



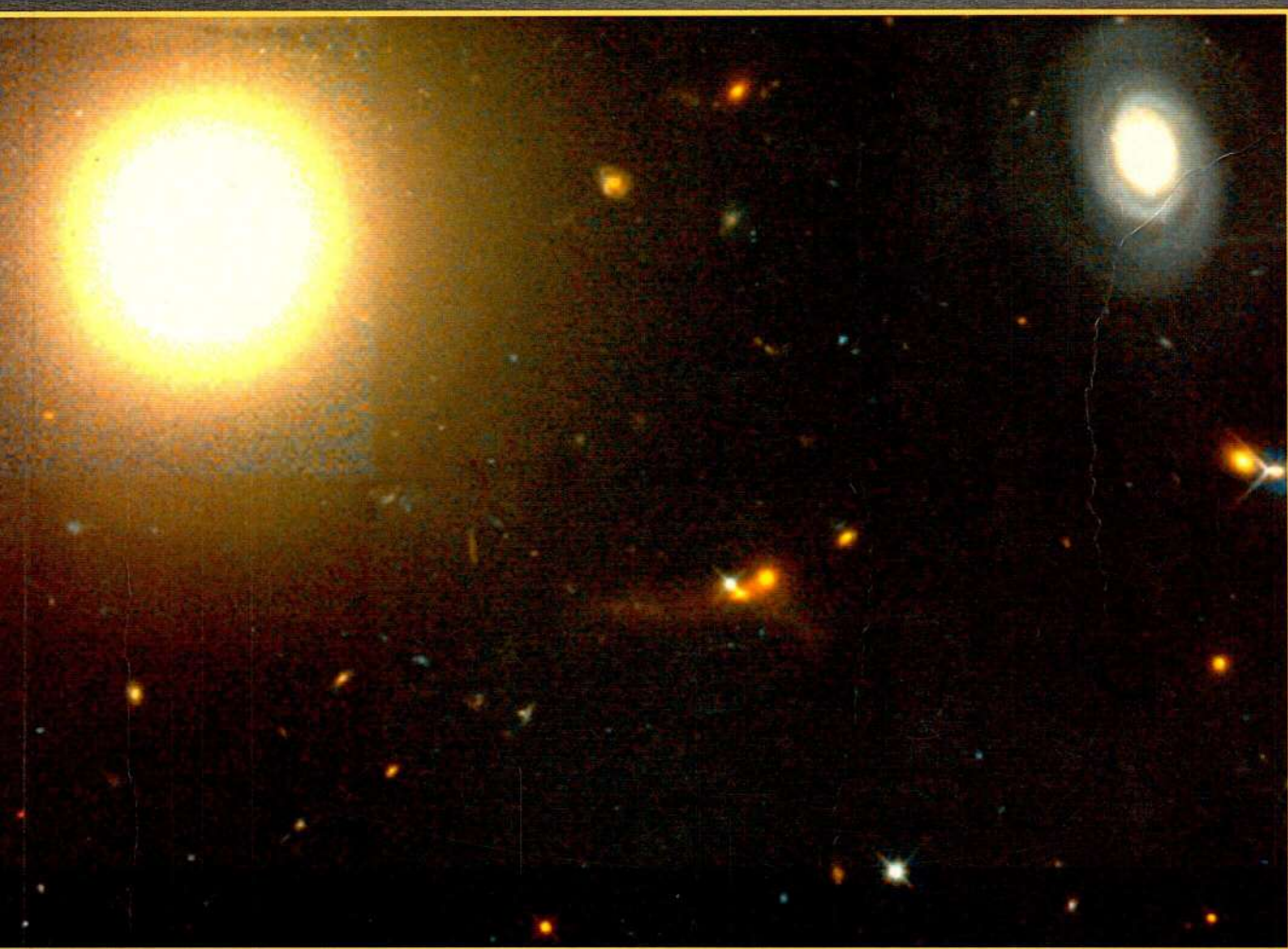
ESO

TALLER DE

ASTRONOMÍA

SEGUNDO CICLO

TALLER DE ASTRONOMÍA



**Ricardo Moreno,
Antonio Moreno**

TALLER DE ASTRONOMÍA

RICARDO MORENO

ANTONIO MORENO

2º CICLO DE ESO



Ilustraciones: *David Ouro*

Créditos de las fotografías:

NASA: Portada, 17-2, 17-3, 18-1, 18-2, 18-4, 18-5, 18-6, 19-1, 19-2, 19-3, 19-4, 20-1, 20-2, 20-3, 20-4, 20-5, 21-1, 21-2, 21-3, 22-1, 22-2, 23-1, 23-2, 24-1, 24-2, 25, 42, 69, 71-1, 72-2, 75-2, 77-1, 77-2, 77-3, 77-4, 78-1, 78-2, 80-1, 82-1, 82-2, 83-1, 83-2, 84-1, 84-2, 85-1, 85-2, 85-3, 85-4, 85-5, 86-1, 86-2, 86-3, 86-4, 87-1, 87-2, 88-1, 88-2, 88-3, 89-1, 89-2, 89-3, 90-1, 90-2, 90-3, 91-1, 91-2, 92-1, 92-2, 92-3, 93-2, 93-3, 94, 113, 116-1, 116-2, 117, 118-1, 118-2, 121, 123, 124-1, 124-2, 135-1, 137-3, 137-4, 141, 159, 160-1, 161, 162

INST. ASTROFÍSICA DE CANARIAS: 29, 74, 75-1

ESA: 17-1, 21-4

AKAL: 71-2, 71-3, 72-1, 73, 80-2

UNIVERSAL PICTURES: 27

R. MORENO: 31, 32, 33, 34, 46 a 59, 64, 67, 68, 130, 132, 133, 156, 157

Reservados todos los derechos.

De acuerdo a lo dispuesto en el art. 534-bis, a), del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización.

© Ricardo Moreno y Antonio Moreno, 1996

© Ediciones Akal, S. A., 1996

Los Berrocales del Jarama

Apdo. 400 - Torrejón de Ardoz

Madrid - España

Telfs.: 656 56 11 - 656 51 57

Fax: 656 49 11

ISBN: 84-460-0683-9

Depósito legal: M- 29.419-1996

Impreso en Orymu, S.A.

Pinto, Madrid.

ÍNDICE

Prólogo	5	3.8 Efecto Doppler	42
UNIDAD 1: HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA	7	3.9 Leyes físicas que gobiernan el cielo:	43
1.1 Los comienzos	7	3.9.1 Kepler	43
1.2 Primeras teorías	8	3.9.2 Gravitación	43
1.3 El comienzo de la ciencia	8	3.9.3 Wien	43
1.4 La revolución copernicana	9	3.9.4 Stefan-Boltzmann	44
1.5 Kepler	10	3.9.5 Relatividad	44
1.6 Galileo	12	3.9.6 Principio cosmológico	44
1.7 Newton	13	3.9.7 Principio antrópico	45
1.8 La Astrofísica moderna	13	Actividades	46
Actividades	15	1 La mano como herramienta para localizar posiciones en el cielo	46
1 Medición del radio de la Tierra	15	2 Modelo en 3-D de las constelaciones	47
2 Modelo de los epiciclos	15	3 Observación de la puesta del Sol durante varias semanas	62
3 Escuchando la voz de Júpiter	16	4 Observación del movimiento del Sol en el cielo a lo largo de un día	62
4 Un planisferio en tu paraguas	17	5 Construcción de un telescopio refractor	63
5 Construcción de un medidor de ángulos y un contador de estrellas	18	6 Construcción de un telescopio reflector	63
UNIDAD 2: CONTRIBUCIÓN DE LA ASTRONÁUTICA	19	7 Estudio de una nova con el efecto Doppler	64
2.1 Los primeros pasos	19	8 Cálculo de la densidad de varios cuerpos celestes	64
2.2 Los proyectos Vóstk y Mercury	20	9 Construcción de un reloj de sol	67
2.3 Los proyectos Gémini y Vósjod	21	10 Modelo de las estaciones	68
2.4 El programa Apolo	21	11 Construcción de un planisferio (buscador de estrellas)	68
2.5 Los programas Skylab, Salyut y Mir	23	12 Astronomía en Internet	65
2.6 El Space Shuttle	23	UNIDAD 4: EL SISTEMA SOLAR	73
2.7 Sondas espaciales no tripuladas	24	4.1 Formación	73
2.8 Telescopios espaciales	26	4.2 Distancias y tamaños	75
2.9 Futuro de la exploración espacial	26	4.3 El Sol	76
Actividades	28	4.4 La Luna	80
1 Modelo de antenas de comunicación	28	4.5 La Tierra	83
2 Un cohete propulsado por agua	28	4.6 Los Planetas	86
3 Un barco-cohete	29	4.6.1 Mercurio	86
4 Astronomía en la ciencia-ficción	30	4.6.2 Venus	87
UNIDAD 3: MEDIOS CON QUE CUENTA EL ASTRÓNOMO	31	4.6.3 Marte	88
3.1 Conocimiento del cielo	31	4.6.4 Júpiter	90
3.2 Coordenadas celestes	37	4.6.5 Saturno	91
3.3 Constelaciones	37	4.6.6 Urano	93
3.4 Las estaciones	38	4.6.7 Neptuno	94
3.5 Telescopios y prismáticos	39	4.6.8 Plutón	94
3.6 Fotografía	41	4.7 Asteroides y Cometas	95
3.7 Espectroscopio	41		

Actividades

1 Medición del radio de la Luna en un eclipse	98
2 Cálculo de la distancia de la Tierra a la Luna por paralaje	98
3 Máxima y mínima distancia de la Luna a la Tierra	100
4 Modelo de las fases de la Luna	101
5 Observación de las manchas solares	101
6 Cálculo del diámetro del Sol	102
7 Estimación de la luminosidad del Sol	103
8 Distancia de la Tierra al Sol	104
9 Modelo a escala de la Tierra, la Luna y el Sol	107
10 Modelo a escala de eclipses	108
11 Modelo a escala del Sistema Solar	109
12 Dibujo de las órbitas de Venus y Mercurio a partir de observaciones desde la Tierra	110
13 Modelo de cráteres de impacto	113
14 Dibujo de la órbita del cometa Halley	113
15 Dioramas planetarios	114
16 Observación de micrometeoritos	114

UNIDAD 5: LAS ESTRELLAS

5.1 Distancia, luminosidad, magnitud aparente y absoluta	115
5.2 Colores y espectros	117
5.3 Diagrama H-R	117
5.4 Nacimiento, vida y muerte de las estrellas	118
5.5 Tipos de estrellas:	118
5.5.1 Dobles	118
5.5.2 Variables	121
5.5.3 Novas	123
5.5.4 Supernovas	123
5.5.5 Púlsares	124
5.5.6 Agujeros negros	125
5.5.7 Nebulosas planetarias	127
Actividades	129
1 Medición de la distancia a la estrella de Barnard por paralaje	129

2 Estimación de la distancia a varias estrellas usando una linterna	131
3 Cálculo de la distancia a las estrellas usando su magnitud aparente	132
4 Dibujo de la curva de luz de la estrella variable β Lyrae	134
5 Modelo de agujero negro	136

UNIDAD 6: LAS GALAXIAS

6.1 Cúmulos estelares	137
6.2 Nebulosas	138
6.3 Nuestra galaxia: la Vía Láctea	140
6.4 Tipos de galaxias	141
6.5 Quásares	142
Actividades	144
1 Estimación del tamaño de nuestra Galaxia	144
2 Uso de cefeidas para medir distancias en el cielo	144
3 Estimación de las distancias a las galaxias usando triángulos	146
4 Localizando al Sistema Solar en nuestra Galaxia	154
5 ¿Cuánto pesa nuestra Galaxia?	160

UNIDAD 7: EL UNIVERSO

7.1 Cúmulos de galaxias	161
7.2 Expansión del Universo	162
7.3 El Big Bang	163
7.4 La materia oscura	165
Actividades	167
1 El Universo en una goma elástica	167
2 La Ley de Hubble	167
3 Detección de la radiación de fondo del Universo	168
4 La Astronomía entre nosotros	168

UNIDAD 8: MITOLOGÍA EN LAS CONSTELACIONES

PRÓLOGO

La Astronomía es algo que a todos atrae. Desde nuestros más remotos antepasados, ¿quién no se ha preguntado por la magnificencia de todo lo que ven nuestros ojos en una noche oscura, lejos de las luces de las ciudades?

Desde el punto de vista educativo, es una ciencia realmente interdisciplinar, con todas las ventajas que eso conlleva. Por ejemplo es necesaria la Geometría para calcular las órbitas planetarias o la curvatura del espacio, la Química para estudiar la composición de las estrellas, la Óptica para sacar el máximo provecho a la luz que nos llega, la Geología para intentar explicar la superficie de los planetas y sus lunas, la Bioquímica para descifrar la composición de la misteriosa materia interestelar, o la Física cuántica para saber qué son las potentes radiaciones que nos llegan desde el espacio o las novedosas ondas gravitacionales. Incluso puede que sean necesarias nuevas ciencias para estudiar la desconocida materia oscura o lo que ocurre dentro de un agujero negro.

Probablemente ésa sea una de las razones por la que se ha incluido la Astronomía como asignatura optativa en los cursos de la ESO. Este libro pretende divulgar al nivel de una persona de esas edades los conocimientos actuales en la materia. También tiene más de cuarenta actividades prácticas, como corresponde al título de "Taller", que seguro que hacen más ameno la adquisición de los conocimientos teóricos. Aunque casi todas tienen un nivel asequible, alguna puede requerir un nivel más alto de Física o Matemáticas.

