Aparte de las estrellas, para nombrar los demás objetos celestes se emplean fundamentalmente el Catálogo de Messier y el New General Catalogue (NGC). Messier era un astrónomo francés cuya especialidad consistía en la búsqueda de cometas; elaboró su catálogo con la idea de evitar la confusión de nebulosas, cúmulos y galaxias con auténticos cometas. Charles Mes-



sier publicó su catálogo entre 1771 y 1784. El New General Catalogue fue desarrollado por J. L. Dryer y publicado en 1888. Contiene muchos más objetos que el de Messier, pero algunos aparecen en ambos. En la práctica se utiliza los números del catálogo de Messier si existen, y los números del NGC para los restantes objetos. Las Pléyades se identifican por M 45, mientras que la nebulosa de Hélice, no incluida por Messier, se identifica como NGC 7.293. Estos números son particularmente útiles para la clasificación de los cúmulos y las galaxias, ya que muchos de ellos no tienen nombres particulares.

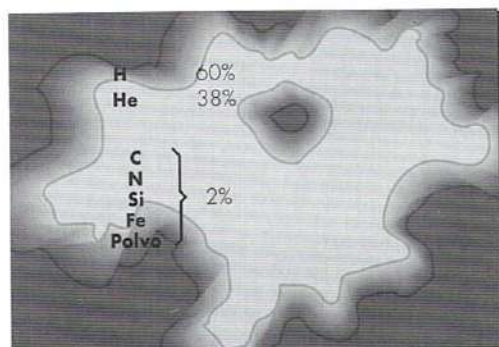


FIGURA 4.43. Proporción de los elementos químicos que forman una nebulosa.

4. NEBULOSAS

La mayor parte del espacio que ocupa el Universo es casi vacío, la densidad de átomos por unidad de volumen es prácticamente nula. Por el contrario, la masa parece concentrarse en cuerpos determinados, las estrellas o sistemas solares. Pero entre ambas situaciones existen unos objetos de baja densidad que resultan muy atractivos para un observador que disponga de un pequeño telescopio: las nebulosas. Éstas se originan como la primera o la última fase de la vida de una estrella. Como ya indicamos anteriormente, las estrellas expulsan parte de su materia al exterior antes de enfriarse definitivamente. Pero a su vez las nebulosas pueden contraerse, colapsar y dar origen a nuevas estrellas. Existe un flujo de materia constante entre las estrellas y las nebulosas. Sin embargo, en este ciclo parte de la materia permanece en forma de enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros.

Las nebulosas presentan diversas coloraciones, ya sea porque emiten luz propia o porque reflejan la luz procedente de estrellas cercanas. En ellas se han encontrado los siguientes elementos químicos: hidrógeno (60%), helio (38%) y un 2% restante de elementos como carbono, nitrógeno, silicio y hasta hierro. Generalmente suelen ser gaseosas, aunque se han encontrado pequeñas partículas sólidas de silicio del tamaño de una micra (0,001 mm). De cada 100 partes de la nebulosa, 99 son de gas y 1 de polvo, que corresponde al silicio (fig. 4.43).

Pero lo más curioso es que en el interior de las nebulosas hay verdaderas moléculas, como son el agua (H_2O), monóxido de carbono (CO), alcoholes y compuestos orgánicos más complejos. Se ha relacionado las nebulosas con el origen de la vida.

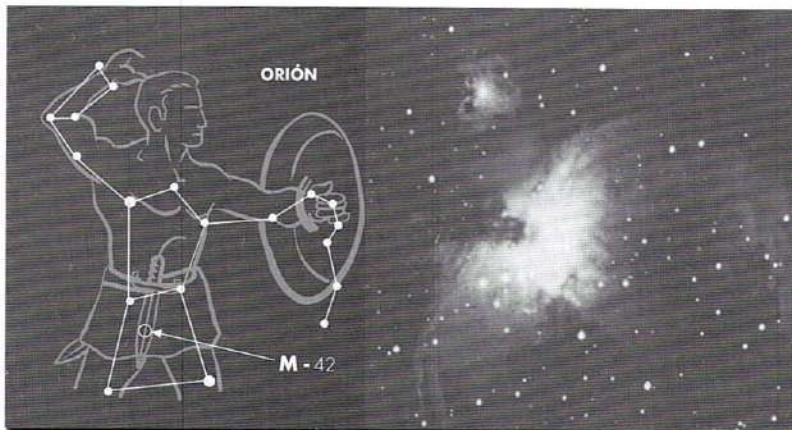


FIGURA 4.44. Situación y detalle de M 42, la Gran Nebulosa de Orión.

Pero quizás esto sea sólo una coincidencia y, por tanto, una trampa más que nos presenta el Universo.

Dentro de las nebulosas podemos distinguir las siguientes clases:

4.1. Nebulosas de emisión

En la constelación de Orión, por debajo de su cinturón, es posible observar a simple vista una mancha lechosa; se trata de la Gran Nebulosa M 42, de un bella tonalidad rojiza (fig. 4.44 y 4.93). Ésta y otras semejantes emiten luz propia. El proceso es el siguiente: la luz ultravioleta que proviene de una estrella cercana excita los electrones de los átomos de hidrógeno de la nebulosa; posteriormente, éstos pierden su excitación y emiten la energía en forma de luz roja o incluso en infrarrojo. Nebulosas de este tipo son las de Norteamérica, La Laguna y Roseta (fig. 4.90, 4.91 y 4.92).

4.2. Nebulosas de reflexión

Cerca de la constelación de Sagitario se encuentra la nebulosa Trífida M 20, que aparece dividida en tres partes, de donde viene su nombre. En este caso la estrella no es lo suficientemente caliente como para poner el gas incandescente. Lo único que hace es reflejar la luz azul que proviene de la joven estrella contenida en su interior (fig. 4.45).

4.3. Nebulosas oscuras

También en la constelación de Orión se encuentra la nebulosa Cabeza de Caballo, debido a su parecido con este animal.

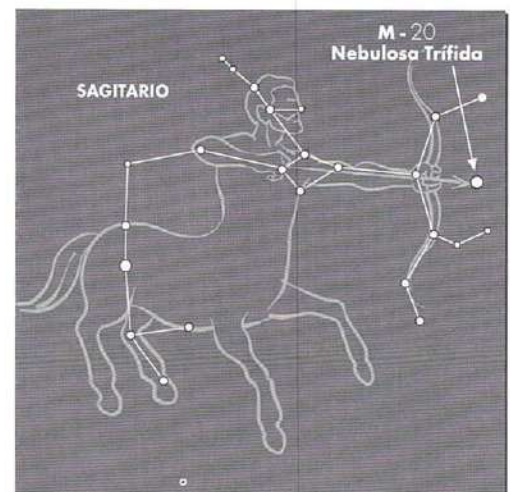


FIGURA 4.45. Situación y detalle de M 20, la nebulosa Trífida.

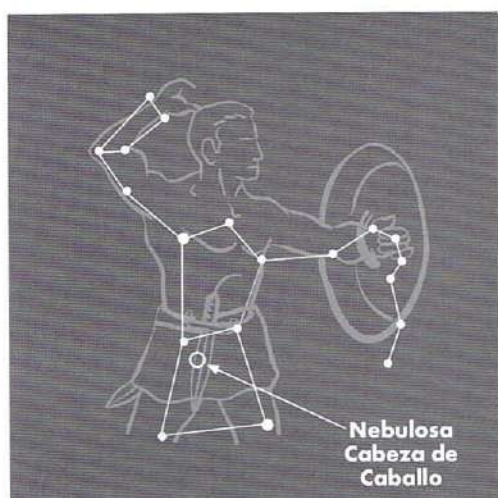


FIGURA 4.46. Situación de la nebulosa Cabeza de Caballo.

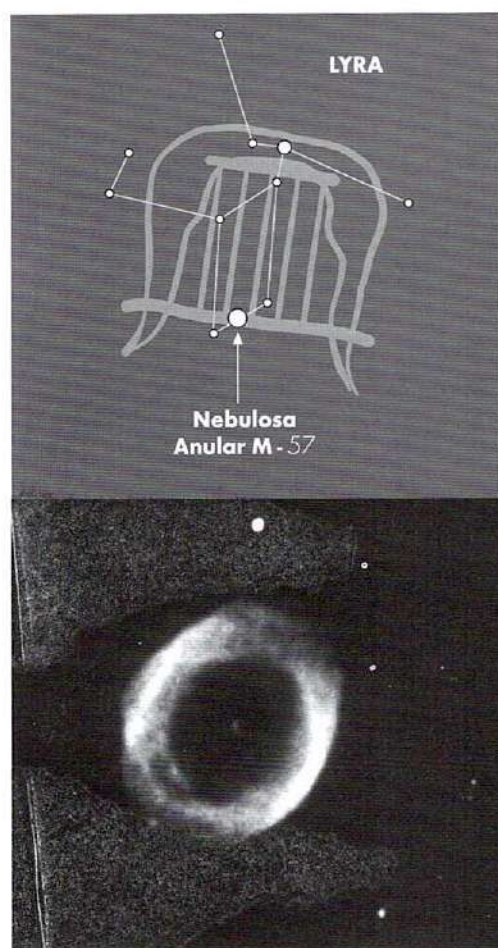


FIGURA 4.47. Situación y de talla de la nebulosa planetaria de Lira.

Se trata de una nebulosa de emisión brillante de hidrógeno rojizo, "la nube de polvo" oscuro con la Cabeza de Caballo se encuentra delante de aquélla. El material oscuro es polvo. En ella los átomos no están ionizados, ni reflejan la luz de ninguna estrella (fig. 4.46). El Universo está lleno de esta masa oscura que nos impide ver objetos brillantes que se encuentran más alejados. En la actualidad no sólo se detecta la luz visible sino también otras radiaciones no visibles, como son los rayos infrarrojos, ultravioleta, rayos x, radiación d, etc. Esto nos permite conocer los objetos celestes de forma mucho más precisa.

4.4. Nebulosas planetarias

En la constelación de Lira es posible observar un maravilloso anillo; se trata de M 57 o nebulosa de Lira. Como ya sabes, proviene de la evolución de la fase de gigante roja. En el centro se observa la presencia de una estrella enana blanca y a su alrededor un halo de varios colores. El anillo es de color azul en su parte interior, lo que indica que refleja la luz de la estrella. En el exterior es de color rojo, debido a la emisión propia de radiación. Realmente si pudiéramos observar toda la masa de la nebulosa, ésta sería una esfera continua alrededor de la estrella, cuyo interior emite radiación ultravioleta y el exterior infrarroja, ambas invisibles (fig. 4.47). Otras nebulosas de este tipo son la Hélice, Dumbell y NGC 6543 en la constelación del Dragón (fig. 4.93, 4.94 y 4.95).

5. GALAXIAS

5.1. La Vía Láctea

Seguramente muchos de vosotros habéis oído hablar de la Vía Láctea o Camino de Santiago. Se trata de una mancha lechosa que al parecer orientaba a los peregrinos de la Edad Media que se dirigían hacia la ciudad de Santiago en busca del jacobeo compostelano (fig. 4.48). Si miramos esta mancha con unos buenos prismáticos observaremos que está formada por infinidad de estrellas que, debido a su proximidad, es imposible distinguir y que dan a esta zona del cielo un aspecto lechoso (fig. 4.96 y 4.97).

Nuestro Sol no está aislado, forma parte de una familia, una increíble familia compuesta por más de 100.000 millones de estrellas, de las cuales, por la noche, sólo observamos una mínima par-





te. Esta agrupación de estrellas forma nuestra **galaxia** o Vía Láctea, que tiene forma de espiral. Si se observa "lateralmente" se asemeja a un disco con un abultamiento en la zona central (fig 4.49). Se pueden distinguir las siguientes partes:

- **El núcleo central** tiene forma de elipsoide. Está constituido por una gran cantidad de estrellas viejas. Desde la Tierra, el núcleo se encuentra en la dirección de la constelación de Sagitario.
- **El disco** tiene unos 100.000 años luz de diámetro, y su espesor es menor que el del núcleo central, 6.500 años-luz. En él hay todo tipo de estrellas en distinto grado de evolución.
- En **los brazos espirales** hay estrellas jóvenes que se hallan inmersas en zonas de polvo y gas, las nebulosas, donde nacen nuevas estrellas. Hay cuatro grandes brazos: Sagitario, Norma, Orión y Perseo. El Sistema Solar se encuentra en uno de estos brazos, el de Orión. La mancha lechosa que observamos desde la Tierra corresponde a los brazos más próximos al nuestro.
- **El halo** envuelve al núcleo y en él se encuentran los cúmulos globulares, formados por estrellas viejas.

La galaxia rota de forma que las estrellas más próximas al centro giran a más velocidad y las más alejadas lo hacen más lentamente.

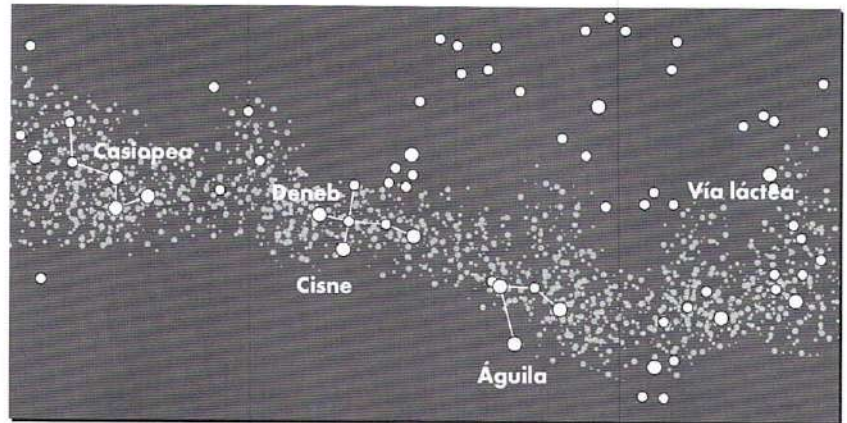


FIGURA 4.48. Imagen de la Vía Láctea en una noche de verano.