Es de esperar que las personas que lo lean puedan responder mejor que lo que lo hicieron los autores de las respuestas a las siguientes preguntas, dignas de la Antología del Disparate:

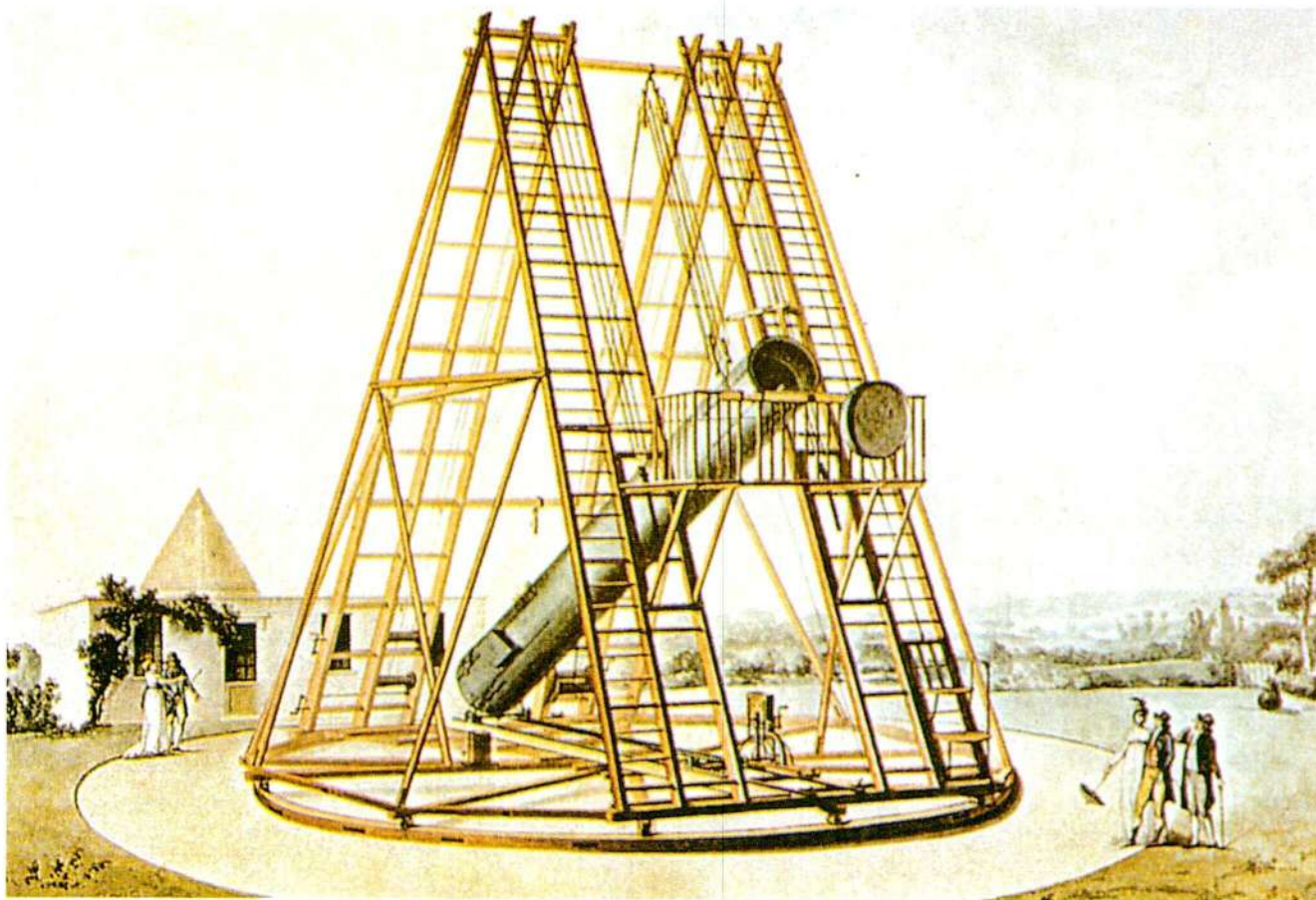
¿Qué es el Universo?: Los poemas de un solo verso.
¿Qué sucede en la superficie del Sol?: Que hace mucho calor.
Cita tres constelaciones: La Osa Mayor, La Osa Menor y la Osa Mediana.
¿Qué son realmente los signos del zodiaco?: Un timo.
¿A qué es igual un año luz?: A la suma anual de las facturas de la compañía eléctrica.
¿Qué es una supernova?: Una estrella recién nacida, super-nueva.
¿Cómo podemos orientarnos en una noche estrellada?: esperando que amanezca.
¿Con qué fenómeno terrestre se relaciona la Luna?: Con el queso.
¿Qué es un meteorito?: Un fenómeno climatológico muy pequeño.

Por último queremos agradecer a la NASA, a la Agencia Espacial Europea (ESA), al Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y a Universal Pictures su amable cesión de las fotografías.

Mayo, 1996



1 HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA



1.1 Los comienzos

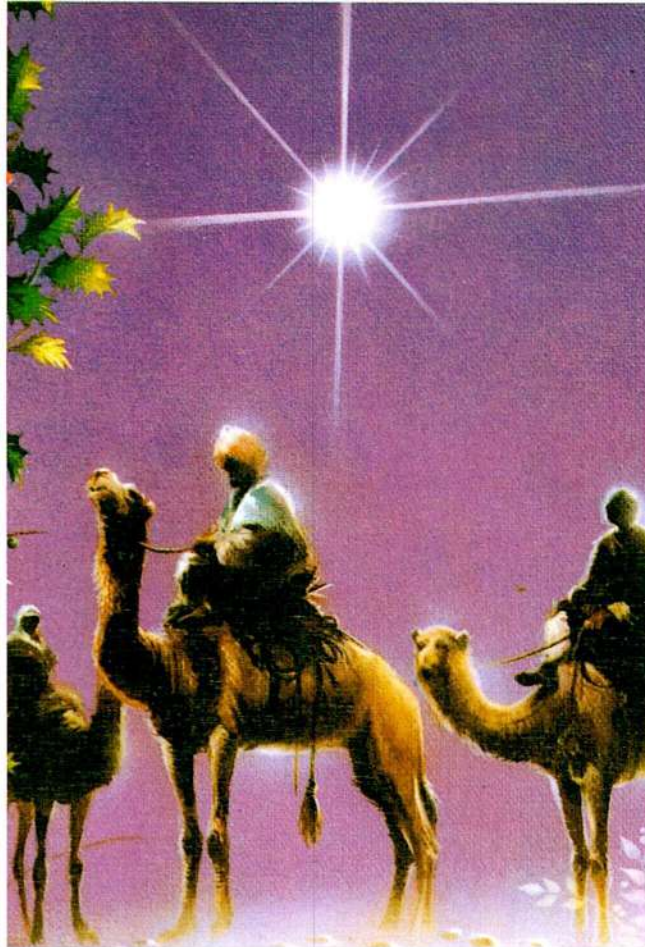
Desde los comienzos, la visión del cielo estrellado ha impresionado al hombre. El majestuoso movimiento circular durante la noche, el movimiento en él de la Luna y de algún que otro lucero, pronto le hicieron preguntarse cómo funcionaba todo aquello. Hay una convicción profunda en el hombre de que las cosas no ocurren al azar y en este caso puso pronto en marcha la inteligencia para elaborar teorías que explicaran el orden y la armonía que manifestaba todo aquello.

Era tal la impresión que le producía aquel espectáculo, le sobrepasaba tanto, que no tuvo más remedio que acudir a lo más grande que tenía, a conceptos por encima de su naturaleza. También hoy, con todas las explicaciones y teorías científicas disponibles —quizá incluso por ellas—, la contemplación del cielo no deja de ser para muchos una puerta hacia lo trascendente. Por ejemplo, en Estados Unidos, las agrupaciones astronómicas de aficionados suelen tener lemas, y más de uno es del tipo



Observatorio de Stonehenge, en Inglaterra, construido hace 5000 años.

“Los cielos narran la gloria de Dios y el firmamento pregonas las obras de sus manos”, texto del Salmo 18 de David.



La estrella de Belén y los tres Magos.

Por esta razón, las civilizaciones primitivas fueron llenando el cielo de figuras de sus divinidades, que marcaban el ritmo de vida en la tierra. Aparecieron los primeros calendarios, especialmente solares y lunares. Monumentos megalíticos como Stonehenge (Inglaterra) parecen tener esta finalidad. Pero fue en el próximo oriente donde empezó la observación sistematizada del cielo, quedando constancia de ello. Así los sumerios en Mesopotamia y los egipcios en el valle del Nilo, hace 6.000 años, elaboraron calendarios con fines agrícolas. La Luna cambiaba en un ciclo de 29 días, que era el mes lunar. Estaba dividido en cuatro semanas de siete días, que equivalían a cada cuarto de Luna. Los babilonios, o quizá sus antepasados sumerios, introdujeron la costumbre de nombrar los siete días de la semana según los siete astros que se movían libremente por los cielos: Luna, Marte, Mercurio, Júpiter, Venus, Saturno y el Sol. Aún hoy perdura esa costumbre en muchas lenguas modernas, por ejemplo, en el inglés: sun-day=día del Sol, mon-day=día de la Luna, saturday=día de Saturno; o en castellano: los nombres de todos los días provienen de ahí excepto el sábado, del hebreo "sabat"= descansar, y domingo, del latín "día del Señor". También es invento sumerio el dividir el día en 24 horas y la división sexagesimal de éstas en minutos y segundos.

De todos es conocida la estrella que guió a los **Reyes Magos** hasta Belén. Parece que los tres Magos eran sabios, quizá persas o árabes, que observando el cielo vieron una nueva estrella que les guió hacia el oeste. Según la narración de los evangelios, debieron estar en camino casi un año. Al llegar a Belén desapareció (¿por las nubes o porque se ocultó?), y al cabo de unos días reapareció, y les guió hasta poner-

se encima de la casa donde vivía Jesús. Repasando las posiciones de los astros en esas fechas han sido varias las explicaciones astronómicas que se han dado, aunque ninguna lo explica totalmente. La más aceptada es que pudo ser un cometa, aunque no es citado por los anales de los babilonios, chinos ni coreanos, y tampoco explica cómo les señaló una casa determinada. Kepler lanzó la hipótesis de una conjunción (acercamiento en sus posiciones) entre Saturno y Júpiter que se produjo por esos años, aunque es difícil pensar que ese hecho confundiera a unos sabios acostumbrados a observar el cielo. Otros piensan que pudo ser una estrella que explotó como nova o supernova, aumentando mucho su brillo, aunque esos hechos no duran más que un par de semanas, y tampoco "guían hasta una casa concreta". Resumiendo: quizá sólo la primera aparición, la que puso en marcha a los Magos y les llevó hasta Belén, pueda ser explicable desde la Astronomía, y sólo como mera suposición.

1.2 Primeras teorías

Los primeros griegos, alrededor del año 1000 a.C., desarrollaron hermosas historias de sus dioses —la mitología griega— que dejaron plasmadas en los cielos. De ellos provienen la división del firmamento en constelaciones, con nombres de los protagonistas de su mitología. Es un período en el que no es aún la razón la que trabaja sobre datos, sino la imaginación.

En los siglos VII y VI a.C. aparecieron los primeros pensadores griegos: **Tales de Mileto**, **Pitágoras**, **Anaximandro**, **Parménides**, etc., que empezaron a aplicar la inteligencia para explicar el mundo. Pronto coinciden en la redondez de la Tierra, y también es casi unánime el convencimiento de que el cielo gira alrededor de la Tierra, aunque hay excepciones como **Filolao** (s.V), que suponía que las estrellas eran fijas y su movimiento aparente era debido a la rotación de la Tierra.

Fueron surgiendo ideas originales, aunque sin posibilidad de demostración. Algunas anticiparon ideas modernas, como en el caso de **Demócrito** (s. IV a.C.), que suponía que la materia estaba compuesta de pequeñas partículas que llamó átomos, que se movían en el seno de un vacío infinito: no habría más que partículas y movimiento, que es la base de la Física moderna. **Anaxágoras** (s.V a.C.) afirmó que el Sol era un conjunto de piedras incandescentes, y su brillo se reflejaba en la Luna. Explicó que los eclipses de Luna se debían a la sombra de la Tierra.

1.3 El comienzo de la ciencia

Para poder juzgar con imparcialidad la Historia, hay que hacerlo sabiendo ponerse en el tiempo en que ocurrieron los hechos, y usar los conocimientos que tenían los hombres de entonces. Es muy fácil ver las equivocaciones que tenían sus conjeturas después de que una multitud de hombres y mujeres inteligentes han ido mejorándolas a lo largo

de muchos siglos. También nuestras ideas actuales parecerán muy elementales a los terrícolas del año 3.000.

Con el desarrollo de la Geometría entre los griegos, empezaron los primeros intentos de aplicarla al movimiento de los cielos, especialmente para explicar las trayectorias *caprichosas* de los planetas, que a veces parecían detenerse, incluso retroceder, para después seguir hacia adelante. Así surgieron los modelos matemáticos —en este caso geométricos— que intentaban explicar las observaciones, lo que constituye el comienzo de la ciencia tal como se entiende hoy.

Eudoxo (s. IV a.C.) supuso una serie de esferas en el cielo, que giraban alrededor de la Tierra con distintos ejes, algunos apoyados en las esferas vecinas. Salfó así un modelo bastante complejo que explicaba más o menos el movimiento de los planetas.

Aristóteles (s. IV a.C.) fue quizá el más grande pensador de la antigüedad. Era filósofo, y por tanto se dedicó a explicar el porqué de las cosas (por qué existen, qué es el bien, la belleza, etc.). En ese campo llegó a cotas difíciles de superar. Su prestigio fue tal que lo poco que dijo en el terreno científico, en el que no era especialista, perduró durante muchos siglos después.

Para intentar comprender cómo han perdurado tanto esas ideas, hagamos un viaje mental en el tiempo e intentemos seguir los razonamientos de Aristóteles, no sin antes despojarnos de nuestros conocimientos actuales. Estamos en Atenas y le oímos en una clase con sus discípulos, mientras pasean por un jardín. Les explica que la Tierra es esférica y está quieta en el centro del Universo. No puede estar en movimiento —dice— porque en ese caso deberíamos notar algún cambio aparente en la posición de las estrellas (lo que hoy llamaríamos paralaje), de la misma forma que el paisaje del jardín por el que caminan se está moviendo por efecto de la perspectiva.