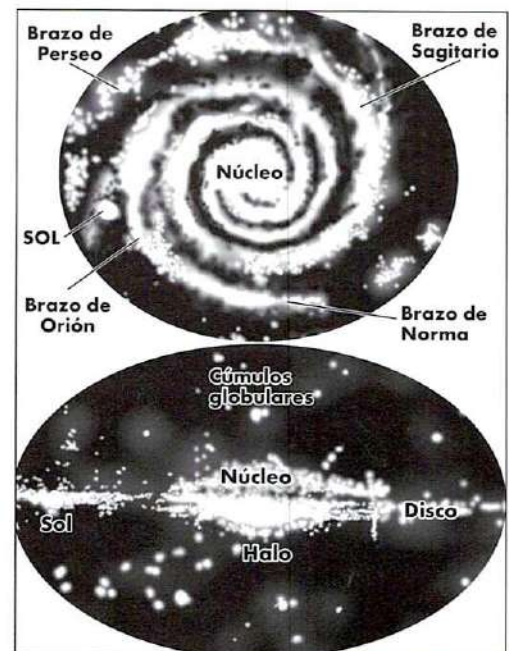


FIGURA 4.49. Visión frontal y lateral de La Vía Láctea.



CUESTIONARIO

9. Sabiendo que el Sol se encuentra a unos 30.000 años-luz del centro de la galaxia y que el tiempo que tarda en dar una rotación completa alrededor de la galaxia es de 250 millones de años, calcula la velocidad de traslación del Sol (fig. 4.50).
10. En el siglo XVI Copérnico defendía la teoría heliocéntrica; por el contrario, otras instituciones eran partidarias del geocentrismo. ¿Qué piensas de esta polémica?



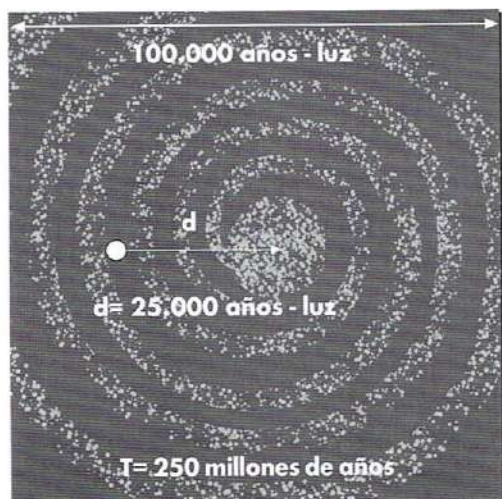


FIGURA 4.50. Dimensiones de la Vía Láctea.

5.2. Tipos de galaxias

El objeto extragaláctico más fácilmente observable, desde el hemisferio norte, es M 31 o galaxia de Andrómeda, una mancha difusa y alargada de magnitud 4,9 en la constelación del mismo nombre. Es una galaxia semejante a la Vía Láctea que se encuentra a 2 millones de años-luz de nosotros, sin embargo en una noche cerrada es posible observarla a simple vista. Pero a menor distancia que Andrómeda, y visibles desde el hemisferio sur, se encuentran otras dos galaxias, que se cree que están asociadas a la nuestra, son la Pequeña y la Gran Nube de Magallanes, esta última se encuentra tan cercana a la Vía Láctea, a 0,5 años-luz, que incluso se detectan fenómenos de mareas mutuas (fig. 4.51 y 4.100).

Según hemos indicado, la Vía Láctea tiene forma de disco, o de espiral, dependiendo de la situación del observador. Andrómeda es un sistema con forma de espiral que vemos con un ángulo oblicuo, de forma que los brazos espirales aparecen algo deformados. Por tanto, desde la Tierra la forma de las galaxias dependerá del ángulo bajo el cual las observamos. Pero existen galaxias de diversas formas. La clasificación más utilizada es la realizada por Hubble. Este astrónomo creía que se podría tratar de una secuencia en la evolución de las galaxias, pero realmente no aportaba pruebas para demostrar su teoría. Hoy día los astrónomos han descartado la teoría evolutiva, pero la clasificación sigue siendo válida.

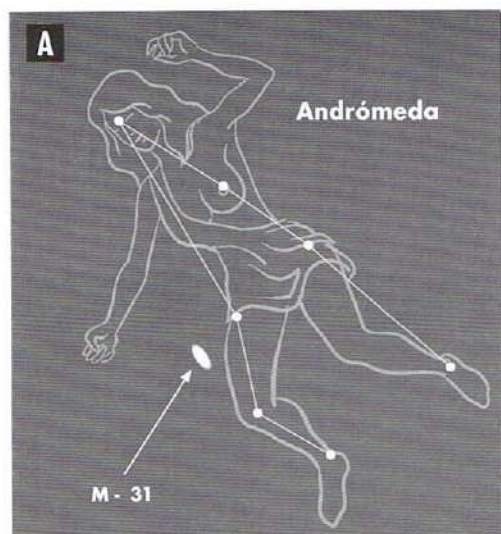


FIGURA 4.51. Localización (A) y detalle (B) de la galaxia de Andrómeda.





Se distinguen los siguientes tipos de galaxias (fig. 4.52):

- **Galaxias elípticas**, tienen forma de elipse y se clasifican, dependiendo de su grado de achatamiento, en siete grupos, desde las redondeadas hasta las muy deformadas.
- **Galaxias espirales**, corresponden aproximadamente el 40% de las conocidas. Éstas son galaxias de gran tamaño y, por tanto, se detectan a mayor distancia. Pueden distinguirse dos tipos:
 - **Espirales normales**, aparece un núcleo y unos brazos a su alrededor, a este grupo pertenecen la Vía Láctea y Andrómeda.
 - **Espirales barradas**, contienen una barra de material que atraviesa su centro.
- **Galaxias irregulares**, las más abundantes tienen forma alargada aunque amorfa.
- **Enanas esferoidales**, son las más pequeñas y emiten poca luz, pero cada vez se van descubriendo más galaxias de este tipo.

FIGURA 4.52. Clasificación de las galaxias.

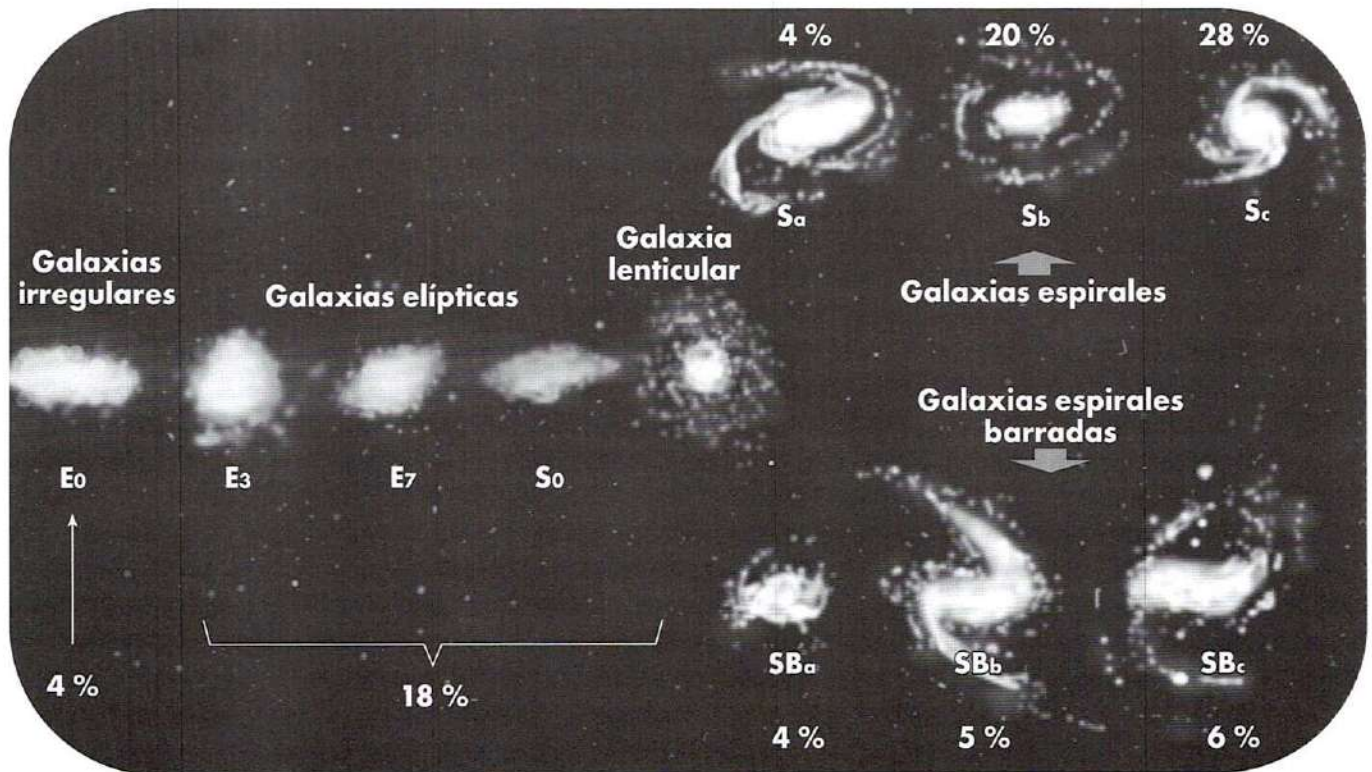




FIGURA 4.53. Galaxia elíptica M 32, compañera de Andrómeda.



FIGURA 4.54. Galaxia espiral M 33 o NGC 598; pertenece a la constelación del Triángulo. Es una galaxia espiral a 3,6 años luz que pertenece al Grupo Local.



FIGURA 4.55. Galaxia espiral barrada NGC 1300 situada en la constelación del Río (Eridanus). Se observa la banda de polvo a lo largo de su brazo central. Se halla a 50 millones de años-luz.



FIGURA 4.56. Edwin Hubble. Fundador de la astronomía extragaláctica, fue el primero en reflexionar sobre la forma de las galaxias.



Las figuras 4.53, 4.54, 4.55, 4.98, 4.99, 4.101, 4.102 y 4.103 nos muestran distintos tipos de galaxias.

5.3. Agrupaciones de galaxias

Las galaxias tienden a agruparse. La Vía Láctea pertenece al denominado Grupo Local. Corresponden a él todas aquellas que se encuentran a menos de 3,26 millones de años-luz o, lo que es lo mismo, 1 megapársec. Actualmente se conocen 29 galaxias dentro del Grupo Local, entre las que se encuentran: Andrómeda, las nubes de Magallanes y la nebulosa espiral M 33 (fig. 4.57).

En la dirección de la constelación de Virgo se han encontrado centenares de galaxias, a una distancia entre 45 y 60 millones de años luz, que constituyen una familia de grupos de galaxias, o **cúmulo de galaxias** (fig. 4.58). Al cúmulo de Virgo pertenecen el Grupo Local, el de la Osa Mayor o el de Sculptor y otros muchos. Estos cúmulos están formados por centenares de galaxias y suelen estar presididos por una o varias galaxias espirales supergigantes que parecen ocupar el centro del cúmulo. Además del cúmulo de Virgo podemos destacar otros conocidos, como son el de Pegaso, el de Piscis, el de Perseo, etcétera.

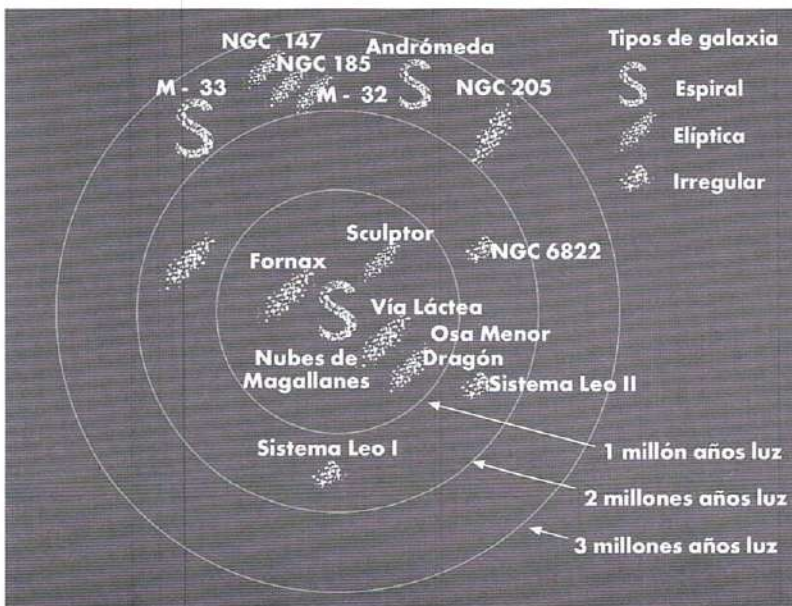


FIGURA 4.57. Grupo Local de La Vía Láctea.





FIGURA 4.58. Cúmulo de galaxias en la constelación de Virgo.

Pero a su vez, estos cúmulos próximos al nuestro, el de Virgo, parece que se agrupan en estructuras más grandes, los **supercúmulos de galaxias**, formados por miles de galaxias a una distancia de unos 350 millones de años luz. Es decir, el Universo está formado por agrupaciones cada vez de mayor tamaño y número de objetos. Pero ¿dónde está el límite?

5.4. Quásar

En 1963 se descubrió un objeto celeste que emitía ondas de radio de gran intensidad, se le denominó quásar (acrónimo inglés de radio fuentes cuasi estelares). Estos objetos se hallan a distancias enormes, el más alejado se encuentra a una distancia de 16.000 millones de años-luz. Pero hay algo contradictorio en ellos. Emiten una energía 10.000 veces superior a las galaxias más brillantes, como Andrómeda; y sin embargo su tamaño es muy inferior, 1 año luz frente a los 150.000 años luz de Andrómeda. ¿Cómo es posible que una galaxia tan pequeña emita tanta energía? La respuesta todavía no está clara, pero las teorías más convincentes indican que se trata de galaxias muy activas o, mejor dicho, de

núcleos de galaxias muy activas. Un ejemplo de éstos es el quásar 3C 273 en la constelación de Virgo (fig. 4.59). Hay que tener en cuenta que se encuentran a distancias del orden de 15.000 años luz; es decir, la luz tarda en llegar a nosotros 16.000 millones de años, que es la edad que se cree que tiene el Universo. Estamos observando cómo eran los quásares cuando se formó el Universo, pero quizás hoy día hayan evolucionado. ¿Es posible que todas las galaxias en sus instantes iniciales fueran potentes quásares?

Todo esto nos lleva a una interesante reflexión: cuando por la noche observamos el cielo estrellado, estamos viendo cómo era cada uno de los cuerpos celestes, planetas, estrellas, nebulosas, cúmulos, galaxias, quásares, en su pasado, y cuanto mayor es su distancia mayor es su pasado. Observamos cómo era la Luna hace 1 segundo, cómo era Júpiter hace 35 minutos, cómo era la estrella polar hace 40 años, cómo era Betelgeuse hace 512 años, cómo era Andrómeda hace 2 millones de años, cómo eran los quásares hace 15.000 millones de años. ¡Y todo ello a la vez! (fig. 4.60).



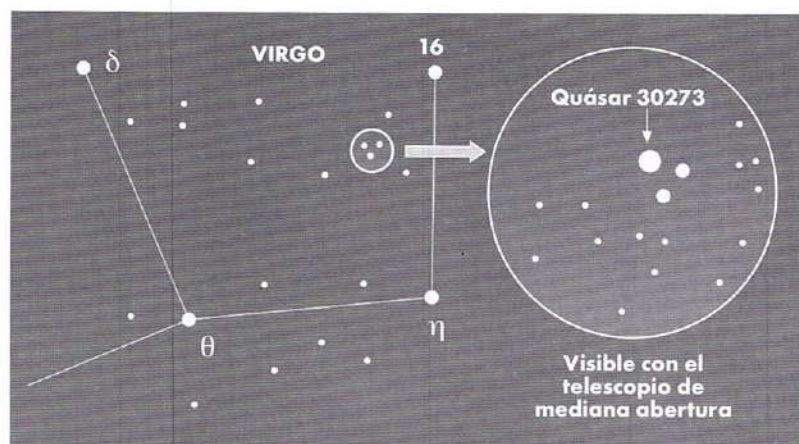


FIGURA 4.59.
Quásar 3C 273 en la constelación de Virgo.

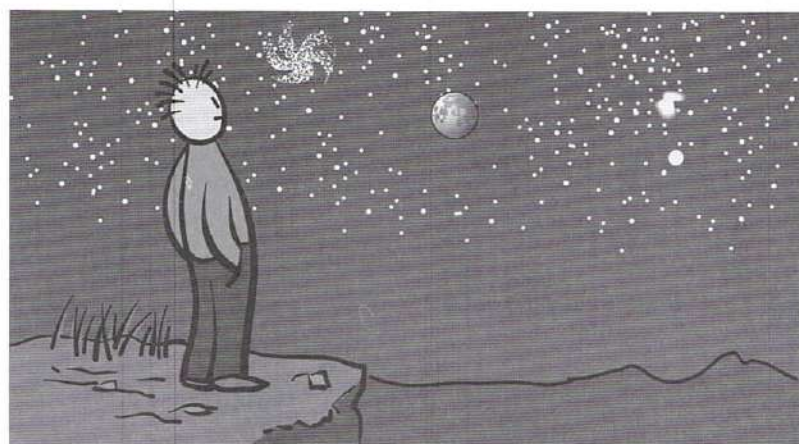


FIGURA 4.60. El tiempo que tarda en llegar la luz de un objeto depende de la distancia a la que se encuentra.

6. FORMACIÓN DEL UNIVERSO

6.1. El efecto Doppler

¿Cómo es posible medir la velocidad con que se mueven las galaxias y los quásares que se encuentran tan alejados? Cuando estudiábamos las estrellas, indicábamos que para saber si una estrella se aleja o se acerca de nosotros se emplea el efecto Doppler. Veamos en qué consiste. El sonido y la luz transmiten su energía por medio de las ondas. En ellas podemos distinguir valles y crestas.

Cuando un tren se acerca a una estación, el sonido que emite al sonar su bocina se hace ligeramente agudo, mientras que al alejarse el mismo sonido se vuelve más grave. ¿A que se debe esta variación? Al acercarse el tren avanza en el mismo sentido que nos llega el sonido, las ondas sonoras se juntan, aumenta su frecuencia y por tanto el sonido se vuelve más agudo. Al alejarse



Se define la longitud de onda, λ , como la distancia entre dos valles consecutivos y la frecuencia, f , como el número de ondas que nos llega en la unidad de tiempo. La frecuencia y la longitud de onda son inversamente proporcionales. A mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa. Pero, a su vez, la frecuencia está en relación directa con la energía que transmiten las ondas. Ahora bien, los distintos tonos que tienen los sonidos corresponden a distintas frecuencias. Los sonidos graves corresponden a frecuencias bajas, mientras que los sonidos agudos corresponden a frecuencias altas. De igual forma, los distintos colores que forman la luz visible se diferencian por su frecuencia, el rojo es el de menor frecuencia, mientras que el azul tiene mayor frecuencia y energía (fig. 4.61).



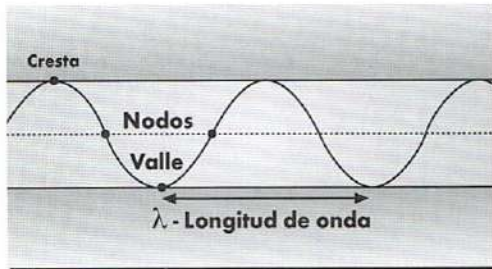


FIGURA 4.61. Esquema de una onda.

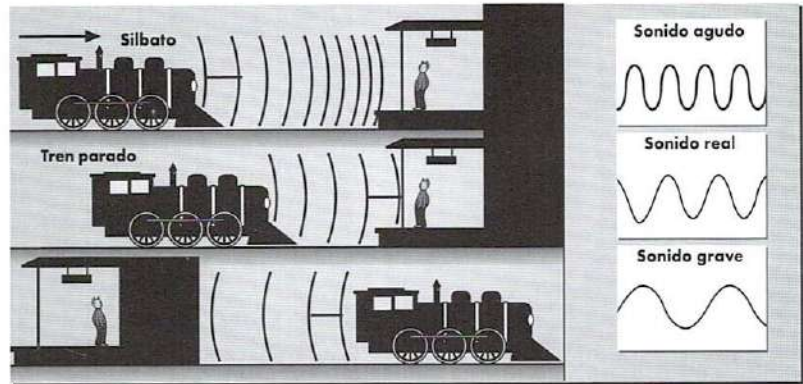
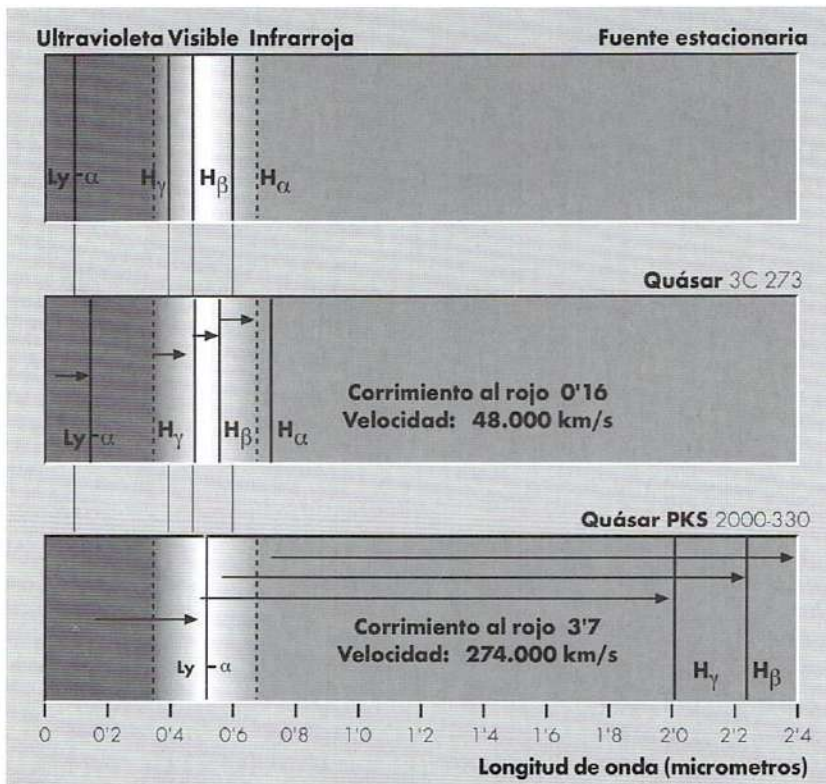


FIGURA 4.62. Variación de la frecuencia del sonido cuando un tren se acerca o se aleja.

el tren se mueve en distinto sentido que el sonido, las ondas se estiran, disminuye su frecuencia y por tanto oímos la bocina más grave (fig. 4.61).

FIGURA 4.63. Corrimiento hacia el rojo.

- A. Espectro de una fuente estacionaria
- B. Espectro del quásar 3C 273, corrimiento hacia el infrarrojo
- C. Espectro del quásar PKS 2000-330, corrimiento hacia la luz visible.



Si en lugar de sonidos un objeto emite luz, como es el caso de las estrellas, cuando se acerca las ondas luminosas se comprimen, aumenta la frecuencia y la luz se observa ligeramente azulada. Si el objeto se aleja, las ondas se separan, disminuye la frecuencia y la luz se vuelve de color rojizo. Este efecto es lo que los astrónomos han denominado **corrimiento hacia el rojo**. ¿Quiere esto decir que todas las estrellas azules se acercan y las rojas se separan? La respuesta es no. Este efecto es independiente de la propia luz que emite la estrella. Lo que ocurre es que al analizar una estrella cuyo tipo es conocido (O, B, A, F, G...) se comprueba que las rayas de su espectro aparecen desviadas hacia la zona del rojo. El grado de separación de las rayas del espectro nos da la medida de la velocidad con la que se aleja la estrella (fig. 4.63).

6.2. Expansión del Universo

Los astrónomos han observado que todas las galaxias se alejan de nosotros, y cuanto mayor es la distancia, mayor es la velocidad de separación. Para los quásares más alejados, la velocidad puede ser de unos 100.000 km/s, que



se aproxima bastante a la velocidad de la luz. Esto llevó al astrónomo británico Edwin Hubble en 1929 a formular la teoría de la expansión del Universo.

Consideremos el siguiente ejemplo. Si hinchamos un globo ligeramente y dibujamos en su superficie puntos A, B, C, D... que representan las diferentes galaxias, todas ellas se alejan unas de otras, y la velocidad de separación es tanto mayor cuanto mayor es la distancia que las separa (fig. 4.64). De igual forma, todas las galaxias se separan entre sí, sin poder indicar que una de ellas se encuentra en el centro y todas las demás se separan de ella.

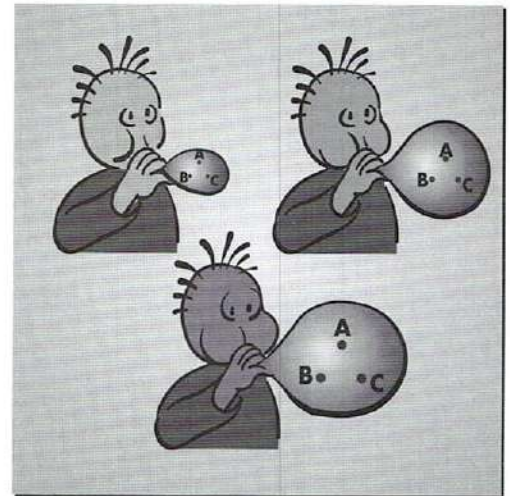


FIGURA 4.64. Las galaxias A, B, C... se separan todas entre sí.



PRACTICA EN CASA

Entre dos compañeros podéis fabricar un sencillo modelo que representa la expansión del Universo. Toma un globo e hínchalo un poco. Tu compañero dibuja una serie de puntos a las distancias indicadas en la figura, que corresponden a las distintas galaxias. Vuelve a hinchar el globo y mide nuevamente la distancia de separación. Observa lo ocurrido:

Las galaxias ¿se acercan o se alejan?

¿Entre qué dos galaxias es mayor la velocidad de separación? Justifica tu respuesta.

Si todos los cuerpos que hay en el cosmos se separan, se debe a que el Universo se encuentra en expansión. A partir de aquí surgen dos teorías sobre la evolución del Universo. Si conocemos la velocidad de expansión, y retrocedemos en el tiempo, llegamos a la conclusión de que hace miles de millones de años el Cosmos estaba prácticamente contenido en un punto. En un momento determinado se produjo una gran explosión o **Big Bang**, se calcula que ésta se produjo en el pasado entre los 15.000 y 20.000 millones de años.