Un oyente le dice que podría ser debido a que las estrellas están alejadas infinitamente de la Tierra. Aristóteles le hace ver que eso es imposible, porque giran alrededor de la Tierra cada 24 horas. Si estuviesen a una distancia infinita, tendrían que tener velocidad instantánea, lo cual es contrario a lo que se observa. El maestro no le ve muy convencido y sigue argumentando, basándose en la observación y la experiencia: si la Tierra girara sobre sí misma, tendríamos que notarlo en la superficie. Por ejemplo sabemos la Tierra es muy grande, y el paralelo que pasa por Atenas puede medir unos 12.000 kilómetros —posteriormente se demostró que era el doble—. Como da una vuelta cada 24 horas, nuestra velocidad mientras estamos tranquilamente charlando debería ser de unos 500 km por hora. Cualquiera de ellos tiene la experiencia de cabalgar a 30 km/h y saben que a esa velocidad el viento sobre la cara es apreciable. Si la Tierra girara, estaríamos ahora como en la mitad de un terrible huracán, cosa que no se observa.

Aristóteles aún da otro argumento más: levanta una piedra y la deja caer a sus pies. Y nos dice: “si fuésemos a una velocidad de 500 km/h, al soltar la piedra se iría rápidamente hacia atrás, como pasa cuando vamos corriendo y se nos cae algo. ¿Lo veis? Los hechos desmienten la teoría de que la Tierra gira”.

Hoy podemos rebatir estos argumentos, pero entonces, con los datos que se tenían, hay que reconocer que eran razonamientos muy lógicos.

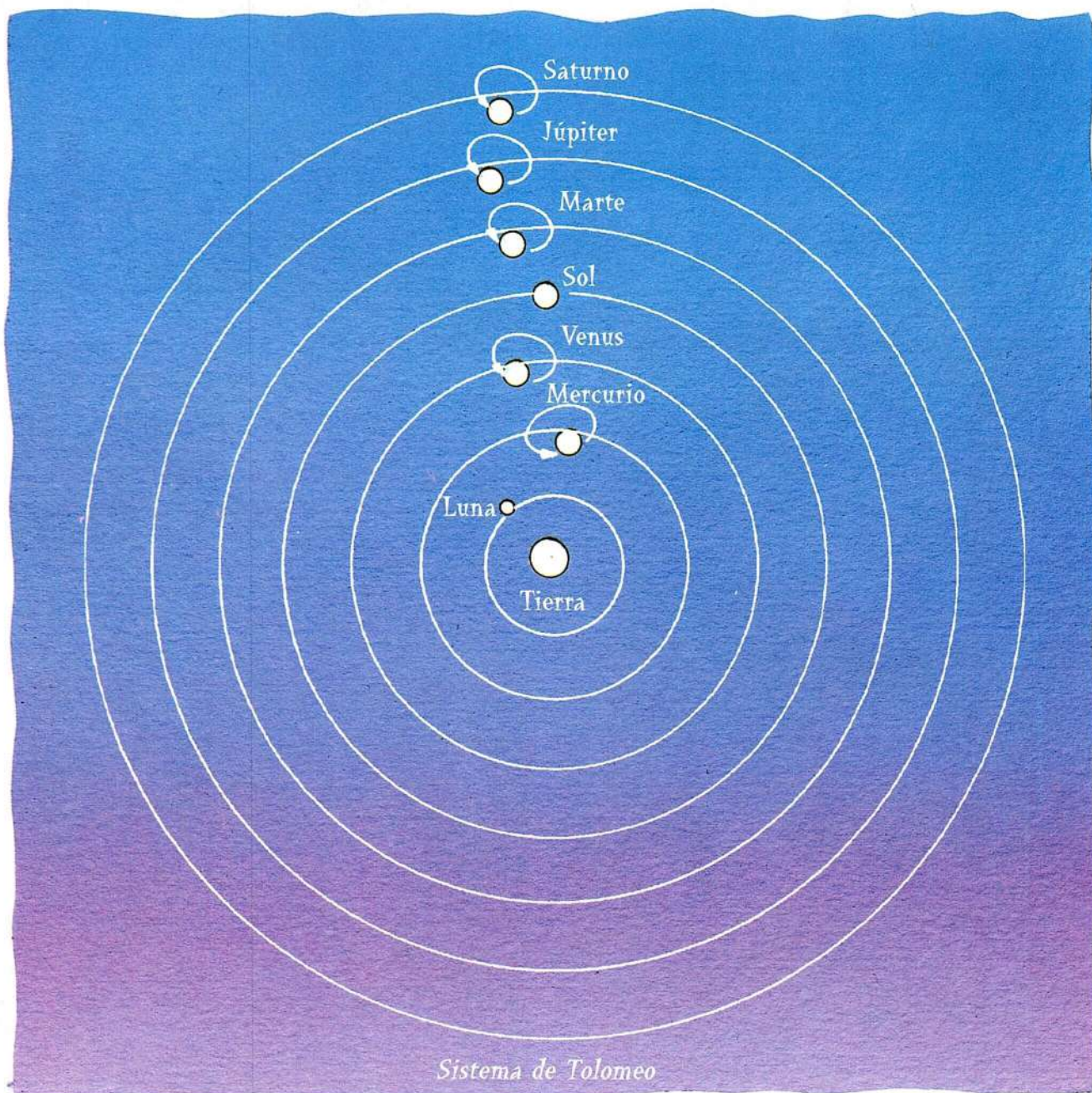
Sigamos con la Historia de la Astronomía. **Apolonio de Pérgamo** (s. III a.C.), experto geómetra griego, parece que fue el inventor del artificio matemático del *epiciclo sobre deferente*. Consiste en suponer que el planeta se mueve girando en una circunferencia pequeña cuyo centro se desplaza a lo largo de otra circunferencia grande con centro en la Tierra. Así se describen bastante bien los rizos —*epiciclos*— que los planetas describen en sus trayectorias.

Eratóstenes (s. III a.C.) midió el tamaño de la Tierra con bastante aproximación con un ingenioso procedimiento que se explica en la actividad 1.

Hiparco de Rodas (s. II a.C.) hizo el primer catálogo de estrellas de la Historia. Clasificó más de mil estrellas según su brillo, en seis magnitudes. Esta clasificación, con algunos retoques, es el que se sigue usando hoy.

Aristóteles y Platón, conversando con sus discípulos, según el pintor Rafael.





Sistema de Tolomeo

Tolomeo (s. II d.C.) fue el último gran astrónomo de la antigüedad. Reunió todos los conocimientos astronómicos hasta entonces, que se pueden resumir así:

- Los cielos son esféricos y se mueven circularmente en torno a un eje fijo.
- Los planetas se mueven en epíclips.
- La Tierra es esférica.
- La Tierra está en el centro del Universo.

Cabe señalar que Tolomeo también descubrió anomalías en las órbitas planetarias y de la Luna, que le llevó a inventar unos puntos que *descentraban* las órbitas. Kepler los identificó siglos después con los focos de las elipses.

El mundo romano no aportó ningún astrónomo de importancia. Las invasiones posteriores de los godos trajeron un declive en la cultura occidental. En oriente, los

árabes —la civilización más culta entonces— redescubren a los antiguos griegos, cuyas obras pasan a occidente en el siglo XI a través de Toledo, con las traducciones del árabe al latín. Palabras como *cenit*, *nadir*, *álgebra*, etc., y nombres de muchas estrellas como *Aldebarán*, *Algol*, *Deneb*, *Alcor*, *Mizar* o *Betelgeuse* proceden del árabe. El sistema de Tolomeo volvió a ser lo normal en el siglo XIII. En los dos siglos siguientes estuvo en auge en las cortes de los gobernantes la astrología, una pseudociencia que intenta ver el futuro de los hombres en la posición de los astros. Aunque no tiene ninguna base científica, ayudó a afinar en las predicciones y buscar nuevas explicaciones de los movimientos de los planetas. Quizá por eso empezaron a surgir algunas voces —aún en minoría— que decían que los cálculos salían mejor si se suponía que la Tierra era la que giraba alrededor del Sol. Era la preparación a Copérnico.

1.4 La revolución copernicana

Copérnico nació en Polonia en 1473 y falleció setenta años después. Al final de su vida publicó la obra *De Revolutionibus orbium coelestium* (Las trayectorias de las órbitas celestes). En ella expone que los movimientos de los planetas en el cielo, aunque se pueden explicar con el sistema de Tolomeo, se calculan más fácilmente suponiendo que el Sol está en el centro y la Tierra y los planetas giran a su alrededor en órbitas circulares. La idea fue calando en general entre los astrónomos de su tiempo, cuyo objetivo principal era calcular las posiciones de los planetas para los calendarios. Como instrumento de cálculo fue aceptado pronto, aunque tardó más tiempo en asumirse que realmente era así, mientras no se pudo demostrar con observaciones. Hoy sabemos que tenía dos fallos importantes: las órbitas no son circulares ni el Sol está en el centro del Universo, pero para esa época, los avances que introdujo fueron colosales: en un mundo interesado sólo por las cosechas o las disputas con sus vecinos, el pensar que la Tierra no era el centro del Universo constituyó una auténtica revolución.



Nicolás Copérnico.

1.5 Kepler

Un siglo después, el matemático alemán **Johannes Kepler** se enfrascó en estudiar las órbitas de los planetas. Intentó en vano explicarlas suponiendo que sus circunferencias pasaban por los vértices de los cinco poliedros regulares. Más tarde conoció a **Tycho Brahe**, que se pasó la mayor parte de su vida registrando en su observatorio la posición de planetas y estrellas con una precisión desconocida hasta entonces —todavía no se había inventado el telescopio: todo se hacía con círculos graduados, astrolabios, etc.—. Tycho tenía su propia teoría sobre el Sistema solar: el Sol giraría alrededor de la Tierra, y los planetas alrededor del Sol. Este modelo, intermedio entre Tolomeo y Copérnico, no duró mucho, pero indica lo difícil que era en aquellos tiempos aceptar, incluso para astrónomos insignes como Tycho, que la Tierra no estaba en el centro.



Tycho Brahe en su observatorio.



Ioannes Kepler.

Kepler, con estas precisas mediciones y su espíritu de gran matemático, dedicó diez años a estudiar la órbita de Marte. Por fin encontró que no describía una circunferencia, sino una elipse, dando otro paso adelante al abandonar las circunferencias que desde los griegos estaban consideradas como las trayectorias *más perfectas*. También descubrió la ley de las áreas iguales que describe un planeta en su movimiento, y la relación que hay entre el tiempo que tarda un planeta en dar una vuelta a su órbita y su distancia al Sol.

1.6 Galileo

Contemporáneo de Kepler, **Galileo** nació y desarrolló su investigación en Italia. Se le considera el iniciador del llamado *método experimental*, al aplicar leyes matemáticas a las observaciones que hacía. Describió matemáticamente la trayectoria de un cuerpo en caída libre, la parabólica de un proyectil, la del péndulo, etc.

Su principal contribución a la Astronomía fue el uso del telescopio. Parece que fueron los holandeses los inventores, y ya habían usado en secreto anteojos con fines militares; si embargo Galileo fue el primero en dirigir al cielo los que él fabricó, con los que descubrió montañas en la Luna, cuatro satélites alrededor de Júpiter y que la Vía Láctea no era una nube celeste sino un conglomerado de miles de estrellas.

Es conocido su proceso con la Inquisición. En 1610 publicó su obra *Siderius Nuncius*, en la que describía el cielo tal como lo veía a través de su telescopio. Daba por supuesto el sistema copernicano del Sol en el centro. Una comisión de teólogos de la Inquisición no lo vio compatible con algunos



Galileo Galilei.

pasajes de la Biblia en el que, en un lenguaje propio del tiempo en que fue escrita, se habla del movimiento del Sol a través del cielo. Galileo, buen católico, argumentó que quizá no había que interpretar las Sagradas Escrituras literalmente, tal como se hace hoy. El cardenal Belarmino, muy influente entonces en el Vaticano, también era de esa opinión, pero esa tesis no tuvo éxito y Galileo fue conminado en 1616 a enseñar la teoría heliocéntrica sólo como hipótesis, es decir, como suposición, mientras no hubiera pruebas más evidentes que lo demostraran. Hay que aclarar que Galileo, guiado quizá más por su genial intuición científica, aportaba unas pruebas que no eran demasiado concluyentes, e incluso alguna era errónea. Las principales eran:

- El movimiento de las lunas de Júpiter alrededor del planeta. Los primitivos telescopios que fabricó, además de rudimentarios, no eran regulables (el enfoque era fijo, y cualquier pequeño defecto de miopía etc. no se podía ajustar), y por lo tanto, era difícil que personas no expertas vieran algo claro a través de ellos. A todos nos ha pasado cuando miramos por primera vez por un telescopio de aficionado, mucho mejor que los de entonces: no sabíamos qué estábamos viendo. Por otra parte, el que hubiera lunas girando alrededor de Júpiter no implica necesariamente que la Tierra gire alrededor del Sol.
- Las fases de Venus. Este hecho también se podía explicar con el sistema de Tycho, al que se aferraron los teólogos.
- Las mareas serían producidas por la fuerza centrífuga en el movimiento de rotación y traslación de la Tierra. Galileo se empeñaba en que debería haber una sola marea al día, cosa que cualquier marinero desmiente. Posteriormente se demostró que esta

prueba era falsa, ya que la causa de las mareas es la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol.

- El sistema heliocéntrico era más sencillo que el de Tolomeo.

Posteriormente, en 1633, Galileo, al publicar su obra *Diálogos* en la misma línea, fue procesado formalmente por un tribunal de la Inquisición, y desterrado a su villa de Arcetri, en Florencia, donde siguió investigando hasta su muerte, nueve años después.

En este proceso, el tribunal eclesiástico no supo delimitar el campo religioso del científico. Curiosamente, el tribunal se equivocó en lo que era su especialidad, la interpretación de las Sagradas Escrituras, y acertó en lo que no lo era, el método experimental, que exige tratar una teoría como hipótesis hasta que esté suficientemente demostrada. Y Galileo se equivocó en su especialidad, el método científico, y acertó en lo que no lo era, en la interpretación de las Sagradas Escrituras.

Cien años después los hechos se impusieron y se aportaron más y mejores pruebas, y en 1741 el Papa Benedicto XIV concedió el *imprimatur* —autorización— para la publicación de las obras de Galileo y retiró del *Índice* —especie de catálogo de libros contra la fe católica— los libros en favor de la teoría heliocéntrica. En 1992, el Papa Juan Pablo II, hablando de este tema, animó a los teólogos y a los científicos a respetar sus respectivos campos de investigación que, por ser distintos, no deben oponerse.

1.7 Newton

En el mismo año que murió Galileo, en 1642, nació **Newton** en Inglaterra, quizá el físico más grande de la Historia. A él le debemos, entre otras contribuciones a la cien-



Isaac Newton.

cia, las leyes del movimiento, de la gravitación, el cálculo infinitesimal y la descomposición de la luz por un prisma.

Con el cálculo infinitesimal como poderoso instrumento matemático, demostró que la fuerza que mantenía unida a la Luna con la Tierra era la misma que hacía caer a una manzana hacia el centro de la Tierra, y calculó su valor que elevó a la categoría de *universal*, es decir aplicable a cualquier lugar de la Tierra y del Universo. Por fin se alcanzaba el ideal de la Astronomía: una explicación sistemática de todo el Universo que a la vez permitía la predicción exacta de la posición de los planetas. Se había superado la dualidad entre explicación y predicción. Si a esto unimos la unidad de leyes para todos los cuerpos, sean celestes o terrestres, el edificio de la Astronomía como ciencia que estudia los movimientos de los astros parecía concluido. Sin embargo, como tantas veces ocurre en la historia de las ciencias, el desarrollo de la Física y los avances en los aparatos de observación fueron ampliando el panorama y necesitando de nuevas teorías para explicarlo.

1.8 La Astrofísica moderna

Una vez dominada la *Mecánica celeste*, el hombre empezó a preguntarse de qué estaban hechas las estrellas, cómo producían su luz, a qué distancia estaban, cómo empezaron, etc. Surgió así la Astrofísica y la Cosmología, como ampliación de la Astronomía.

En 1778 **Bode** propuso una ley empírica sobre la distancia de los planetas al Sol, que se vio confirmada tres años después con el descubrimiento de Urano por **William Herschel**. A partir de 1801 se empezaron a descubrir los asteroides, que también siguen esa ley. En 1846 se descubrió Neptuno, en 1931 Plutón y en 1978 su luna Caronte.



Albert Einstein.

En 1814 el físico alemán **Fraunhofer** observó unas rayas oscuras al hacer pasar la luz solar a través de un prisma: empezaba la espectroscopía, auténtica base de las investigaciones astrofísicas actuales.

En 1838 se consiguió medir el primer *paralaje* en una estrella, la *61 de Cisne*. Lo hizo **Bessel**. Con ese desplazamiento anual se podía medir su distancia, y a partir de ella empezar a tener una escala del Universo.

La fotografía, inventada a primeros del siglo XIX, se empezó a usar en 1843 para registrar el cielo. **Draper** fue el primero, fotografiando la Luna. También en ese siglo **Foucault** demostró el giro de la Tierra con el lento desplazamiento del plano de oscilación de un péndulo.

El siglo XX empieza con la Teoría de la relatividad propuesta por primera vez en 1905 por **Einstein**. Esa teoría es aplicable especialmente en las grandes distancias, grandes masas gravitatorias y altas velocidades: era *a medida* del

Universo. El físico y sacerdote católico **George Lemaître** propuso en 1927 la teoría de la Creación puntual e instantánea, que después tomó el nombre de teoría del Big Bang. En 1930 **Edwin Hubble** constató experimentalmente que todas las galaxias se alejan de nosotros, es decir, que el Universo está en expansión. Esta teoría tuvo una nueva confirmación en 1964, cuando **Arno Penzías** y **Robert Wilson** detectaron la radiación de fondo de microondas, reliquia de la gran explosión.

Alrededor de la II Guerra Mundial se descubrieron las reacciones nucleares, y se identificaron como las productoras de la energía de las estrellas. También se descubrió el radar y empezó la radioastronomía. A partir de los años 50 los conocimientos astronómicos se aceleraron, y cada año se han producido nuevos avances. Además comenzó la exploración *del* espacio y *desde* el espacio. Pero eso es el tema del próximo capítulo.



Edwin Hubble.

Actividades

1 Medición del radio de la Tierra

Objetivo: Estimar el radio de la Tierra, tal como lo hizo Eratóstenes (s.III a.C.)

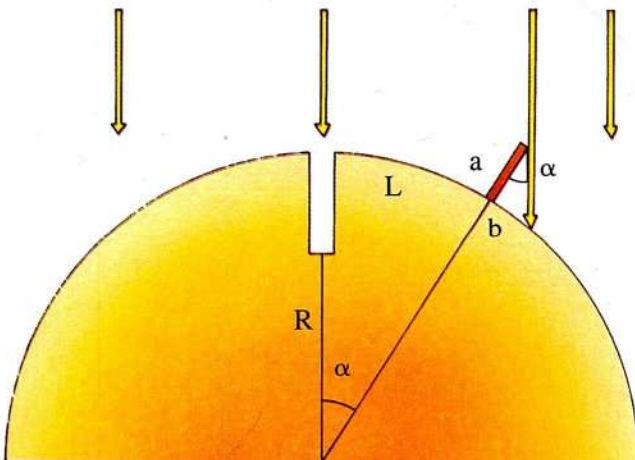
Material: Calculadora.

Procedimiento:

1. Eratóstenes estaba convencido de la esfericidad de la Tierra. Vivió una temporada en Syene (la actual Assuán, en Egipto). Comprobó que el equinoccio de primavera, el 21 de marzo, al mediodía, el Sol se reflejaba en el agua de un profundo pozo, es decir, que el Sol estaba justo en la vertical. En efecto, los obeliscos no producían sombra en ese momento. Al irse a vivir a Alejandría, que está en el mismo meridiano, observó que no ocurría lo mismo allí: la sombra de los obeliscos, aunque pequeña, existía ese día a las 12. Ello sólo podía deberse a la curvatura de la Tierra.
2. Cogió un poste vertical de $a=2$ metros y su sombra a esa hora era de $b=25$ cm.
3. Midió la distancia entre Syene y Alejandría y la estimó en $L=820$ Km. (Lo hizo usando como medida el paso de un hombre.)
4. Como el ángulo α es pequeño, se puede establecer la semejanza de triángulos siguiente:

$$\frac{a}{b} = \frac{R}{L}$$

5. Sustituye los valores de a , b y L , y calcula el radio de la Tierra R . Compáralo con el valor que viene en los libros de 6.375 Km.



2 Modelo de los epiciclos

Objetivo: Mostrar el modelo propuesto por Apolonio del movimiento de los planetas en el cielo, vistos desde la Tierra.

Material: • Dos pelotas de tenis.
• Palo de unos 2 m.

Procedimiento:

1. Pon una pelota de tenis en la mano izquierda, junto al cuerpo. Coge la otra pelota con la mano derecha y extiende el brazo. Mientras vas girando el brazo —circunferencia *deferente*—, describe con la mano pequeños círculos —*epiciclos*—. El movimiento compuesto que vemos de la pelota será similar al que describen en el cielo los planetas a lo largo del tiempo, alrededor de la Tierra.
2. Otro modelo que explica el porqué de ese movimiento rizado se puede hacer con un palo de unos dos metros, que simulará la línea de visión entre nosotros y el planeta. Cógelo con la mano derecha por su extremo, que representa la posición de la Tierra en su órbita. Hazlo pasar por la otra mano, elevada, que representa la posición de un planeta lejano, por ejemplo Júpiter. Si movemos la primera en círculos —como hace la Tierra alrededor del Sol—, y desplazamos la segunda lentamente, el extremo del palo irá describiendo la posición rizada, que es la trayectoria del planeta vista desde la Tierra.



3 Escuchando la voz de Júpiter

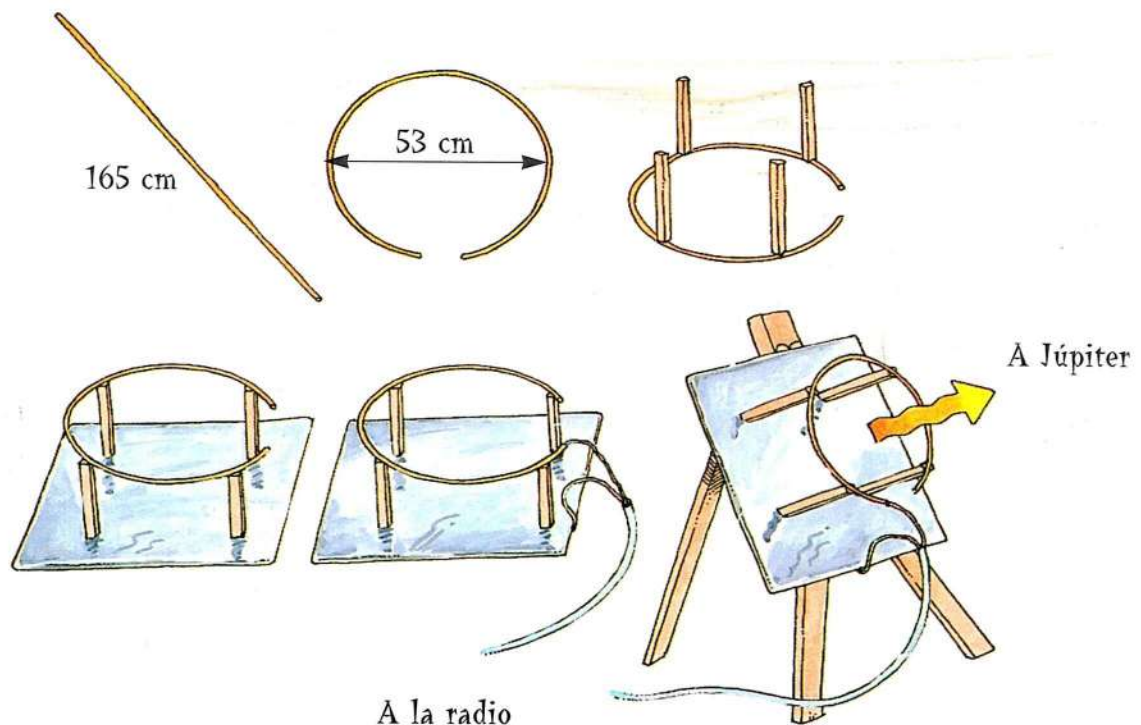
Objetivo: Escuchar las emisiones de radio del planeta gigante.

Material:

- Radio doméstica que tenga Onda Corta (SW), con dial que llegue hasta 18-22 MHz.
- 1'65 m de alambre de cobre rígido.
- Cuatro palos de madera de unos 30 cm de largo.
- Una plancha de madera de 60 × 60 cm.
- Papel de aluminio.
- Cable coaxial (del que se usa en las antenas de TV).

Procedimiento:

1. Júpiter emite ondas de radio en varias frecuencias. No está clara su procedencia, pero parece que tienen que ver con su campo magnético y también con su luna Io. Una emisión es en la banda de frecuencias de 18 a 22 MHz, con un máximo en 21 MHz. Esos valores entran dentro de la capacidad de bastantes receptores caseros. Deben tener Onda Corta (SW) y llegar el dial a esos valores.
2. Las emisiones de Júpiter no son continuas. Tiene tres chorros más o menos equidistantes que giran con el planeta cada diez horas. Además, esos chorros a veces están activos y a veces no. Igual que en otros campos, en Astronomía la paciencia es una virtud.
3. Sintoniza la radio en algún punto de esa banda en que no haya mucho ruido de fondo, y espera. Las emisiones suenan como olas de mar en una playa, que llegaran con una frecuencia de unas tres por segundo aproximadamente. Su intensidad crece hasta un máximo que dura algunos minutos —o segundos a veces—, y después decae. La experiencia dice que si estás 20 minutos a la escucha, tienes 1 probabilidad entre 6 de oírlas. Como es lógico, Júpiter debe estar en el cielo, aunque no le interfieren las nubes.
4. La propia antena de la radio es adecuada, aunque es omnidireccional y captará ondas que procedan de todas las direcciones. Si se quiere mejorar la escucha, y además asegurar que procede de Júpiter, hay que construirse una antena direccional que sustituya a la normal.
5. Coge 165 cm de alambre de cobre, y haz una circunferencia con ella, sin cerrarla. Sujétala a cuatro palos de 30 cm de longitud. Forra una madera de 60 x 60 cm por una cara con papel de aluminio. Clava en ella la circunferencia de cobre. Coge un cable coaxial de antena y conecta el cable interior a la circunferencia de cobre, y la malla exterior al aluminio. El otro extremo conéctalo a la antena de la radio. Por último, dirige la antena hacia Júpiter. En la ilustración siguiente se muestran los pasos.