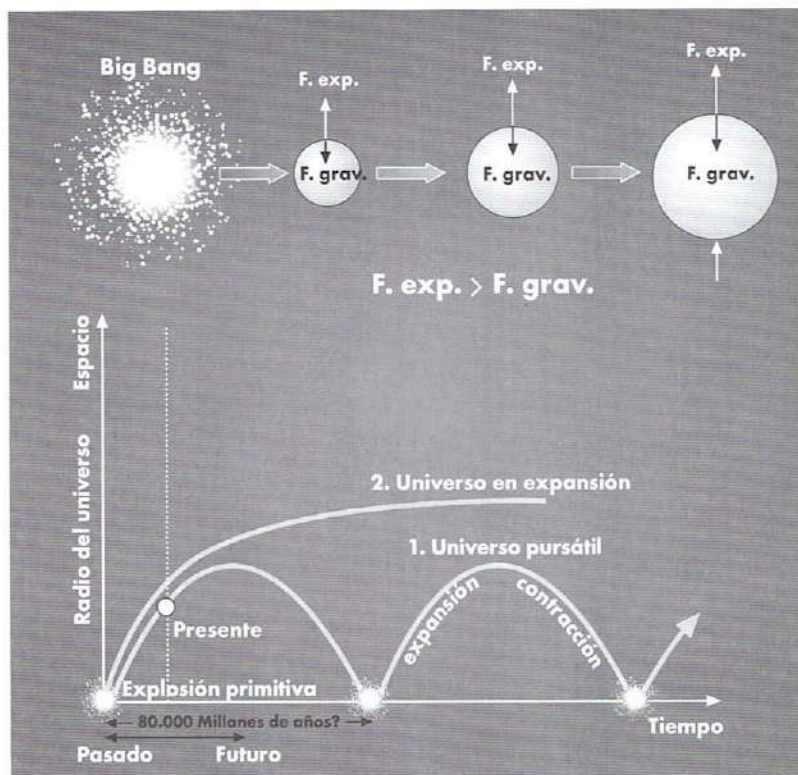
Además de preguntarnos por el pasado también nos interesa el futuro. En la expansión actual del Universo no hay discusión. En lo que existen discrepancias es ¿hasta cuando seguirá la expansión? El Universo está sometido a dos fuerzas que actúan en sentido contrario. Por un lado la fuerza expansiva, resultado del Big Bang; por otro lado, la fuerza gravitatoria, que tiende a concentrar las masas.



Si $F_{\text{expansión}} > F_{\text{gravitatoria}} \Rightarrow$ el Universo estará continuamente en expansión

La gravedad no será una fuerza suficiente para comprimir el Universo y éste se encontrará en una expansión continua e infinita en el tiempo, pero eso sí, cada vez más lenta.

Si $F_{\text{expansión}} < F_{\text{gravitatoria}} \Rightarrow$ el Universo se expande y se comprime



Llegará un momento en que empezará a comprimirse, se producirá un proceso contrario a la expansión con una duración similar de unos 20.000 millones de años. A partir de ahí se producirá una nueva explosión, y una nueva compresión. Esta teoría de evolución se denomina **Universo pulsátil**, pues recuerda a las pulsaciones del corazón con un período entre dos pulsaciones de por lo menos ¡80.000 millones de años! (fig. 4.65).

La fuerza gravitatoria depende de la masa total del Universo, y el valor de ésta no se conoce con exactitud. Gran parte de la masa es invisible para nuestros aparatos. Quizás en los próximos años, los telescopios situados fuera de la atmósfera permitan "descubrir" la masa oscura que hay en el Cosmos y con ella conocer el futuro del mismo.

FIGURA 4.65. Universo en expansión y Universo pulsátil.

7. ¿HAY ALGUIEN AHÍ?

Una de las preguntas que siempre han inquietado a la humanidad es la posibilidad de encontrar vida inteligente fuera de nuestro planeta. En los capítulos anteriores hemos visto lo pequeña que resulta la Tierra en el Sistema Solar, en la Vía Láctea y no digamos ya del Universo. Como ya se ha visto en la Unidad 2, a partir de los años sesenta se han desarrollado programas dirigidos tanto a emitir como a recibir mensajes de otros posibles seres inteligentes. Pero ello no quiere decir que los científicos se dediquen a investigar sobre la existencia de "marcianos". En este sentido existe la divulgación de informaciones, que nada tiene que ver con la ciencia, que tienden a crear confusión y falta de rigor en este campo.



7.1. Los radiotelescopios

Recuerda de la Unidad 1 que las ondas difieren unas de otras en su frecuencia ν , lo que es lo mismo, la longitud de onda, λ . Se denomina espectro electromagnético a todas aquellas ondas que viajan a la velocidad de la luz. Va desde las ondas de radio, de menor energía a la radiación γ , de gran energía (fig. 4.66).

?

CUESTIONARIO

11. La longitud de onda λ está relacionada con la frecuencia f mediante la fórmula $c = \lambda \cdot f$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío. Calcula la λ de una de onda del espectro electromagnético si su frecuencia es de $6 \cdot 10^{16}$ hertzios [ciclos/sg].

Sólo una parte de éste es visible, las ondas visibles, pero mediante otra serie de instrumentos es posible detectar diferentes formas de energía que nos manda el Universo, uno de ellos es el radiotelescopio.

Afortunadamente, la atmósfera terrestre es transparente a las ondas de radio. Un radiotelescopio es una antena de radio direccional que recibe el mismo tipo de señal que la radio convencional que tenemos en nuestra casa, pero que debe orientarse con gran precisión. Sin embargo, los radiotelescopios suelen ser espejos parabólicos. La superficie reflectante reúne las ondas de radio en un único punto, el foco, y de ahí se envía a un amplificador. De esta forma se consigue recoger, mediante estos aparatos, señales de radio muy débiles. El espejo puede llegar a tener un diámetro de 90 metros o más (fig. 4.67). Algunos de ellos apuntan en cualquier dirección, pero muchos están diseñados de tal forma que sólo se pueden mover de arriba abajo y utilizan la rotación de La Tierra para dotarse de movimiento circular, de este a oeste.

El radiotelescopio más grande del mundo se encuentra en Arecibo, Puerto Rico, que aprovecha un cráter natural en el terreno para convertirlo en una gigantesca antena de 300 metros de

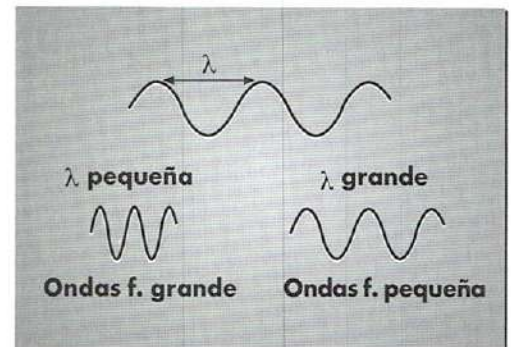


FIGURA 4.66. Relación entre la longitud de onda y la frecuencia.

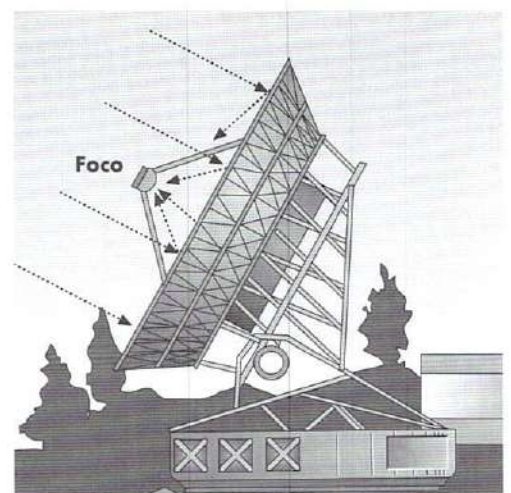


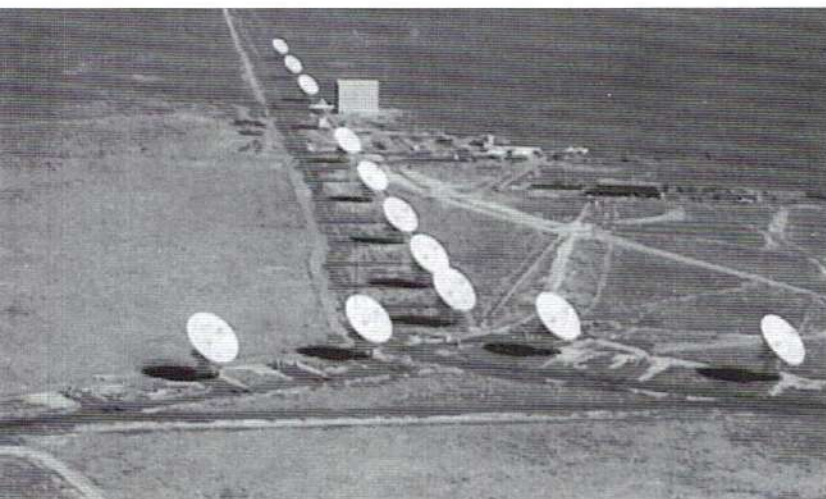
FIGURA 4.67. Esquema de un radiotelescopio.





FIGURA 4.68. Radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico).

FIGURA 4.69. Very Large Array (VLA), conjunto de 27 radiotelescopios que actúan de forma coordinada. Está situado en Socorro, en el estado de Nuevo México (EE.UU.).



diámetro. Como es lógico, su posición es fija, por lo que no puede apuntar en cualquier dirección. Sin embargo puede cambiar algo su orientación a través de la posición de la antena principal situada por encima del cráter. Esto le permite un radio de acción de 26° alrededor del cenit (fig. 4.68).

En otros casos varios radiotelescopios se pueden interconectar, de forma que las señales procedentes de varios de estos aparatos se unen entre sí, actuando como uno solo pero con un radio mucho mayor. Uno de ellos, situado en Socorro, Nuevo México (EE UU), combina 27 antenas parabólicas para formar un gigantesco radiotelescopio de 25 km de diámetro (fig. 4.69). Esta técnica se está extendiendo para combinar señales de antenas a lo largo de continentes.

Nuestro conocimiento actual de las galaxias se debe en gran medida a los radiotelescopios. La materia interestelar es transparente para las ondas de radio, de forma que podemos ver a través de las nebulosas como si no estuvieran presentes. En muchos casos objetos que emiten una luz muy débil son grandes fuentes emisoras de ondas de radio; entre estas tenemos Casiopea A, que se cree que es el resto de una supernova. Por otra parte, el núcleo de la Vía Láctea es una gran emisor de ondas de radio, y éste resulta invisible para los instrumentos ópticos. La combinación de varios radiotelescopios ha permitido determinar la posición de los cuásares con tanta precisión como para poder identificarlos con medios ópticos.

La radioastronomía no se limita a recoger pasivamente radiaciones del espacio, también emite señales y espera su vuelta una vez reflejadas en los cuerpos celestes. Este método sirve para medir la distancia a la Luna y los planetas más próximos. También se puede aplicar a estas señales el efecto Doppler, con lo que podemos saber por ejemplo si la fuente se acerca o se aleja, o si rota o no.

7.2. Proyecto Seti

El profesor Frank Drake concibió, en los años 60, una fórmula para calcular la cantidad de civilizaciones tecnológicas que puede haber



en nuestra galaxia. Un cálculo optimista arroja un saldo de 190 millones, como el número de planetas con vida inteligente en nuestra galaxia, mientras que los cálculos pesimistas establecen este número en unos 14.000. Otra historia es la posibilidad de contacto con estas supuestas civilizaciones. Estos datos permitieron desarrollar el proyecto SETI (búsqueda de inteligencia extraterrestre). Este proyecto ha ido desarrollando a lo largo de los últimos años diferentes programas con el mismo fin, la búsqueda de vida inteligente. Ésta puede ser tanto activa, mediante emisión de señales desde la Tierra, como pasiva, a través de la recepción de señales externas.

Frank Drake elaboró un mensaje destinado a otros seres inteligentes. Estaba constituido por una sucesión de 1.679 cifras binarias, 0 o 1, correspondiente a una tabla de 73 líneas de 23 caracteres cada una. El mensaje fue enviado al espacio en 1974 en la dirección del cúmulo estelar M 13, en la constelación de Hércules. M 13 es una agrupación de 300.000 estrellas a una distancia media de 25.000 años-luz, por lo que una posible respuesta no se recibiría hasta dentro de 50.000 años (fig. 4.70).