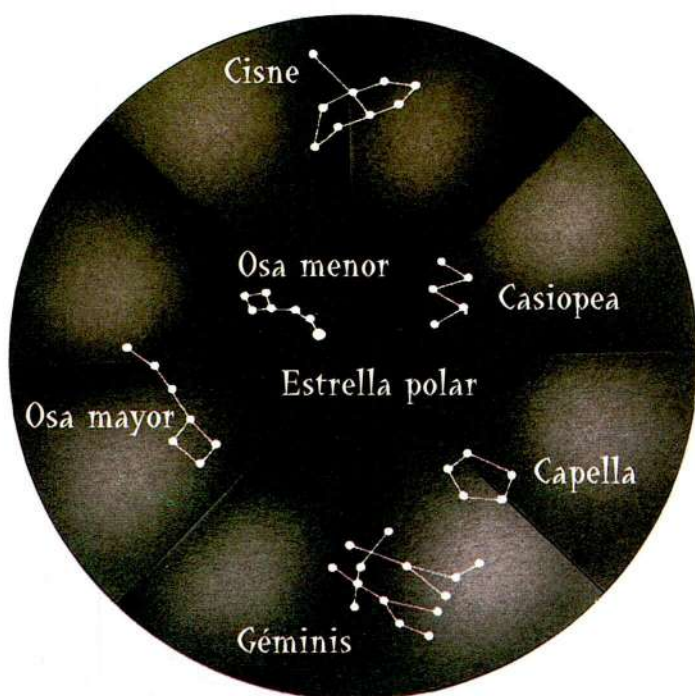
4 Un planisferio en tu paraguas

Objetivo: Simular el movimiento nocturno de las estrellas alrededor de la Estrella Polar.

Material: • Un paraguas negro.
• Etiquetas autoadhesivas de ordenador.

Procedimiento:

1. Recorta pequeños círculos de papel autoadhesivo, que representarán las estrellas.
2. Pégalas en la parte interior de un paraguas abierto, formando las constelaciones circumpolares, tal como está en el dibujo inferior. El centro del paraguas corresponde a la Estrella Polar.
3. Si giras lentamente el paraguas, simularás el movimiento que hacen las estrellas cada noche: dan una vuelta cada 24 horas.



5 Construcción de un medidor de ángulos y un contador de estrellas

Objetivo: Construir y manejar estos antiguos y sencillos aparatos.

Material:

- Regla.
- Transportador de ángulos.
- Pajita de refrescos.
- Cordel y tuerca.
- Cartulina.
- Compás.

Procedimiento:

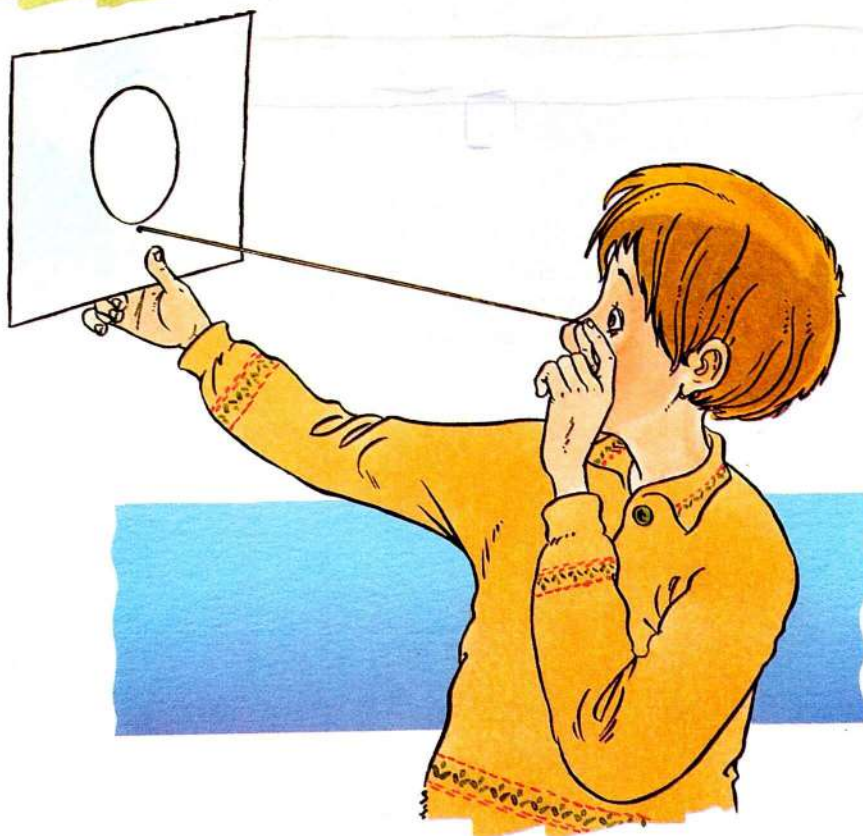
1. Agujerea el centro de la regla. Sujeta un cordel en él y haz un nudo a 57 cm del agujero. Si sostienes entonces la regla con el nudo cerca del ojo con el cordel tirante, 1 cm de la regla equivale a 1 grado. Para poder ver mejor las divisiones, puedes pegar una tira de papel blanco detrás de la escala de centímetros.



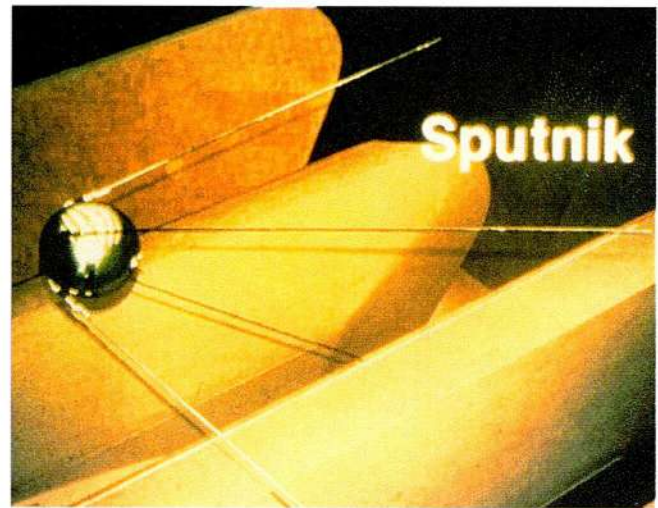
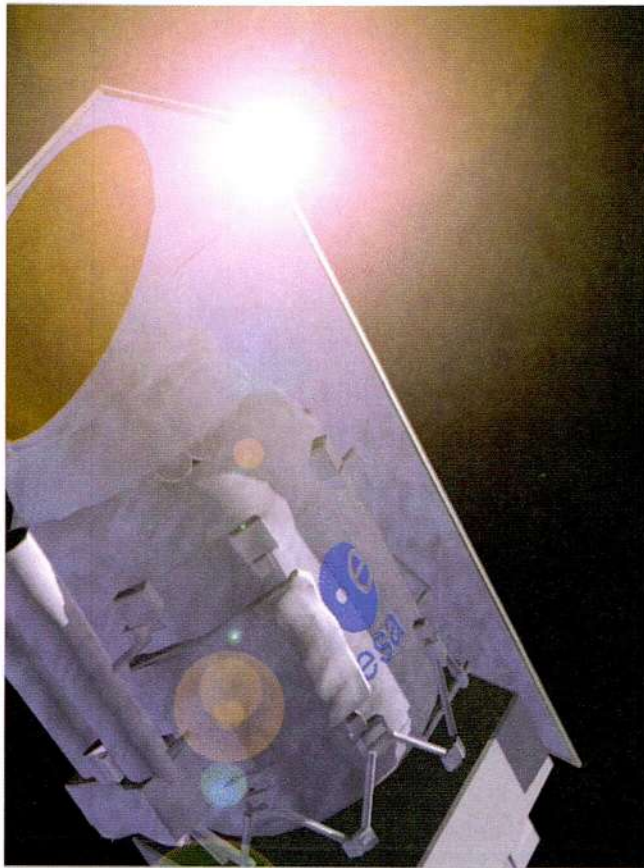
2. Para medir ángulos verticales, es más útil construirse un cuadrante: pega una pajita de refresco a la parte recta de un transportador de ángulos. En el origen de ángulos (está marcado en el transportador) cuelga un cordel con un peso en su extremo, por ejemplo una tuerca. Al mirar a una estrella a través de la pajita, el cordel marca el ángulo con la vertical.



3. Recorta una circunferencia de 16 cm de diámetro en una cartulina. En un punto cercano al borde, ata un cordel de 57 cm de longitud (como en el punto 1). Sosteniendo el aparato con el cordel tenso, ves un 1 % del cielo. Cuenta el nº de estrellas que ves a través del agujero, en distintas zonas, y haz la media. Multiplícalo por 100 y tendrás el nº de estrellas que se ven a simple vista desde tu punto de observación.



2 CONTRIBUCIÓN DE LA ASTRONÁUTICA

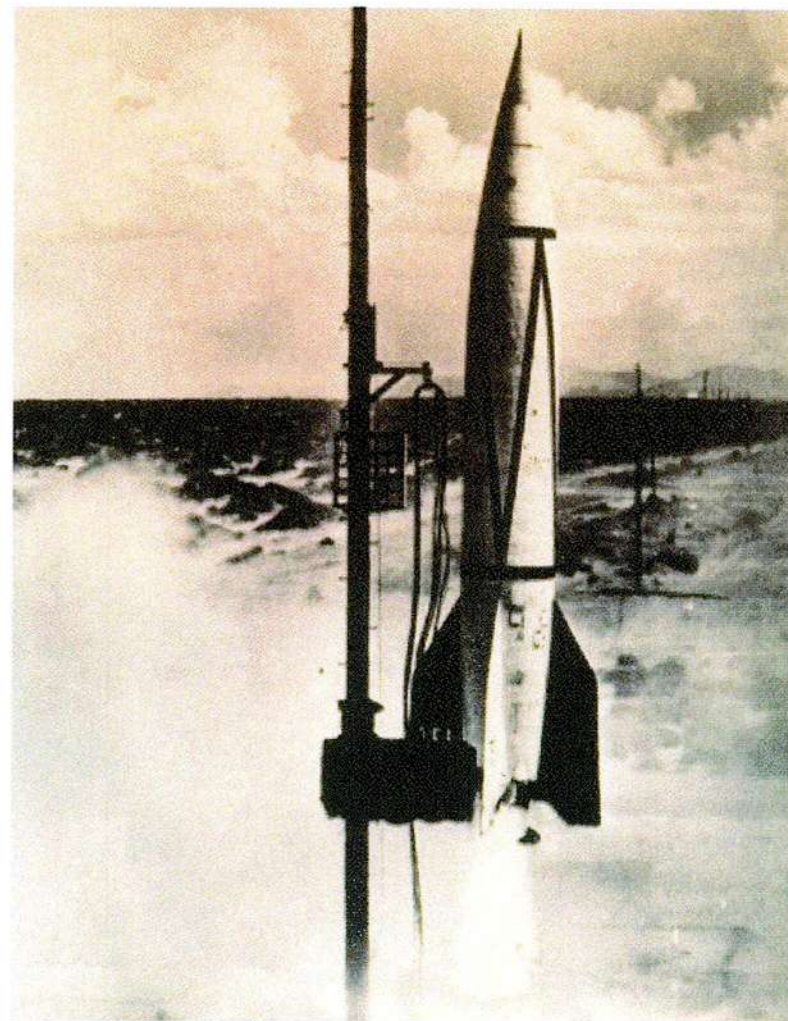


El Sputnik I, de 50 cm de diámetro.

2.1 Los primeros pasos

Durante los últimos años de la II Guerra Mundial, los alemanes desarrollaron la bomba V-2, con la que destrozaron Londres. Se lanzaba desde el suelo y tenía combustible que lo impulsaba hasta su objetivo, a cientos de Km de distancia. Era el primer cohete, de aspecto muy parecido al que llevó a Tintín a la Luna —este cómic tiene fecha de 1950, cinco años después de acabar la Guerra Mundial—, aunque sin ningún tripulante a bordo. Al terminar el conflicto, los rusos y americanos se repartieron los científicos que trabajaban en este proyecto.

El período 1957-58 se declaró *Año Geofísico Internacional*. Fue uno de los momentos de mayor colaboración mundial en el ámbito de las ciencias. Participaron 65 países y se llegaron a acuerdos sobre la Antártida y sobre futuros estudios de la atmósfera, el clima, etc. Dos años antes, el 29 de julio de 1955, los Estados Unidos anunciaron que con esa ocasión científica construirían un satélite artificial que acompañaría a la Luna en su orbitar la Tierra. Tres días después los soviéticos anunciaron un programa similar. En un mundo dividido en dos bloques, con una nación líder



Despegue de la V-2.

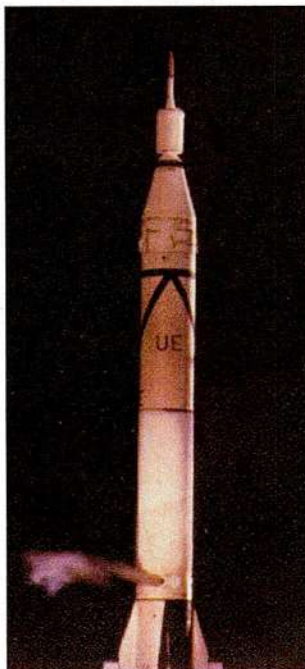
en cada uno, comenzó una carrera tecnológica para demostrar quién tenía la supremacía.

Los primeros éxitos fueron rusos. El 4 de octubre de 1957 pusieron en órbita el **Sputnik 1**, similar a un balón de fútbol de color plateado. Cuatro meses después los americanos consiguieron hacerlo con su **Explorer 1**, de tamaño similar. Descubrió un cinturón en el campo magnético terrestre muy importante para la vida, como veremos en los capítulos siguientes. Se le puso el nombre del científico que diseñó la parte científica de Explorer 1: cinturones de *Van Allen*.



Werner Von Braun, Director de la NASA desde 1958 a 1972.

En julio de 1958 se constituyó la **NASA** (National Aeronautics and Space Administration), organismo civil que sacaba del campo militar esta actividad, aunque siguiera habiendo algunas misiones con objetivos de seguridad nacional. Fue dirigida por *Werner Von Braun* hasta 1972.



El Explorer americano.

2.2 Los proyectos Vóstok y Mercury

Los rusos lanzaron con éxito un satélite con la perra *Laika* en su interior. Parecía que no había inconvenientes para que el hombre también se aventurara a esas alturas. El 12 de abril de 1961 volvieron a adelantarse poniendo en órbita a **Yuri Gagarin** a bordo del **Vóstok 1**. Dio tres vueltas a la Tierra y regresó a las pocas horas. El primer americano que lo consiguió fue *John Glenn* el 20 de febrero de 1962, en el interior de una cápsula **Mercury**. La primera mujer astronauta también fue rusa, *Valentina Tereshkova*, que viajó en julio de 1963.