También en el año 1960 se comenzó la búsqueda pasiva. Como destino posible de tales transmisiones se consideran las estrellas semejantes al Sol, ya que son las mejores candidatas para poseer un sistema planetario semejante al nuestro. Se orientó el radiotelescopio de Green Bank hacia dos estrellas semejantes al Sol, ϵ Eridano y τ Ceti. Se captaron señales de radio en dirección de la primera estrella pero poco después se comprobó que la señal estaba generada por perturbaciones de origen terrestre. Posteriormente desde el telescopio de la universidad de Cambridge se recibieron, en otra dirección espacial, señales de radio de impulsos muy regulares, pero más tarde se descubrió que estas fuentes eran lo que hoy se conoce como estrellas pulsátiles o púlsares. Otra falsa alarma llegó en 1977 a la Universidad de Ohio, cuando el radiotelescopio

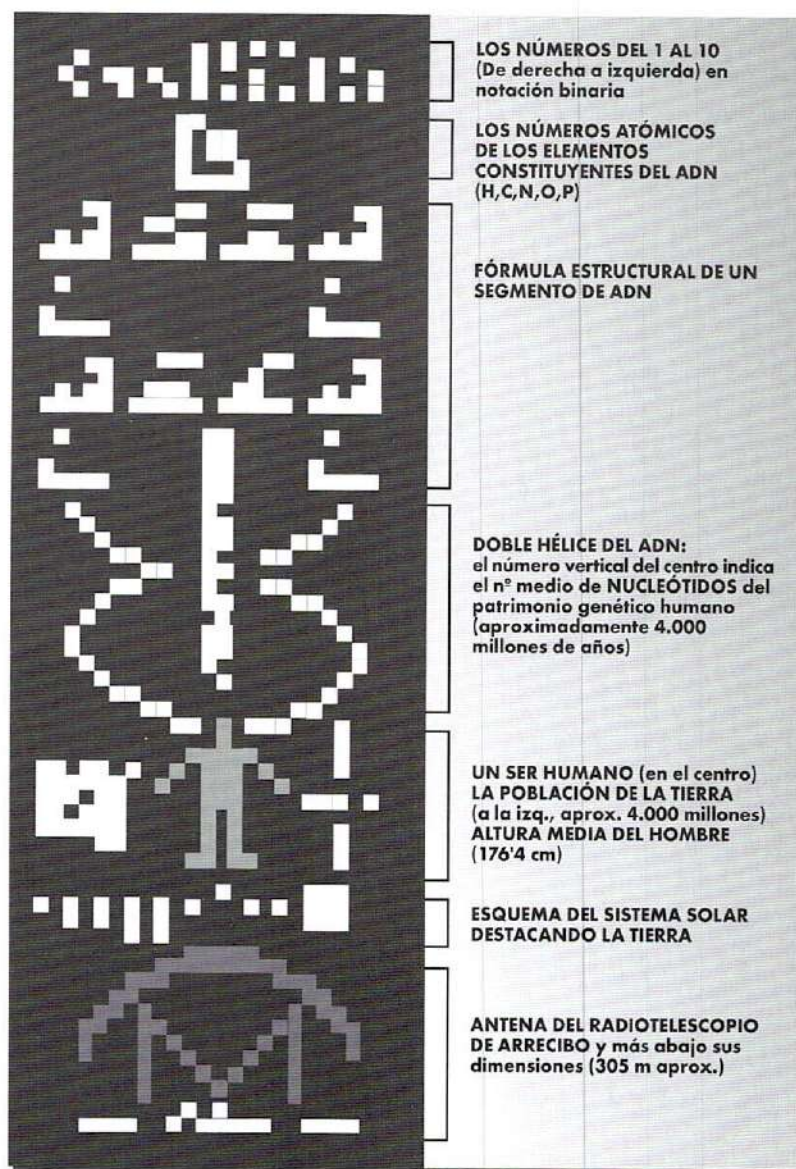


FIGURA 4.70. Mensaje de Frank Drake, dirigido a M 13, enviado desde Arecibo.

recibió una señal de tipo desconocido, pero ésta nunca se ha repetido, por lo que no fue posible identificar su origen.

En 1985 se inició el programa META, que con la ayuda de un potente ordenador puede recibir 8 millones de canales simultáneamente, para la captación de una eventual señal inteligente.

7.3. Mensajes en vehículos espaciales

Los progresos tecnológicos han permitido a los humanos construir avanzados vehículos espaciales automáticos que han sido lanzados para explorar el Sistema Solar. Después de terminar sus respectivas misiones siguen avanzando a través del espacio hasta llegar, quien sabe si en un futuro, a alguna estrella cercana. Estas sondas llevan grabados mensajes más completos, pero su velocidad, unos 70.000 km/h, es muy pequeña comparada con la de la luz. Entre estas sondas se encuentran el Pioneer 10 y el 11 y el Voyager 1 y 2.

El Pioneer 10 fue lanzado al espacio en 1973, se acercó a Júpiter y atravesó posteriormente la órbita de Neptuno. En 1993 ha perdido el contacto con la Tierra en los límites del Sistema Solar, y tardará unos 3.200 años en acercarse a otra estrella. Lleva un mensaje grabado sobre una placa de aluminio que fue ideado por Carl Sagan y Frank Drake (fig. 4.71).

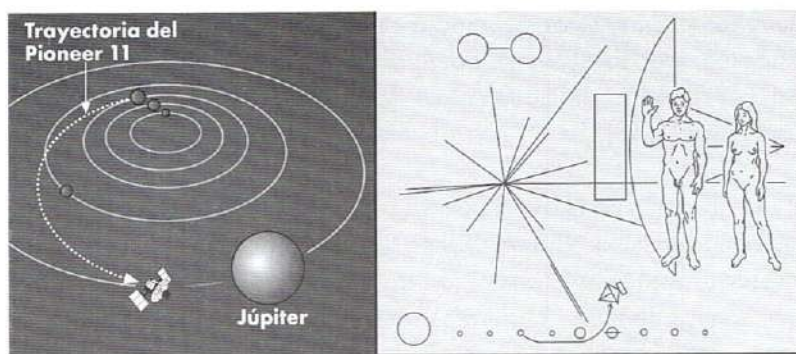
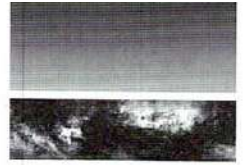


FIGURA 4.71. Trayectoria y mensaje del Pioneer 11.

Las sondas gemelas Voyager 1 y 2, lanzadas en el año 1977, tenían como principal objetivo la investigación de los planetas del Sistema Solar. Ambas llevaban grabado un mensaje en forma de "videodisco" donde se han incluido diferentes informaciones en forma de imágenes y sonidos relacionados con la vida en la Tierra. En concreto lleva información sobre especies animales y vegetales, el sonido de la voz humana en 60 lenguas dife-



rentes, fotografías científicas y de la vida cotidiana y 90 minutos de música de diversas regiones del mundo. El disco está fabricado en cobre, con una chapa de oro, y se encuentra dentro de una funda con instrucciones para su uso (fig.4.72).

7.4. Telescopios espaciales



CUESTIONARIO

12. Busca información sobre las naves Voyager I y II. Realiza un esquema de las trayectorias seguidas indicando la posición de los planetas. Anota las objetivos de cada una de ellas.

7.4.1. El telescopio Hubble. La atmósfera terrestre sólo es transparente para la luz visible y para las ondas de radio, otras radiaciones como el infrarrojo o el ultravioleta no llegan a la superficie del planeta. En el caso de las radiaciones infrarrojas se consigue situando los telescopios en altas montañas, aunque los resultados no siempre son satisfactorios. Por otra parte, en el mejor de los casos la visión de cualquier telescopio está condicionada por los fenómenos atmosféricos, nubes, viento, turbulencia, etc., hacen que muchas noches no sea posible la observación. Estas razones llevaron a un ambicioso proyecto, situar un telescopio fuera de la atmósfera que transmitiera las imágenes por radio a los observatorios terrestres. Esta idea llevó a la construcción del telescopio Hubble, que lleva el nombre del distinguido astrónomo. El aparato se puso en órbita a 600 km de altura, utilizando la lanzadera espacial norteamericana Discovery, el 24 de abril de 1990. Después de los primeros usos se comprobó que tenía una "ligera miopía". Fue necesario que dos astronautas salieran al espacio y repararan in situ el defecto observado, hecho que se ha realizado recientemente con éxito (fig. 4.73). El Hubble está capacitado para ver más lejos y con más nitidez que cualquier otro telescopio. Entre otros trabajos realizará un mapa de la superficie de Marte, estudiará los lejanos quásares e investigará el origen del propio Universo. Una de las tareas más interesantes será la de medir la distancia a otras galaxias, investigación por la que destacó el propio Edwin Hubble. Recientemente, mediante el estudio de otras nebulosas planetarias podremos saber cómo será la muerte del Sol.

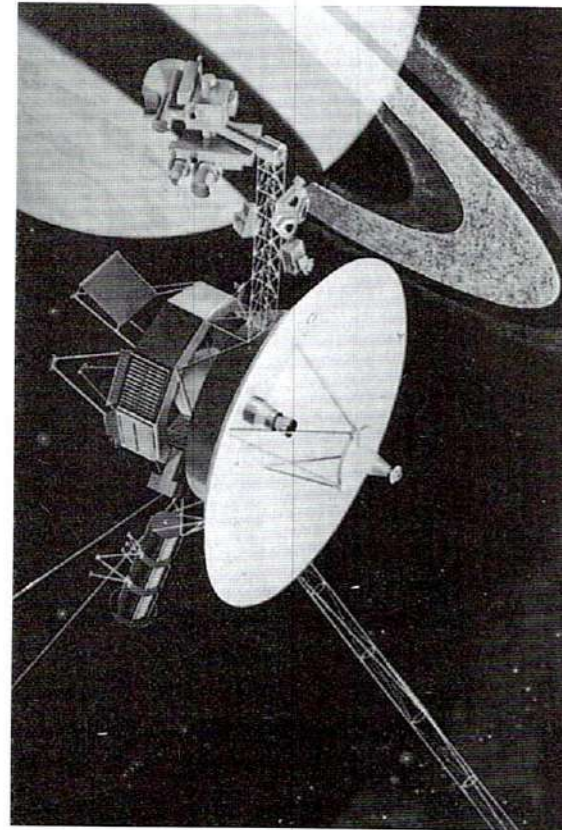


FIGURA 4.72. Sonda Voyager 2. Disco de cobre y funda del mismo con las instrucciones.

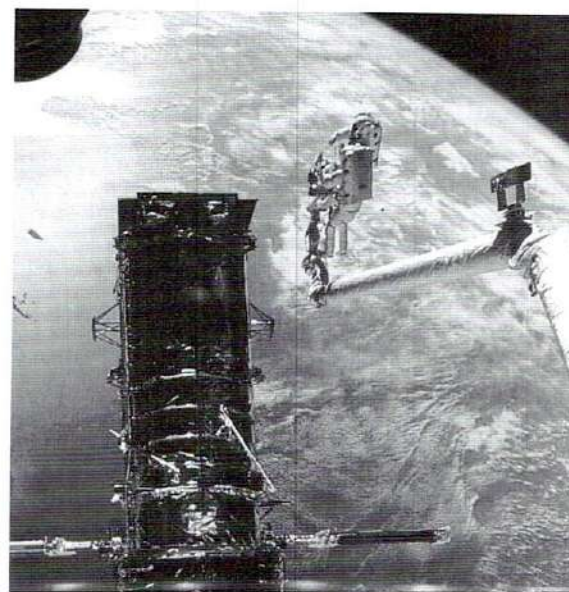


FIGURA 4.73. Astronautas reparando el telescopio Hubble.

8. TALLER

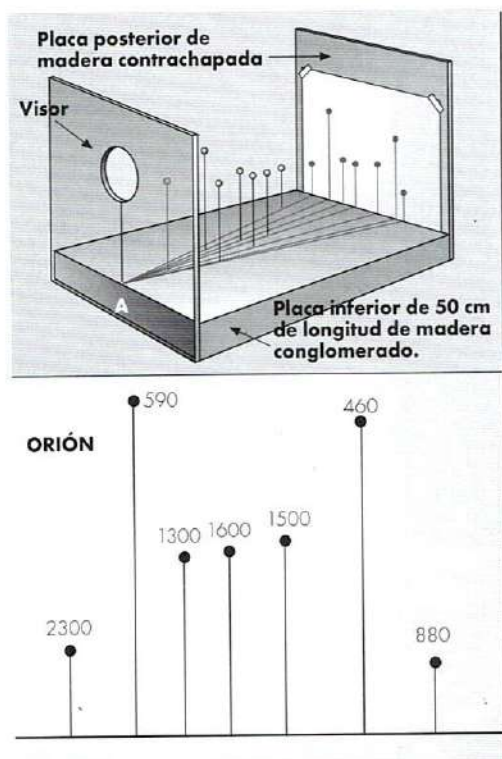
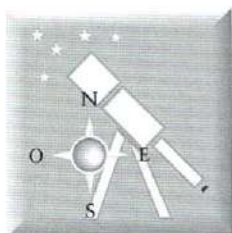


FIGURA 4.74. Maqueta de la constelación de Orión en tres dimensiones. Distancias en años-luz a las diferentes estrellas de la constelación.

8.1. Construcción de un modelo de constelación

Como ya debes saber, las constelaciones no son grupos de estrellas que estén próximas entre sí. Debido a la posición desde donde observamos el firmamento, la Tierra, parece que las estrellas de la Osa Mayor o cualquier otra constelación se encuentran muy juntas. A veces la distancias que las separan son increíblemente grandes. En realidad, las estrellas se sitúan en el espacio tridimensional, pero para simplificarlo las colocamos sobre una misma superficie esférica que llamamos bóveda celeste. Para comprenderlo mejor, a continuación vas a construir la constelación de Orión a escala, conservando las distancias que separan las estrellas entre sí (fig. 4.74).

CONSTRUCCIÓN

Necesitas el siguiente material:

- Plancha de aglomerado de 50 x 30 cm.
- Dos láminas de contrachapado de 4 mm de 30 x 30 cm.
- Una lámina de papel.
- Cuentas de madera.
- Alambres.
- Pegamento y pintura negra.

- Construye una caja abierta como en la figura. En la tabla delantera realiza un orificio de 1 cm de diámetro, será el visor.
- Dibuja la constelación de Orión de forma que ocupe una hoja (a tamaño triple del dibujo de la figura). Pega la hoja en la cara posterior. Se dibujan líneas sobre la cara inferior de forma que confluyan sobre el punto A.
- Se miden las distancias desde el punto A a cada una de las estrellas (utiliza la escala 1 cm = 50 años-luz). Agujerea la cara inferior de la caja con una broca fina en los sitios indicados de modo que se ajuste el alambre.
- Pasa las cuentas por los alambres de madera y pega éstos cuando, al mirar desde el visor, tape la estrella correspondiente.
- Prueba cuentas de distintos tamaños según la magnitud de las estrella.





- Antes de pegar los alambres puedes pintar el interior de la caja de negro y las estrellas con pintura fluorescente. El esquema nos indica la posición de las estrellas y su distancia en años-luz.

8.2. Observación nocturna (invierno)

Sin grandes aparatos, con nuestros ojos o con unos simples prismáticos, en una noche cerrada puedes ver algunos cuerpos celestes (fig. 4.75). Te invitamos a que realizar una serie de observaciones nocturnas, pero antes toma buena de lo siguiente: abrígate bien porque en un par de horas a la intemperie puedes coger frío. Lleva el siguiente material:

- Un planisferio o un plano de la bóveda celeste correspondiente a ese mes.
- Unos prismáticos si los tienes.
- Una linterna, a la que habrás puesto un papel rojo transparente para no deslumbrar a tus compañeros cuando hagas uso del planisferio.

Consulta previamente una revista especializada para saber la salida y puesta de los planetas.

MAGNITUD DE LAS ESTRELLAS

Observa las estrellas de la Osa Mayor. La última de ellas, Alkaid, es una estrella de 1ª magnitud. Sabiendo que una de 2ª magnitud brilla aproximadamente la mitad que una de 1ª, una de 3ª la mitad que una de 2ª y así sucesivamente, trata de indicar la magnitud de todas las estrellas que forman la Osa Mayor y la Menor. Indica el nombre de todas las estrellas de 1ª magnitud que veas, así como la constelación a la que pertenecen.

BRILLO DE LAS ESTRELLAS

Mira algunas de las estrellas más brillantes de la bóveda celeste, como: Betelgeuse, Rigel, Aldebarán, Sirio, Capella, Procyón, Cástor, Póllux. Con la ayuda del planisferio, localiza cada una de ellas según la época del año y la hora de observación. Anota el color que observas en cada una de ellas. Posteriormente, en clase, busca información del tipo de estrella de que se trata y la fase de “su vida” en la que se encuentra. Realiza un resumen en forma de tabla.



FIGURA 4.75. Observación de la Osa Mayor.



ESTRELLA	COLOR	TIPO
SIRIO		
CAPELLA		
ALDEBARÁN		
BETELGEUSE		
RIGEL		
PROCIÓN		
CÁSTOR		
PÓLLUX		
DUBHE		
POLAR		

OBSERVACIÓN DE NEBULOSAS: ORIÓN

Se encuentra en el centro de la constelación del mismo nombre, que corresponde al punto medio de la espada del cazador. Con unos prismáticos o un pequeño telescopio se puede observar esta nebulosa en las noches de invierno. Posteriormente busca en un libro una fotografía de la misma y compara con tu observación (ver epígrafe 4.1).

OBSERVACIÓN DE LA GALAXIA DE ANDRÓMEDA

La época más adecuada para su observación es el verano, aunque también es posible contemplarla en invierno al anochecer. Se puede observar con prismáticos o a simple vista. En este último caso, lo más correcto es dirigir la mirada a un punto cercano pero no directamente al objeto, por tratarse de una luz muy tenue. Se encuentra a pequeña distancia del punto medio de las estrellas más brillantes de Andrómeda, en dirección a Casiopea (ver epígrafe 5.2).

OBSERVACIÓN DE LA VÍA LÁCTEA (VERANO)

Atravesando las constelaciones de Casiopea y El Cisne puede observarse en verano la Vía Láctea. Corresponde al brazo de Orión donde está situado el Sistema Solar. Sigue el dibujo de esta mancha lechosa y observarás que atraviesa gran parte de la

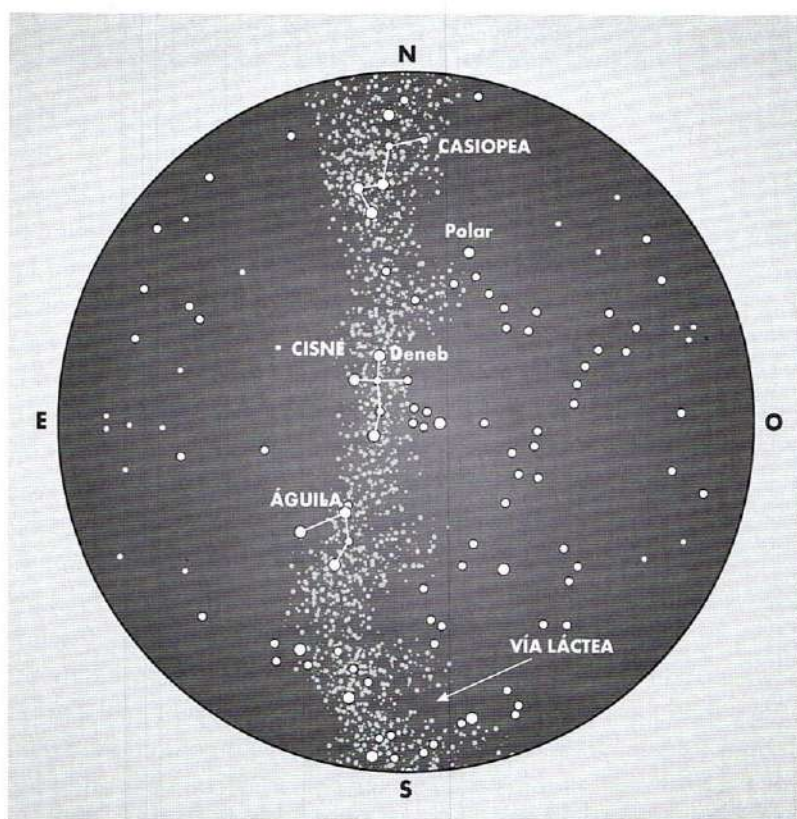


FIGURA 4.76.
*Situación de la Vía Láctea
en las noches de verano.*

bóveda celeste. Con un telescopio se detecta que está formada por un gran número de estrellas (fig. 4. 76).

8.3. Recortes de prensa

Como ya se indicó en la Unidad 3, con frecuencia aparecen en la prensa (periódicos y revistas) diversas informaciones acerca de nuevos descubrimientos y proyectos relacionados con los avances de la astronomía fuera del Sistema Solar. Recorta esa información y pégala en tu cuaderno de trabajo. Indica al profesor la noticia encontrada por si cree necesario comentarla en clase. A continuación presentamos algunas noticias aparecidas en la prensa recientemente.

Descubierta una nueva galaxia en el grupo al que pertenece la Vía Láctea

Contiene sólo un millón de estrellas y está a tres millones de años luz de distancia

ALICIA RIVERA. Madrid
La Vía Láctea, la galaxia a la que pertenece el Sol y 100.000 millones de estrellas más, forma parte del denominado Grupo Local, dominado por nuestra galaxia y por otra

parecida, Andrómeda. El resto, hasta una treintena, son pequeñas. Alan Whiting y George Hau, de la Universidad de Cambridge, han encontrado ahora otro miembro más del Grupo Local: la han bautizado Antlia; está bastante aislada y los dos

astrónomos, que la presentan hoy en la Reunión Nacional de Astronomía que se celebra en Southampton (Reino Unido), la han calificado de "objeto intrigante".



9. APÉNDICE: CIELO Y MITOLOGÍA

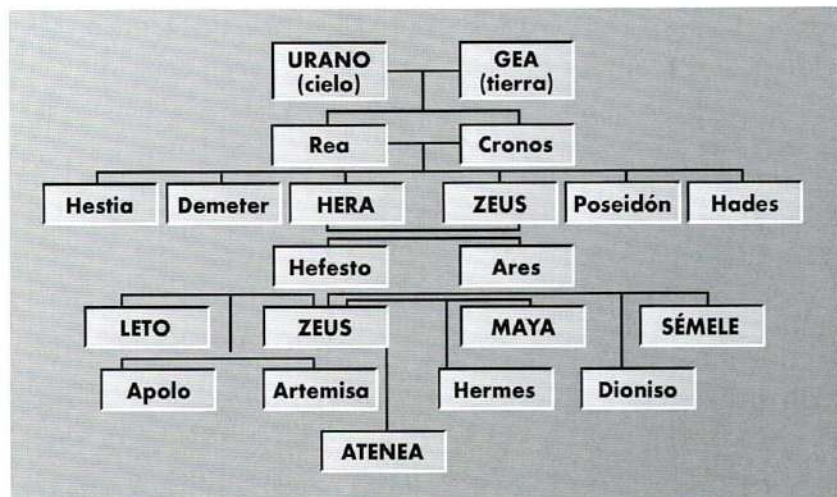


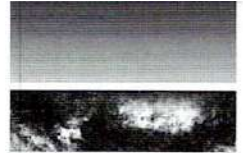
FIGURA 4.77. Descendientes de Urano y Gea.

A lo largo de la historia, las distintas civilizaciones veían en los cuerpos celestes y sus movimientos la actuación de los dioses. Con frecuencia, las constelaciones representaban a diferentes divinidades, personajes mitológicos, figuras de animales o simples objetos de la vida cotidiana. Así, por ejemplo, una de las constelaciones del hemisferio norte era para los griegos el extremo de una Gran Osa, para los romanos eran los bueyes del Gran Carro que daba vueltas en torno al polo celeste, los indios de Norteamérica veían en esta figura una cuchara o palo de noria, en América Central

imaginaban en ella un hombre con una sola pierna (hurakan), ya que cuando esta constelación es visible se producen en el Caribe fuertes tormentas, para los árabes se trata de un ataúd detrás del cual iban las plañideras. Como vemos, prácticamente en todas las culturas antiguas se observa una relación entre astronomía, mitología y religión. Según éstas, la posición de los grandes astros, el Sol, la Luna y los planetas, influía en determinados acontecimientos terrestres, como las sequías, las inundaciones, las guerras, las pestes, etcétera.

Es de destacar en el mundo antiguo los conocimientos astronómicos, entre otros, de los babilonios, de tal forma que la astronomía moderna adoptó la mayoría de los nombres babilónicos para las constelaciones del zodiaco. Pero es en la Grecia antigua donde esta ciencia toma su esplendor desarrollando distintas teorías basadas en la observación del movimiento de los astros. De hecho, de los griegos hemos tomado en nuestra civilización occidental el nombre de muchas estrellas y constelaciones. Los conocimientos de las antiguas civilizaciones fueron adquiridos por los árabes. Tradujeron la obra cumbre de Ptolomeo y a muchas de las estrellas les dieron nombres especiales que aún hoy se conservan.

Nos centraremos en la mitología griega como forma de interpretar la bóveda celeste. Según ésta, Gaea (la Tierra) es la primera criatura nacida del Caos. De ella nació Urano (el cielo), Pontos (los mares) y las altas montañas. Urano se unió a su madre y engendraron a los Titanes y a las Titánidas, entre los que se



encuentran Cronos y Rea, padres de Zeus y de sus cinco hermanos: Hestia, Deméter, Hera, Hades, Poseidón y Zeus. Cronos (Saturno romano) se los comía a todos en cuanto nacían. Rea le dio una piedra envuelta en pañales en lugar de Zeus, por lo que éste se salvó (fig. 4.77).

9.1. Los dioses del Olimpo

Zeus es el señor supremo del panteón griego. Preside las manifestaciones celestes, provoca las tormentas y las tempestades, pero también se ocupa del orden y la justicia en el mundo. Superada su infancia, Zeus decidió que había llegado el momento de adueñarse del poder que detentaba su padre, Cronos. Para ello le dio a beber una pócima con la que le hizo vomitar a sus hermanos, a los que había devorado. Con la ayuda de éstos y de los olímpicos declaró la guerra a su padre, que estaba apoyado por los Titanes. Tras diez años de duras luchas consiguieron la victoria y se repartieron el poder. Zeus obtuvo el cielo, Poseidón el mar, Hades el mundo subterráneo. Pero Zeus obtuvo además el poder absoluto del Universo. Las uniones de Zeus tanto con dioses como con mortales son innumerables.

El poder de Zeus eclipsa a todas las demás divinidades reunidas. En la *Ilíada* dice: "Yo soy más fuerte que todos vosotros juntos. Hagamos una prueba, colgad una cadena de oro del cielo y ataos a ella. Todos vosotros no podréis arrastrarme. Pero si yo quisiera arrastraros podría hacerlo. Ataré una cadena en lo más alto del Olimpo y todo quedará suspendido en el aire, el universo entero y el mar" (fig. 4.78).

Los dioses griegos más importantes habitaban en el monte sagrado de Atenas, llamado Olimpo. A continuación indicamos los dioses del Olimpo, su equivalente en Roma y lo que representan:

GRECIA	ROMA	ES EL DIOS DE...
Zeus	Júpiter	Universo, Supremo
Hera	Juno	Mujeres
Poseidón	Neptuno	Mares y ríos
Atenea	Minerva	Razón guerrera
Hestia	Vesta	Hogar
Hermes	Mercurio	Comercio

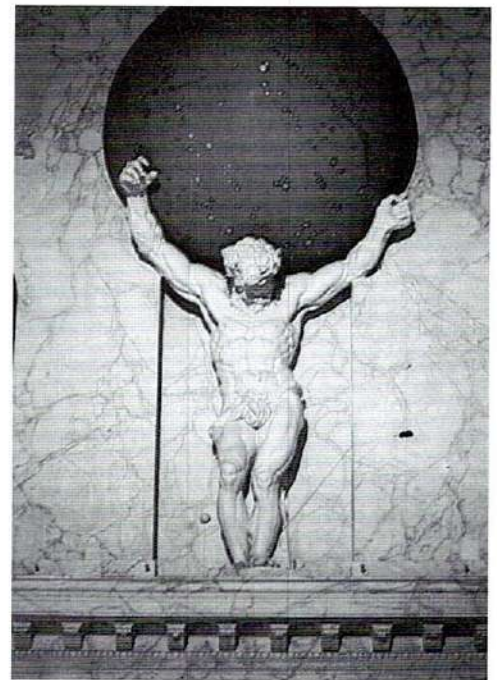


FIGURA 4.78. Atlas sosteniendo los cielos estrellados. Escultura del Ayuntamiento de Amsterdam.