Valentina Tereshkova, la primera mujer astronauta, junto al primer astronauta, Yuri Gagarin.

A estos lanzamientos siguieron otros, siempre con un solo astronauta a bordo. Sirvieron de pruebas para perfeccionar el objetivo propuesto: conseguir colocar al hombre



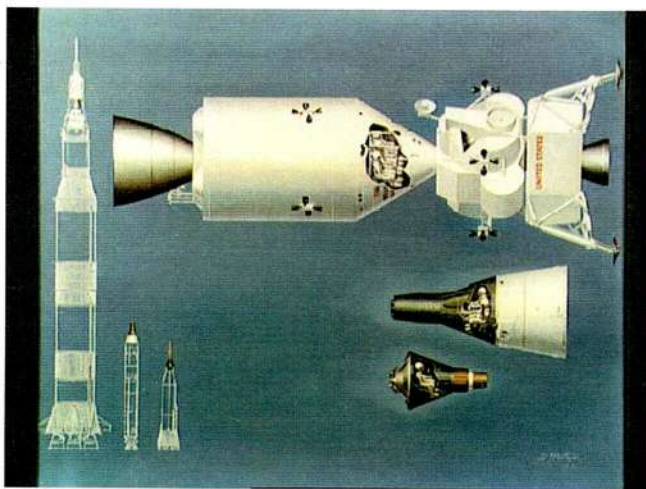
Astronautas de los vuelos Mercury

Kennedy en el Congreso, anunciando el proyecto de ir a la Luna.

en órbita alrededor de la Tierra. El presidente Kennedy, en una sesión histórica, el 25 de mayo de 1961, en el Congreso americano anunció: "Tenemos la intención de enviar hombres a la Luna y traerlos sanos y salvos a la Tierra antes de que termine el presente decenio". En eso también fue la *década prodigiosa*.

2.3 Los proyectos Gémini y Vósjod

El siguiente paso fue navegar por el espacio. En los proyectos *Gémini* (americano) y *Vósjod* (ruso) iban dos tripulantes y tenían capacidad de cambiar de órbita, salir al espacio con traje espacial y moverse de un lado a otro, aunque siempre en las cercanías de la Tierra. Consiguieron acoplarse con otros satélites también en órbita y conseguir *soltura* en la navegación espacial. Se desarrollaron durante los años 1965 y 1966, con resultados halagüeños. También sirvieron para que los Estados Unidos recuperara la



Cápsulas Mercury, Gémini y Apollo.

desventaja que tenía. Quizá se empezaban a notar en la Unión Soviética los esfuerzos económicos excesivos, que llevaron al desmoronamiento final de todo su sistema social.



El Gémini VI en pleno vuelo.

2.4 El programa Apolo

La NASA se encontraba en condiciones de enviar hombres a la Luna y puso en marcha el proyecto Apolo. Sin embargo, sufrió un duro golpe antes de que ninguno de estos vehículos despegara. El 27 de enero de 1967, los astronautas *Grisson*, *Chafee* y *White* perecieron abrasados en el interior de una cápsula en unas pruebas antes del lanzamiento. Unos meses después también fallecía el cosmonauta soviético *V. Komarov* al no abrirse el paracaídas a su regreso a Tierra. Los vehículos rusos retornaban sobre las planicies siberianas, aterrizando con ayuda de paracaídas. Los americanos lo hacían *amerizando* sobre el océano Pacífico.



Así quedó el Apolo I, después del incendio. Murieron tres astronautas norteamericanos.

Estos accidentes retrasaron la carrera espacial, pero la hicieron más segura: se adoptaron nuevos sistemas de seguridad y se revisó todo el proyecto. A partir de entonces no había que dar ni un paso en falso. Por fin, en octubre de 1968 partía de *cabo Kennedy* (Florida) el *Apolo VII*, con tres astronautas dentro. No salieron de la órbita terrestre, pero probaron la nueva cápsula. En navidades de ese



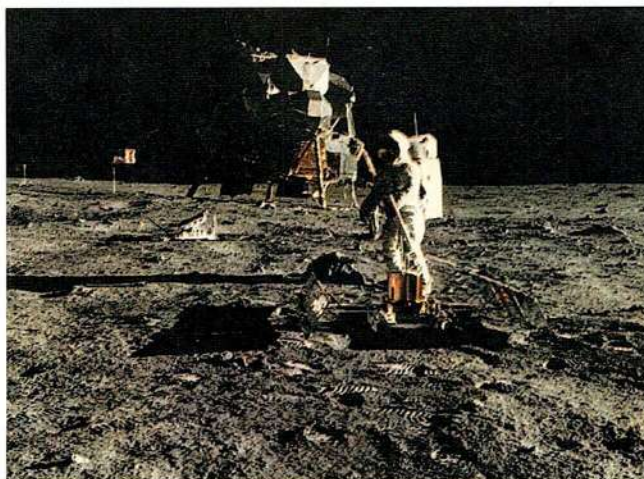
Huella en el suelo polvoriento de la Luna.



Tripulación del histórico Apolo XI; Armstrong, Collins y Aldrin.

año se emprendió el primer viaje tripulado a la Luna, en el *Apolo VIII*. *Borman*, *Lowell* y *Anders* fueron los tres primeros humanos que vieron de cerca la faz de la Luna. Sin embargo no desembarcaron allí. Dieron varias vueltas en órbita lunar y emprendieron el regreso a casa. En marzo partió el *Apolo IX* a la órbita terrestre. Una vez allí puso un extraño artefacto con forma de araña en su punta: el módulo lunar. Sería el aparato que en futuros vuelos descendería sobre la Luna. En este vuelo previo se probó el acoplamiento y los trajes espaciales. Dos meses después, el *Apolo X* llegó a la órbita lunar, se desacoplaron la cápsula y el módulo lunar y empezaron el descenso. Llegaron a 7 Km de la superficie. Una vez probado todo, encendieron de nuevo los cohetes y deshicieron el camino, regresando a la Tierra. Todo funcionaba correctamente. El *Apolo XI* podía partir hacia su misión histórica.

El 16 de julio de 1969, en presencia de un millón de espectadores directos, el *Apolo XI* partió de *cabo Kennedy* hacia la Luna. Llegaron allí el 19. Mientras *Michael Collins* se quedaba en órbita lunar en la cápsula, llamada *Columbia* (nombre del gigantesco cañón que ponía en órbita lunar una bala tripulada, en la novela *Viaje a la Luna* de Julio Verne), *Edwin Aldrin* y *Neil Armstrong* descendían a la Luna a bordo del módulo lunar, apodado *Eagle* (Águila), el 20 de julio. A primeras horas de la madrugada del **21 de julio de 1969**, *Armstrong* puso por primera

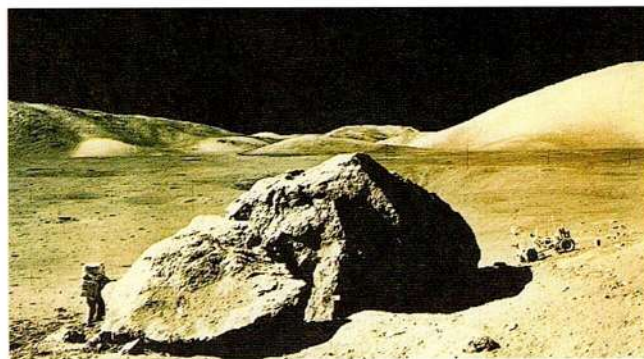


Neil Armstrong, y al fondo el Módulo Lunar Eagle.



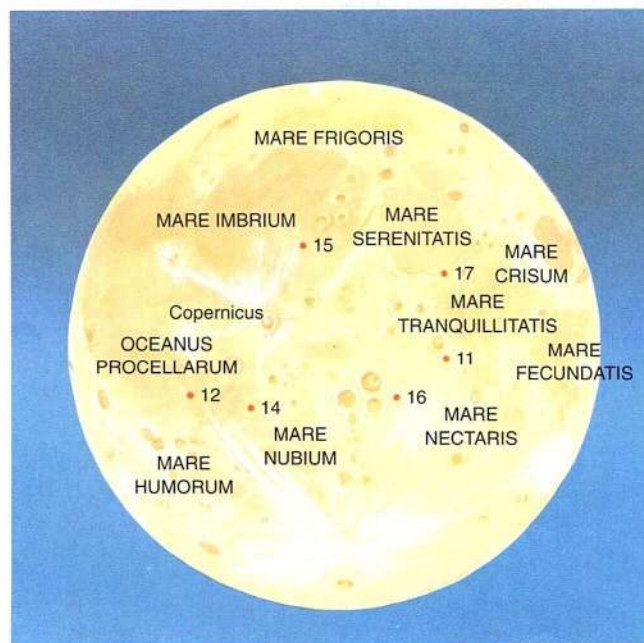
Aldrin descendiendo del módulo lunar.

vez pie en la Luna. A continuación lo hizo *Aldrin*. Realizaron varios paseos, desembarcaron varios instrumentos que transmitirían datos a la Tierra durante años y recogieron muestras de la superficie lunar. El regreso se hizo sin problemas, y fueron recibidos como héroes nacionales.

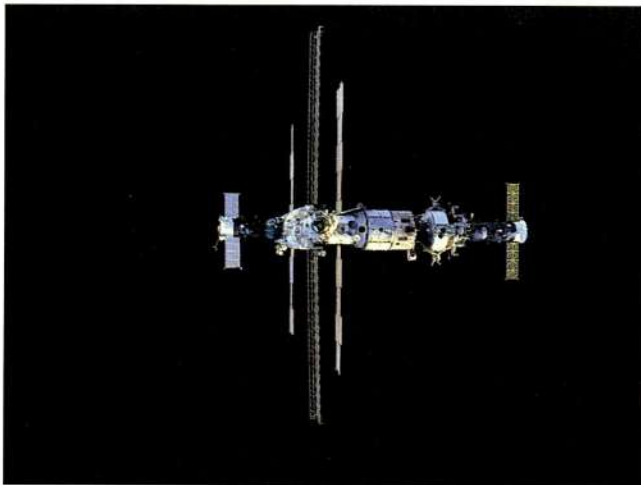


Astronauta del Apolo XVI en sus recorridos por la Luna.

Los vuelos tripulados a la Luna siguieron hasta el *Apolo XVII*, en diciembre de 1972. Desde entonces no se ha



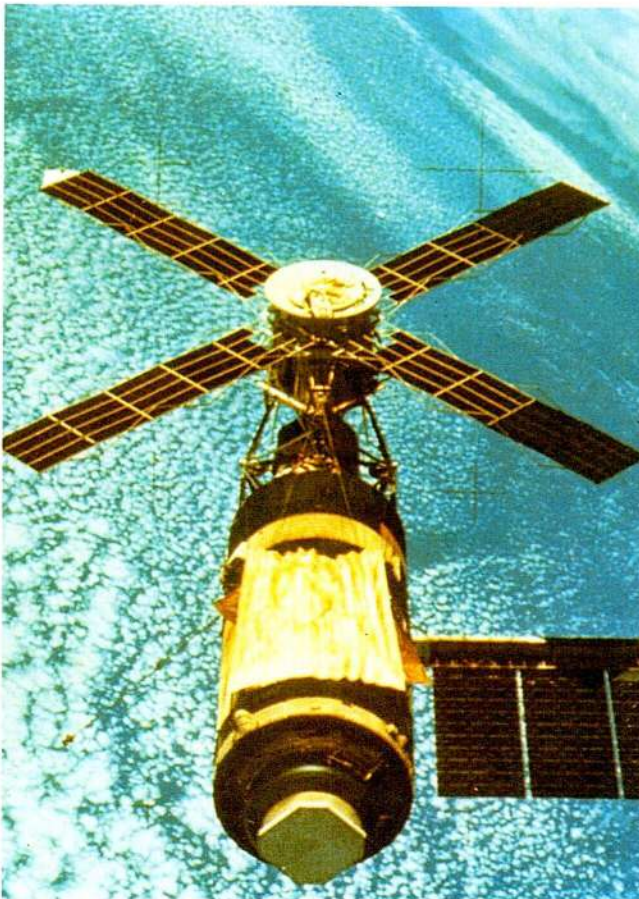
Lugar de alunizajes de los distintos Apolos.



La estación MIR, con la llegada de un módulo de aprovisionamiento Pegasus.

vuelto por allí. El *Apolo XIII* tuvo un serio accidente en el viaje de ida, que inutilizó sus cohetes principales. Con la ayuda de los secundarios consiguieron entrar en una órbita lunar que les catapultó inmediatamente de vuelta a la Tierra. Los alunizajes fueron por tanto seis, todos en la cara visible de la Luna. En los últimos llevaron un *rover* lunar que permitió alejarse varios kilómetros a los astronautas en sus viajes de exploración.

Los rusos renunciaron a poner hombres en la Luna, y optaron por mandar robots que recogieron y analizaron las muestras. Fueron los *Lunik*, que operaron en 1970 y 71.



Laboratorio espacial americano Skylab.

2.5 Los programas Skylab, Salyut y Mir

En los años siguientes, en la Tierra hubo crisis económica mundial a causa del petróleo y la NASA hubo de recortar sus presupuestos. Además, la Luna ya estaba vista, y los viajes tripulados se reorientaron de nuevo a órbitas terrestres. Así en 1973 se puso en órbita el *Skylab*, un laboratorio espacial norteamericano al que accedieron diversas tripulaciones durante varios años. Los rusos hicieron algo parecido con su *Salyut*, sustituido en los años 80 por la estación *Mir*.

2.6 El Space Shuttle



El transbordador espacial Shuttle.

El siguiente paso fue hacer fácil y barato el acceso al espacio, usando vehículos reutilizables. Y así apareció en el año 1981 el *transbordador espacial* (*Space Shuttle*). Es



Pedro Duque, primer astronauta español, de la Agencia Espacial Europea.