GRECIA	ROMA	ES EL DIOS DE...
Apolo	Apolo	Belleza
Artemisa	Diana	Caza
Deméter	Ceres	Fertilidad
Hefesto	Vulcano	Fuego
Ares	Marte	Guerra
Dionisos	Baco	Vino
Afrodita	Venus	Amor y belleza



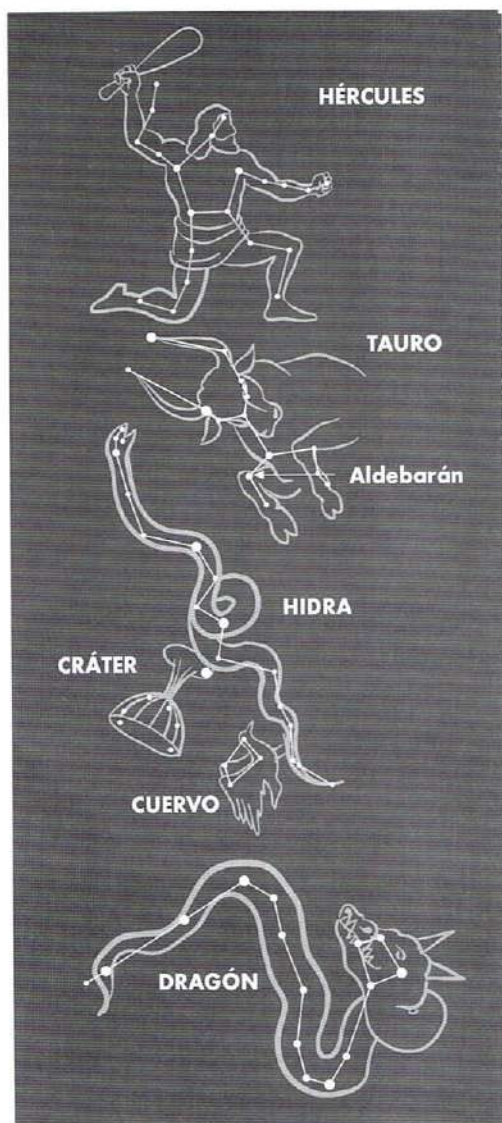


FIGURA 4.79. Situación de las constelaciones de Hércules, Tauro, Hidra, Cráter, Cuervo y el Dragón.

9.2. Constelaciones y mitología

LA LEYENDA DE HÉRCULES

Hijo de Zeus y de Almena. Cuando su padre quiso que tomara la leche de los dioses del pecho de su mujer, la diosa Hera, para que alcanzase la inmortalidad, Hércules fue tan impetuoso que derramó un gran chorro de leche sobre la bóveda celeste. de esta manera se formó la Vía Láctea. Al llegar a adulto Hera lo volvió loco y en estado de enajenación mató a su mujer y a sus tres hijos. Ésta parece ser que fue la causa por la que Hércules emprendiera sus famosos doce trabajos y que pasara doce años al servicio de Euristeo, rey de Micenas y de Tirinto.

El León: se trata del león de Nemea, en cuyo cuerpo de metal rebotaban las jabalinas. Esto obligó a Hércules a matarlo con sus manos. Tauro: Zeus se convirtió en este toro para raptar a la hija del rey de Tiro, Europa, y llevarla por encima del mar hacia Creta, de aquí proviene el nombre de nuestro continente. En Creta el toro vagó hasta que se enamoró de la reina Paisphae. De la unión surgió el minotauro, con cabeza de toro y cuerpo humano. Por este delito el toro fue castigado por Poseidón, que tuvo que escapar de Creta escupiendo fuego. Sólo Hércules pudo atraparlo y llevarlo a Argos, finalmente en Marathon fue derrotado por el héroe Teseo. La principal estrella es Aldebarán, que en árabe significa "la que sigue" a las Pléyades. Hidra: Hércules cortó las numerosas cabezas del monstruo, pero tan pronto cortaba una crecía otra nueva en su lugar. Pidió ayuda a su sobrino lolao para que cauterizara el corte del cuello con una antorcha. Enterró la cabeza inmortal debajo de una roca y después abrió el cuerpo del monstruo para sacar de él su veneno y untar con él sus flechas. Se trata de la serpiente de agua, que impidió al Cuervo sacar agua de un manantial que estaba destinada a Apolo. El agua era entregada al rey en un vaso de oro, el Cráter. Dragón era el guardián de las manzanas de oro, sólo pudo ser vencido por Hércules (fig. 4.79).

PERSEO, EL GUERRERO

Hijo de Zeus y de Dánae, al nacer fue encerrado en un arca con su madre y lanzada al mar. Acrisio, su abuelo, pretendía de esta forma librarse de la predicción según la cual su nieto le mataría. Llegó a la isla de Sérifos. Cuando llegó a adulto se sometió a una prueba de gran valor, traer la cabeza de Gorgona, la medusa. Gracias al regalo de un yelmo que le hacía invisible consiguió





cortar la cabeza de la medusa sin ser visto por las otras gorgonas. De vuelta a casa se casó con Andrómeda y petrificó al gigante Atlas enseñándole la cabeza de la medusa. Durante la celebración de unos juegos fúnebres en Larisia, Perseo giraba sobre sí mismo para lanzar el disco, pero tropezó y el disco voló sin control, alcanzado a un espectador en las gradas. Identificada la víctima como Acrisio, Perseo le rindió los honores fúnebres.

Pegaso, el caballo con alas de Perseo surgió de la sangre vertida de la medusa al ser decapitada por Perseo. Cefeo, era el rey de Etiopía, esposo de Casiopea y padre de Andrómeda. Casiopea pretendió ser la mujer más bella. Para castigarla, Poseidón, el dios del mar, envió a una enorme ballena a la costa de Etiopía, la cual produciría una enorme marea que devastaría todo, convirtiendo el país en un desierto. Consultado el oráculo dio como única solución el sacrificio de su hija Andrómeda, que debía ser entregada a la ballena para que ésta la devorara. Andrómeda era una princesa, hija de Cefeo y de Casiopea. Tenía que ser ofrecida, cargada de cadenas, a la ballena para que ésta se la comiera. Sin embargo fue rescatada por Perseo, al mostrar a la ballena la cabeza de la medusa y quedar petrificada (fig. 4.80).

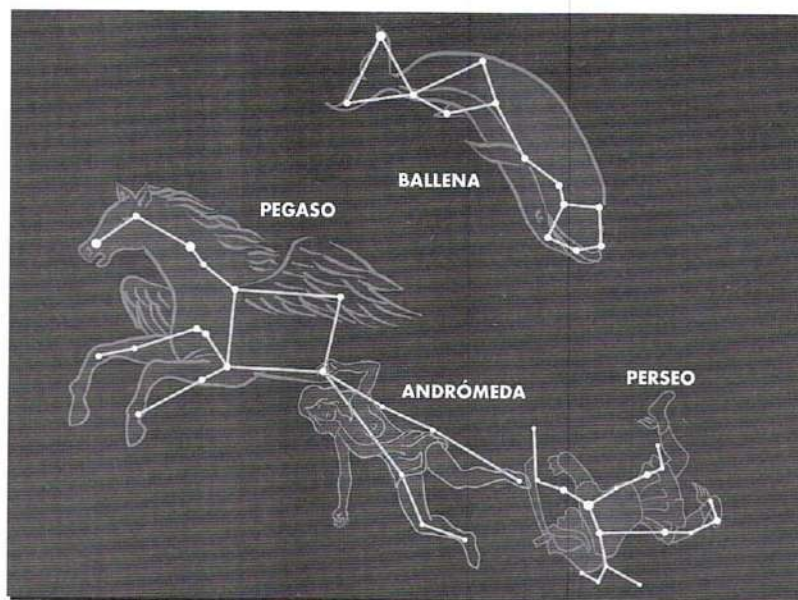


FIGURA 4.80. Situación de las constelaciones de Perseo, Andrómeda, Pegaso y la Ballena.

LAS CONSTELACIONES DEL ZODÍACO

Como complemento de las leyendas citadas te indicamos el origen del nombre del resto de las constelaciones del zodiaco. Como ya debes saber, las constelaciones zodiacales deben su importancia al hecho de encontrarse sobre la eclíptica. Por tanto el Sol, la Luna y los planetas las van atravesando en su movimiento, ya sea anual o mensual. Veamos la representación griega de estas constelaciones (fig. 4.81).

Aries, que representa un carnero, hace referencia a los hijos de la diosa griega Nephele, llamados Phrixos y Helle, que debían ser sacrificados. El carnero de oro los secuestró, Helle cayó al mar pero Phrixos fue rescatado. La estrella principal tiene el nombre árabe de Hamal, el carnero (a continuación viene Tauro, ya mencionado).



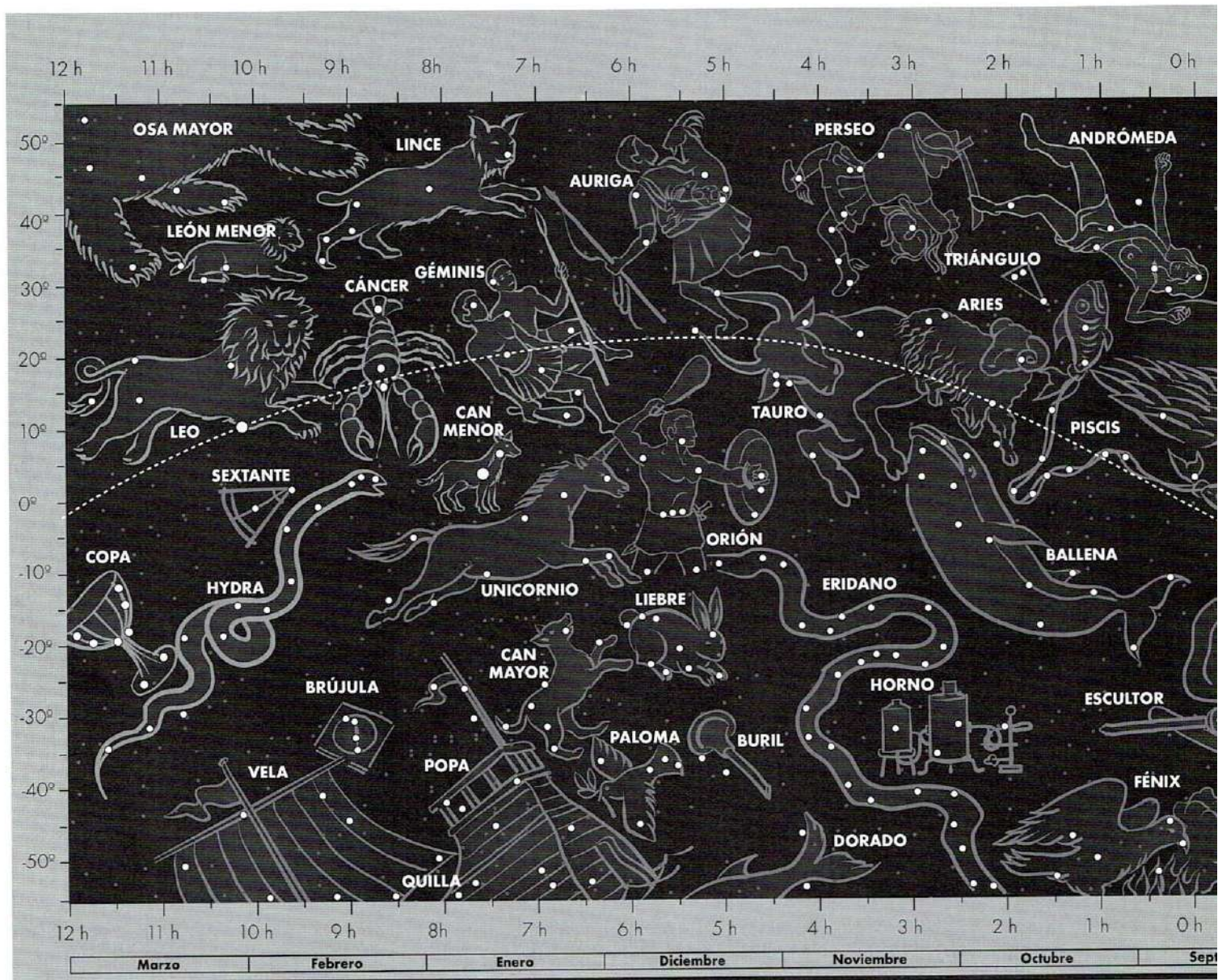
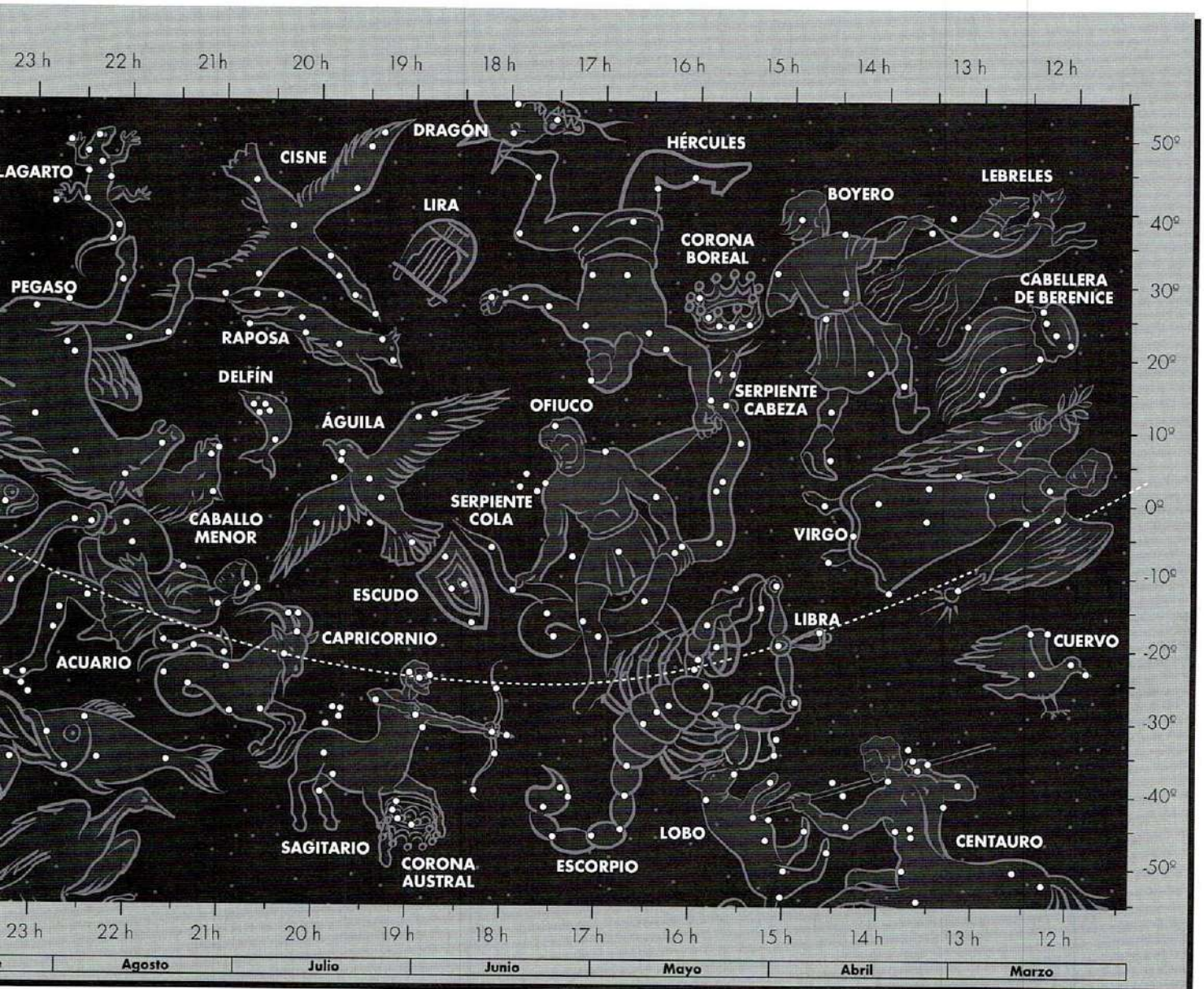


FIGURA 4.81. Las constelaciones del zodiaco.