Miguel López-Alegría, americano nacido en Madrid, fue el primer hombre de ascendencia hispana en el espacio.

como un avión que despegue sobre tres depósitos de combustible, que es la única parte que se pierde en cada vuelo. En su bodega de 7x4 metros suele llevar satélites que deja en órbita con un brazo articulado. El regreso a la Tierra se hace planeando como un avión. Se construyeron cuatro: el *Columbia*, el *Atlantis*, el *Discovery* y el *Challenger*. Este último explotó en 1986, unos segundos después del lanzamiento, con 7 tripulantes que perdieron la vida. Esto obligó a repasar la seguridad y revisar todos los sistemas. Para sustituir al *Challenger* se construyó otro vehículo, el *Endeavour*. La utilización del transbordador es muy frecuente y se le prevé una larga vida. La Agencia Espacial Europea (ESA) tiene sus propios astronautas, que participan en las misiones americanas y rusas. Pedro Duque fue el primer español seleccionado por esta Agencia Europea para ser astronauta. Sin embargo antes que él voló al espacio Miguel López-Alegría, de nacionalidad americana pero nacido en Madrid. Su padre es español. En su viaje llevó una bandera del Real Madrid.

2.7 Sondas espaciales no tripuladas

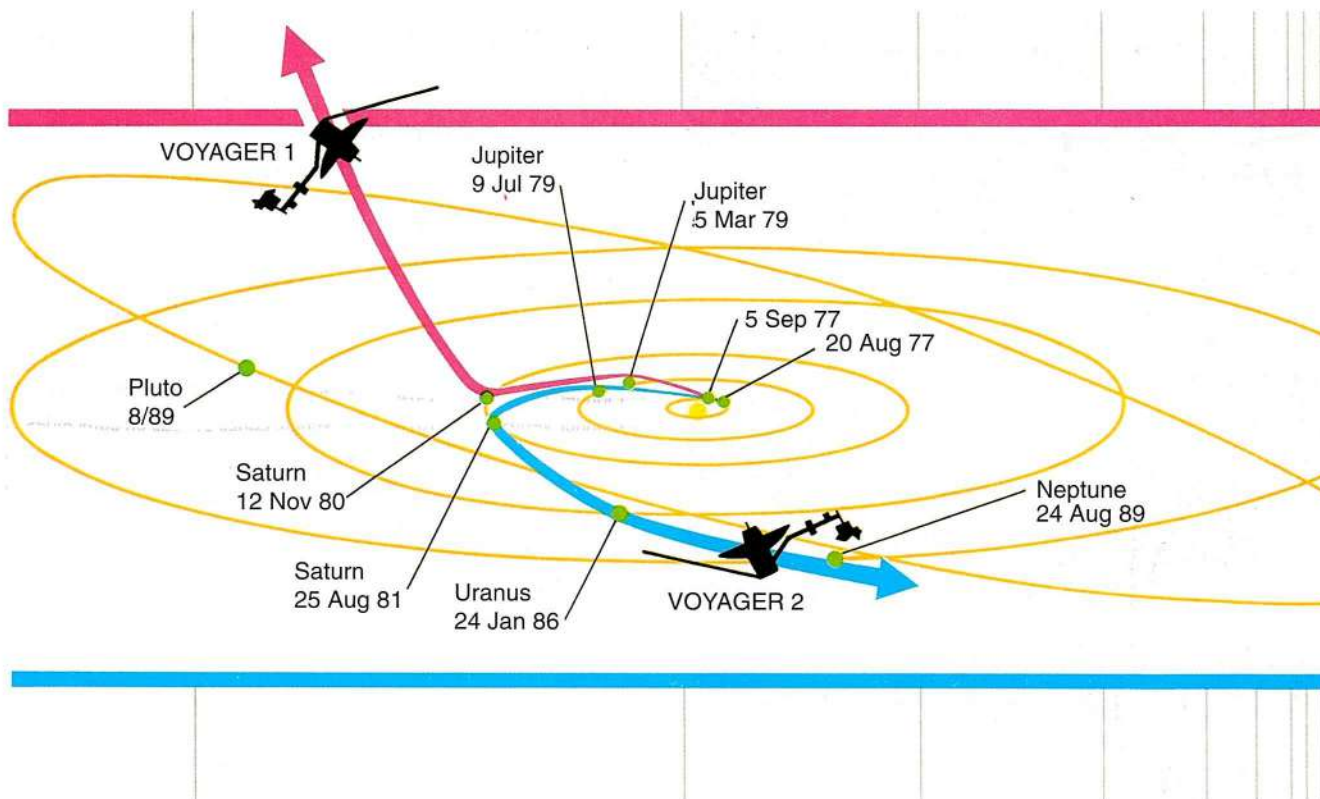
La mayor parte de los lanzamientos al espacio son sin tripulación. Desde finales de los años 50 se han ido poniendo en órbita terrestre muchos satélites artificiales que sirven para las telecomunicaciones, el estudio del clima y de otros aspectos de la Tierra, y con fines militares. Podríamos decir que son lanzamientos con destino a la Tierra.

SONDAS ESPACIALES NO TRIPULADAS

Nombre	Año de lanzamiento	Destino
Mariner 2	1962	Venus
Mariner 4	1964	Marte
Mariner 5	1967	Venus
Mariner 6 y 7	1969	Marte
Mariner 9	1971	Marte
Mariner 10	1973	Venus y Mercurio
Pionner 10	1973	Júpiter
Pionner 11	1974	Júpiter
Pionner Venus	1978	Venus. Lanzó sondas en paracaídas
Viking 1 y 2	1975	Marte. Aterrizan
Voyager 1	1977	Júpiter (1979)
Saturno (1980)		
Voyager 2	1977	Júpiter (1979) Saturno (1981) Urano (1986) Neptuno (1989)
Giotto	1986	Cometa Halley
Magallanes	1992	Venus. Cartografió la superficie
Galileo	1991	Júpiter (1995)
Ulysses	1992	Polos del Sol (1994 y 1995)
Cassini	1997	Saturno (2005)
Venera 4	1967	Venus. Ruso
Venera 7	1970	Venus. Aterrizó
Venera 8	1972	Venus. Aterrizó
Venera 9 y 10	1975	Venus. Aterrizó
Venera 13 y 14	1983	Venus. Aterrizó
Venera 15 y 16	1984	Venus. Aterrizó
Veha 1	1985	Venus
Veha 2	1986	Venus



El Mariner 6, que fue a Marte.



Trayectoria de las sondas Voyager 1 y 2.

Otro grupo de lanzamientos han sido con destino a los planetas del Sistema Solar. Han pasado por sus cercanías y nos han enviado fotografías y datos diversos, que han hecho avanzar mucho a la Astronomía. Algunos se han posado sobre su superficie.

La serie *Mariner* tuvo como objetivos Venus, Marte y Mercurio, del año 1962 al 1973.

La serie *Pioneer* fue a Júpiter en los años 73-74, y a Venus en 1978. En este último caso hizo descender con paracaídas varias sondas que fueron enviando datos según bajaban, antes de ser destruidas por la terrible atmósfera venusiana.

Los *Viking 1* y 2 aterrizaron en Marte en 1975. La serie rusa *Venera* consiguió aterrizar en Venus varias veces entre 1970 y 1984. La nave *Magallanes* cartografió Venus con un radar de apertura sintética desde su órbita en 1992.

El viaje más espectacular lo han hecho los *Voyager 1* y 2. Lanzados en 1977, visitaron Júpiter y Saturno. El *Voyager 2* siguió a Urano (1986) y Neptuno (1989). Esto se consiguió gracias a la alineación providencial que tuvieron esos planetas en esas fechas. Para viajar a un planeta no se hace en línea recta —sería costosísimo—, sino adquiriendo una determinada velocidad y luego dejando que sea la inercia y la gravedad del planeta la que muevan al vehículo en trayectorias elípticas o parabólicas. En el caso del *Voyager*, apenas llevaba combustible para hacer ligeras correcciones de dirección. Al llegar a un planeta lo hacía con tal inclinación que salía catapultado hacia el siguiente, que afortunadamente no estaba en la parte opuesta de su órbita, sino a tiro. Así consiguió llegar hasta Neptuno, antes de salir hacia el exterior del Sistema Solar.



El Pioneer Venus.

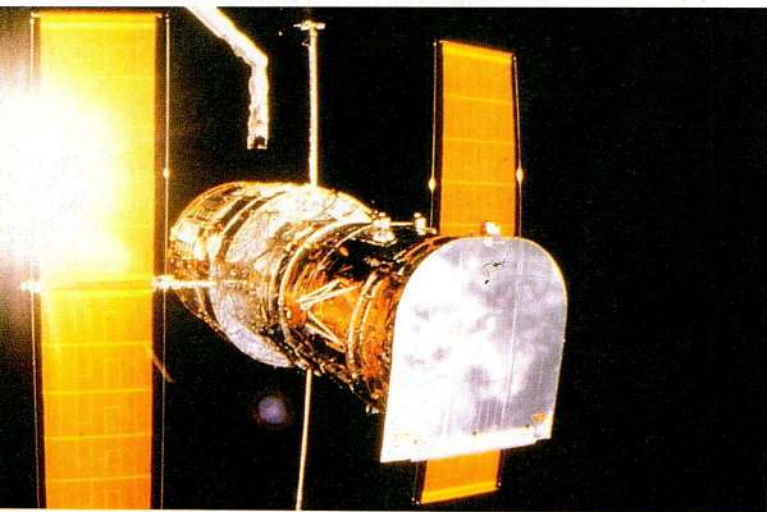


Telescopio Compton (GRO), de rayos gamma.

2.8 Telescopios espaciales

TELESCOPIOS ESPACIALES

Nombre	Año de lanzamiento	Rango de observación
OA0 - 2	1968	Ultravioleta
OA0 - 3	1972	Ultravioleta
HEAO 1	1977	Rayos X
HEAO 2	1978	Rayos X
HEAO 3	1979	Rayos gamma
IUE	1978	Ultravioleta
SMM	1980	Observación del Sol en varias long. de onda
IRAS	1983	Infrarrojo
COBE	1989	Fondo de microondas
Hubble	1990	Luz visible



Telescopio Espacial Hubble (HST).



La próxima generación de vehículos espaciales probablemente tendrá motores de impulsión iónica.

Otra importantísima contribución de la Astronáutica a la Astronomía ha sido la posibilidad de observar el cielo sin las perturbaciones atmosféricas. Así se han puesto en órbita varios vehículos espaciales no tripulados que rastrean el cielo en todas las longitudes de onda. El más espectacular es el *Telescopio Espacial Hubble*, lanzado en 1990. Su espejo primario tiene un diámetro de 2'4 m. Fue fabricado con un error en la curvatura de menos de 1 mm, por lo que necesitó ser reparado en órbita en 1993 colocándole unos aparatos electrónicos que le sirven de gafas para que pudiera conseguir la nitidez esperada. Sus descubrimientos han supuesto un gran avance en Astronomía.

2.9 Futuro de la exploración espacial

Y en el futuro, ¿cómo serán los viajes espaciales? Puede ocurrir que haya descubrimientos científicos que revolucionen totalmente nuestra concepción en esta materia. Pero decir cuáles serán, hoy por hoy, es entrar en ciencia-ficción.

Sí se puede hacer una estimación de lo que serán las próximas décadas en Astronáutica partiendo de los conocimientos actuales y de las líneas de investigación en que se está trabajando con vistas al futuro.

Por una parte parece que ser los sistemas de propulsión a base de los caros combustibles químicos actuales se limitarán para las órbitas terrestres. Los sustitutos para viajes más largos parece que serán algunos de estos cinco: propulsión eléctrico-nuclear, eléctrico-solar, por láser, con velas solares y aceleradores dinámicos electromagnéticos.

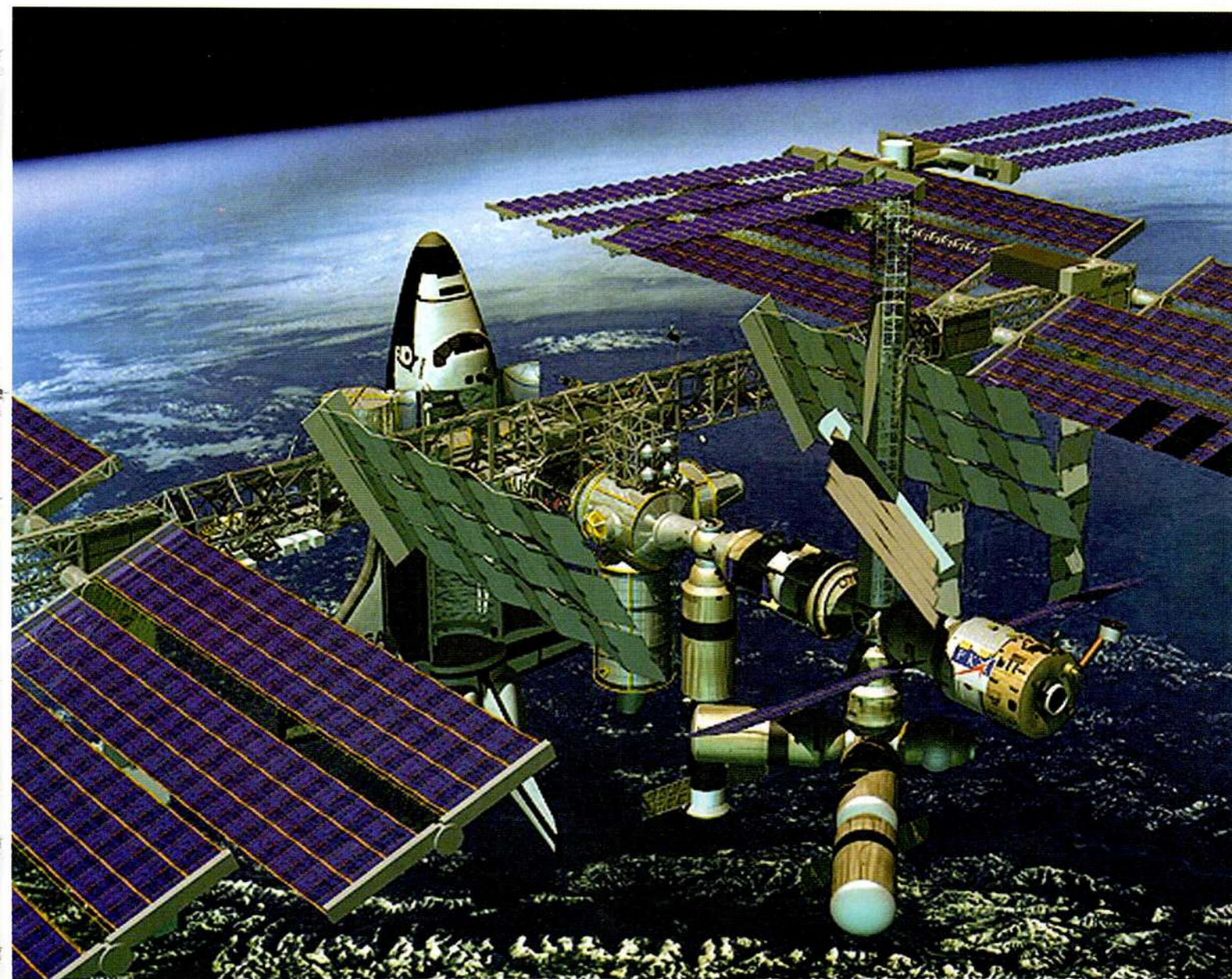
El propulsor eléctrico-solar parece el que tiene más futuro. En él, unos paneles solares generan la electricidad necesaria para ionizar y acelerar un gas inerte como el

xenón, que sale del motor impulsando al vehículo. Proporciona velocidades iniciales bajas, pero al mantener la aceleración constante, al cabo del tiempo se pueden conseguir velocidades enormes. Parece el más idóneo para sondas de exploración y traslado de cargas por todo el sistema solar.