Géminis: de acuerdo con la leyenda, los dos gemelos Cás-
tor y Póllux eran muy diferentes. Póllux era inmortal, mientras que
Cás-
tor tuvo que ir al reino de los muertos. Póllux intentó visitar a su
hermano de manera regular en el otro mundo. Como recompensa,
los dioses situaron a los dos gemelos en el cielo estrellado; ambos
eran hijos de Zeus. Entre los hombres de mar existía la creencia
popular de que resultaban de gran ayuda en caso de apuro.

Cáncer, el cangrejo, mantuvo agarrada a una ninfa para
que Zeus pudiese atraparla. En el centro de la constelación se
halla el cúmulo abierto del pesebre (le sigue Leo).



Virgo: la estrella principal, Spica, forma con Régulo, del León, y Arturo, en el Boyero, el llamado triángulo de primavera. Virgo es la hija del alba, Aurora. La estrella principal tiene un nombre latino que significa espiga. Esto está relacionado con el hecho de que la constelación desaparece del cielo cuando comienza la cosecha. Actualmente puede observarse hasta comienzos de septiembre, pero hace 2.000 años desaparecía en los primeros días de agosto.

Libra, la balanza, ha sido siempre la representación de la justicia. Sin embargo es muy posible que hace 2.000 años

esta constelación recibiese tal nombre debido a que en la época de otoño, en que se hacen iguales el día y la noche, el Sol cruzaba esta constelación (le sigue Escorpio, que se cita posteriormente).

Ophiuco, el encantador de serpientes. Tiene en sus manos al ofidio que le ha dado unas hierbas con las que no sólo puede sanar a los enfermos sino que puede incluso devolver la vida a los muertos.

Sagitario: según la leyenda, Sagitario inventó el arco y la flecha. Algunas de sus estrellas más brillantes son llamadas a menudo tetera, la boca de la misma era imaginada al oeste mientras que el resto se situaba al este.

Capricornio: Pan, el dios de los bosques, se convirtió en una cabra montés para esconderse del gigante Tifón. También se denominaba Pez cabra, se trataba pues de un animal en parte acuático y en parte terrestre. Posiblemente hace 2.000 años en el mediterráneo oriental el período de lluvias comenzaba cuando el Sol entraba en esta constelación y continuaba en los próximos meses, cuando la estrella atravesaba las constelaciones cercanas de Acuario y Piscis. La estrella principal se denomina en árabe Algedi, que significa "estrella de la suerte de los matarifes".

Acuario: Acuario es el mismo que Deukalión, es decir, el hijo de Prometeo y de Kelymene. Vagó por el océano durante un diluvio que duró nueve días, hasta que finalmente tocó tierra en el Parnaso. Allí fue el patriarca del nuevo género humano.

Piscis: al encontrarse en un grandísimo peligro, Venus y Eros se convirtieron en dos peces. En casi todas las representaciones ambos se encuentran unidos por una cuerda, formando un vértice.

ORIÓN, EL CAZADOR

Según la mitología griega, Orión era un gigante cazador hijo de Poseidón. Muerta su primera esposa, pretendió reemplazarla por Merope, pero su padre no le quería como yerno. Por esta razón le embriagó en un festín y, vaciándole los ojos, lo abandonó a la orilla del mar. Gracias a Apolo recuperó la visión y dio muerte a su ofensor: Enopión. Murió, según unas versiones,

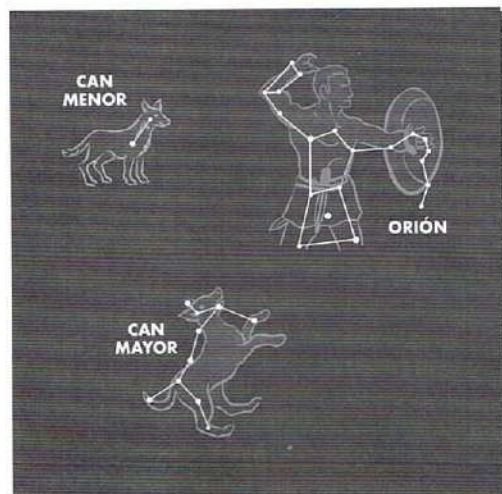


FIGURA 4.82. Orión con sus perros de caza.





víctima de una flecha y según otras por la mordedura de un Escorpión enviado por la diosa, que fue transformado en constelación. También Orión fue convertido en constelación y enviado a la parte opuesta de la bóveda celeste.

Can Mayor y Menor son dos compañeros del cazador Orión y siguen a éste en su movimiento diario. El menor, el perro Maira, juega un papel importante en la leyenda griega. Fue él el que encontró el cadáver de Ikarios. Éste, instruido por Dionisos en el arte de la viticultura, se encargó de propagarlo por todo el país. Como consecuencia de ello unos pastores ebrios mataron a Ikarios, convencidos de que él los había envenenado. Escorpión combatió al cazador Orión y quiso matarlo con su veneno. Su estrella principal es Antares, es decir Antimarte (opuesto a Ares), debido a su color rojo que lo hace rival, en este aspecto, del planeta rojizo. La denominación árabe antigua es Calbalakrab, que significa corazón del escorpión (fig. 4.82).

Ahora puedes completar este apéndice con la mitología de otras constelaciones. Te proponemos el estudio del Guardián de las Osas (Boyero) o la causa del desconsuelo del Cisne o cualquiera otra constelación que resulte de tu interés. ■



B I B L I O G R A F Í A

■ GUÍAS DE ESTRELLAS

- FOREY P., FITZSIMONS C. *Estrellas y planetas*. Barcelona. Libros Cúpula, Ediciones Ceac 1990.
HERRMANN J. *Estrellas*. Barcelona. Editorial Blume. 1987
RIDALH I., THRION W. *Guía de las estrellas y de los planetas*. Editorial Omega 1984.

■ CONTENIDOS GENERALES, MANUALES

- BAKULIN, P.I. y otros. *Curso de Astronomía general*. Editorial Mir-Rubiños, 1981
COMELLAS J.L. *Astronomía*. Madrid, Editorial Rialp, 1987
HERRMANN J. *Atlas de Astronomía*. Madrid, Alianza Editorial. 1984. Versión española de Miguel Paredes Larrueca.
HUMPHREY C. *Guía del astrónomo amateur*. Barcelona, Editorial Blume, 1992.
RONAN C. *Los amantes de la Astronomía*. Barcelona, Editorial Blume, 1982.
RONAN C. *Manual del astrónomo aficionado*. Editorial Everest.

■ LIBROS DE TEXTO

- ARRIBAS A. *Astronomía paso a paso*. Equipo Sirius
ANGUITA F. *Geología planetaria*. Mare Nostrum. Ediciones didácticas S.A. 1993
FABREGAT J., GARCÍA M. SENDRA R.. *Curso de Astronomía. Teoría y práctica*. Ecir
MORENO A. *Taller de Astronomía*. Editorial Akal.
VARIOS AUTORES. *Astronomía en la escuela*. Madrid, MEC, 1995. Colección Dosisers Rosa Sensat

■ TALLER, CONSTRUCCIÓN

- AZARQUIEL *Astronomía en la Escuela*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid, 1986.
ARRANZ P. *Fotografía del cielo sin telescopio*. Equipo Sirius
ARRIBAS A. RIVIÈRE V. *Taller de Astronomía*. Equipo Sirius
BROMAN L. *Experimentos de Astronomía*. Madrid: Alhambra (Breda). 1988
GARCÍA GARCÍA J. *La fotografía Astronómica*. Equipo Sirius
ROS R.M., VIÑUALES E. *Coordenadas y telescopios*. Equipo Sirius
ROS R.M., MORENO J. *El Sextante*. Equipo Sirius

■ DIVULGACIÓN

- ARMENTIA J. *Supernovas*. Equipo Sirius.
ASIMOV, I. *El Universo*. Madrid. Editorial Iianza, 1981
SAGAN C. *Cosmos*. Editorial Planeta
CRUZ M. *Guardería de la Galaxia. Cúmulos*. Equipo Sirius
DOCOBO JOSÉ A. *Agujeros negros*. Equipo Sirius.
KIDGER J. *Marte, ¿un mundo de la era glacial?* Equipo Sirius
MONTES M. *La nueva frontera del espacio*. Equipo Sirius
RUIZ MORALES J. *En el confín del Universo: Cuásares*. Equipo Sirius

■ REVISTAS

- TRIBUNA DE ASTRONOMÍA Desengaño 12, 4º 2. 28004 Madrid
UNIVERSO Ciencia y Ediciones SA. Apdo. 5314. 08080 Barcelona



■ DIAPOSITIVAS

ANTARES-UNIVERSO Ciencia y Ediciones SA. Apdo. 5314. 08080 Barcelona

EQUIPO SIRIUS S.A. Tribuna de Astronomía. C/ Desengaño 12, 4º 2. 28004 Madrid

FEDERICO FERNÁNDEZ PORREDÓN. "El cielo desde las cumbres de Canarias" Heraclio Sánchez 54. 38204 San Cristóbal de La Laguna. Tenerife.

INFORTÉCNICA Plaza Maragall 4. 08041 Barcelona

MICROCIENCIA, S.A. Montenegro 2 y 6. 08029 Barcelona

ROURE CODOÑER Col.legi 26. Lleida

SADEYA avda. Diagonal 377, 2ºT. 08008 Barcelona

■ VÍDEOS

NUESTRO UNIVERSO Arait Multimedia, S.A. Estudio 25. 28023 Madrid. Colección de 4 cintas

ENCICLOPEDIA GALÁCTICA Antares Gran Vía de las Corts Catalanes 646. 08007 Barcelona

COSMOS Midas Home Video. Dirigido por Carl Sagan. Incluye 13 cintas de video y un libro. En España distribuye Editorial Planeta.

■ PROGRAMAS INFORMÁTICOS

EZC COSMOS. Sky plot de Astrosoft, Inc

LA DANZA DE LOS PLANETAS a Través de la revista Universo

HIPARCO Adquirir a través de la revista Tribuna de Astronomía, Sirius División Multimedia.

SKYGLOBE, Klassm Software, 5722 Blaza Trail, Roscosmmon, Michigan. 48653, USA

■ TELESCOPIOS

MICROCIENCIA. Telescopios Celestrón, así como de las marcas Kowa y Unitron. También existen catálogos de prismáticos Swift

VALKANIK Plaza de Jacinto Verdager 18. 08221 Tarrasa (Barcelona). Modelos de Meade.

FOMALHAUT. Vallehermoso 28. 28015 Madrid Amplio surtido de telescopios

KONUS ESPAÑA Caucho 53, 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

ÓPTICA ROMA Plaza de Manuel Becerra, 18. 28028 Madrid

IRECCIONES DE INTERNET

-INSTITUTO ASTROFÍSICO DE CANARIAS: www.iac.es

-NASA PAGINA INICIAL: www.nasa.gov

-NASA FOTOGRAFÍAS PLANETARIAS: www.photojournal.jpl.nasa.gov

-AGRUPACIÓN ASTRONÓMICA ANTARES: www.casiopea.adi.uam.es

-REVISTA UNIVERSO: www.universo.home.ml.org

-REVISTA ASTRONOMÍA: www.xtf.es/recursos/astronom

-ASTRO RED: www.astrored.org/doc

-SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA: www.sea.am.ub.es

-OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS: www.ing.iac.es

-INTA: www.laef.esa.es

-ESTACIÓN DE VILAFRANCA DEL CASTILLO: www.vilspa.esa.es

A través de los diversos servidores de la red (con la palabra astronomía, para servidores en castellano, y astronomy, para los servidores en inglés) se puede acceder a multitud de asociaciones y grupos Astronómicos.





ISBN 84-87482-27-9



9 788487 482274

del beneficio de este libro será destinado a proyectos de desarrollo en el Tercer Mundo a través de Organizaciones No Gubernamentales.