El propulsor eléctrico-nuclear es similar, pero en lugar de paneles solares usa un reactor nuclear. Puede ser adecuado para planetas alejados, donde la luz solar es débil. El propulsor de láser obtendría su energía de un láser de alta potencia situado en la superficie terrestre. Las velas solares son grandes superficies que son impulsadas como velas de un barco por la presión de las partículas del viento solar. No requieren combustible pero no consiguen

velocidades muy altas. Por último, los aceleradores dinámicos proporcionan un sistema barato para cargas voluminosas que puedan aguantar aceleraciones de miles de veces la gravedad terrestre.

La exploración de los planetas lejanos se hará con sondas no tripuladas. El hombre volverá a la Luna para instalar bases científicas, a Marte para explorarlo, y quizá más adelante a algún otro planeta o algunos asteroides que pueden tener recursos valiosos de minerales. Pero lo más inmediato será la estación orbital internacional ALFA, en la que participa la ESA y por lo tanto España. Tendrá tripulación científica permanente, y usará como vehículos de ida y vuelta el Transbordador espacial americano, la nave Soyuz y quizá el futuro avión espacial europeo Hermes.



Estación orbital internacional ALFA.

Actividades

1 Modelo de antenas de comunicación

Objetivos: Hacer y usar unas antenas parabólicas similares a las que usan los vehículos espaciales para comunicarse con la Tierra.

Material: Dos paraguas, mejor si son plegables.

Procedimiento:

Para esta actividad son necesarias dos personas. Moja los paraguas, para que una capa de agua tape los pequeños orificios del tejido. Ponlos abiertos a una distancia de varios metros, con el bastón central dirigido hacia el otro paraguas. Habla en dirección al paraguas poniendo la boca cerca del lugar donde el varillaje se une al bastón central. La otra persona oír la conversación si pone su oído en esa misma posición del otro paraguas, donde se concentran las ondas de tu *emisión*. Conviene taparse el otro oído con la mano. Los paraguas plegables son más planos y el foco es más externo que en los otros, por lo que son mejores para esta actividad.



2 Un cohete impulsado con agua

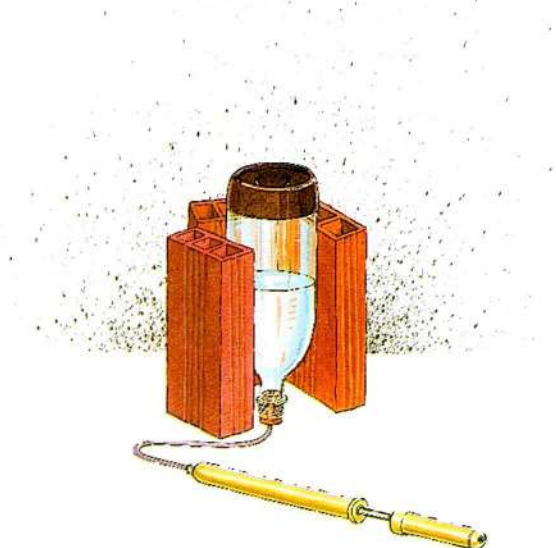
Objetivo: Construir un cohete impulsado por agua.

Material:

- Una botella de 2 litros de plástico, como las de refrescos.
- Una bomba de inflar bicicletas.
- Un tapón de corcho.
- Tres ladrillos.

Procedimiento:

1. Llena la botella con agua hasta la mitad. Ponle un tapón de corcho, con un agujero por donde puedas conectar la bomba de bicicleta sin que se salga el agua.
2. Pon en el suelo la botella boca abajo, con la bomba conectada. Tres ladrillos verticales a su alrededor te servirán para que se mantenga de pie. Todo esto hazlo en un descampado, porque te mojarás.
3. Con cuidado de no inclinar el cohete, ve metiendo aire en su interior con la bomba, hasta que él solo se destaque por la presión interior. Entonces saldrá el agua hacia abajo e impulsará al cohete hacia arriba, como los gases de un cohete al salir hacia atrás, lo impulsan hacia adelante por el principio de *acción y reacción*.
4. Puedes intentar mejorar el prototipo haciéndolo más aerodinámico, regulando la salida de agua con orificios más pequeños, consiguiendo más presión mejorando el cierre del tapón, etc.



3 Un barco-cohete

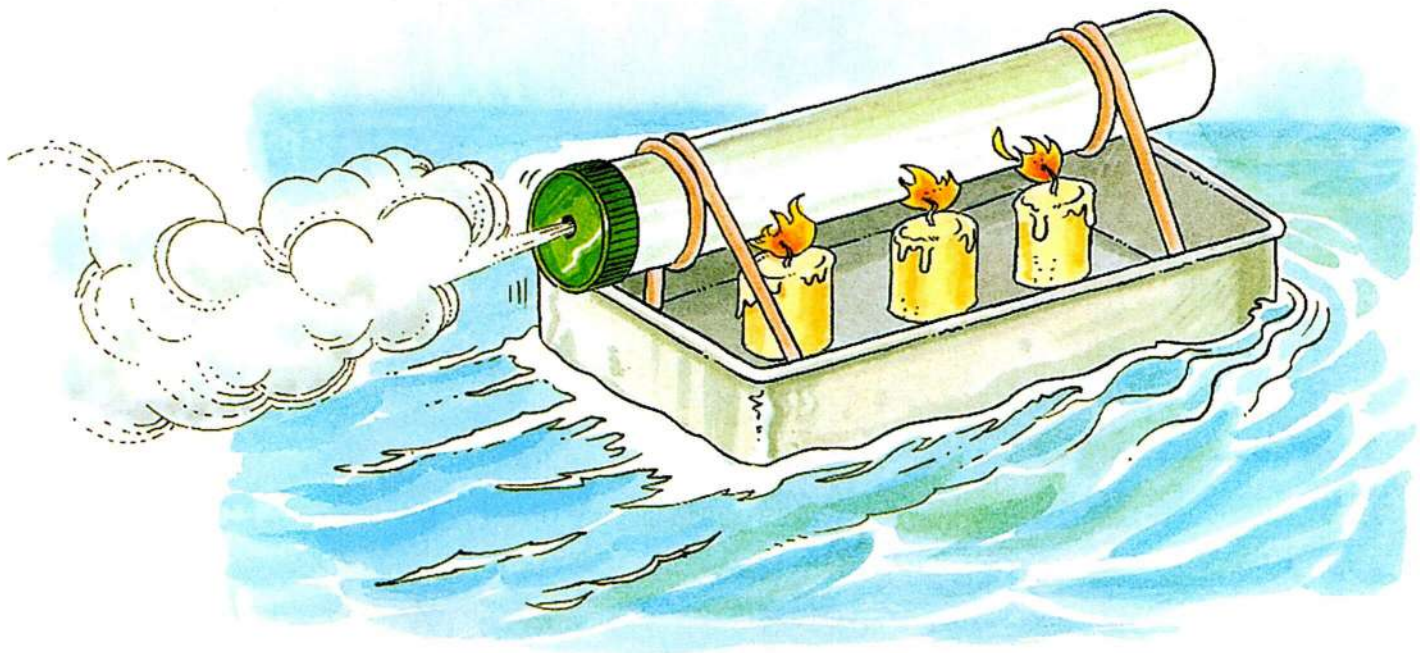
Objetivo: Construir un barco que funcione a reacción, como los cohetes.

Material:

- Una lata metálica de conservas, sin tapa.
- Un tubo metálico de tabaco o medicinas.
- 3 velas cortas.
- 2 abrazaderas hechas con alambre.

Procedimiento:

1. Haz un agujero en el tapón del tubo. Pega o sujeta las abrazaderas en el tubo y en la lata metálica, como se indica en el dibujo.
2. Llena de agua hasta la mitad del tubo y vuelve a poner la tapadera. Enciende las velas y pon el barco en la bañera o en un estanque. Al poco rato, el vapor de agua saldrá por el tubo, y por el principio de acción y reacción, el barco recibirá un impulso hacia adelante.



4 Astronomía en la ciencia ficción

Objetivo: Analizar los conceptos astronómicos en algunas películas de ciencia ficción o de Historia de la astronáutica.

Material: - Aparato de vídeo y TV.
- Películas de ciencia ficción.

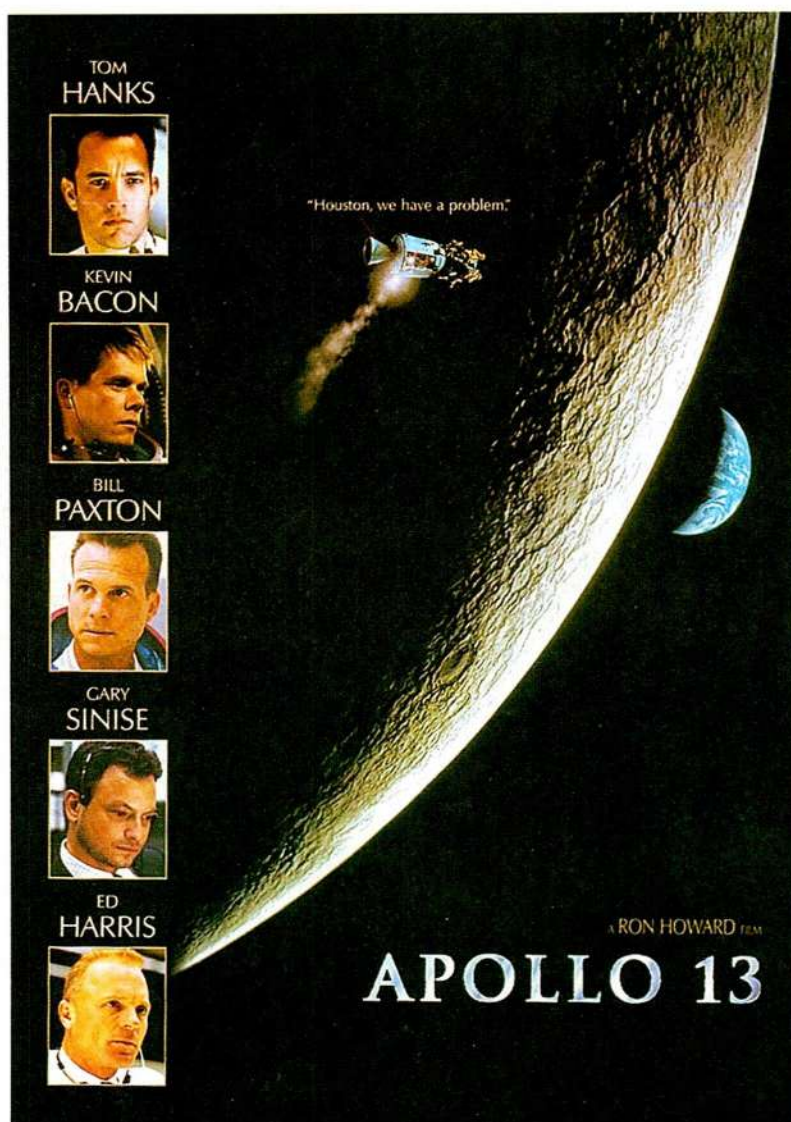
Procedimiento:

1. Proyecta una película de entre las siguientes:

- *Apolo 13*
- *Elegidos para la gloria*
- *2001: una odisea del espacio*
- *2010: Odisea 2*
- *Star Trek* (varios títulos)
- *La guerra de las Galaxias* (varios títulos)
- *Abismo negro*
- *E.T.*
- *De la Tierra a la Luna* (Julio Verne)
- *Objetivo: la Luna* (Tintín)

2. Analiza y discute con otros los errores y aciertos científicos de la película. A título de ejemplo, algunos errores científicos en la excelente película *Apolo 13* son:

- En las escenas desde el exterior de la nave en el momento del accidente se oyen explosiones, lo que no puede ocurrir al no haber aire en el espacio exterior.
- Cuando están dando la vuelta por la cara oculta de la Luna, dicen que ven Fra Mauro, donde iban a alunizar. Sin embargo está realmente en la cara visible.
- Poco antes de regresar a la Tierra, dos astronautas mantienen una conversación cara a cara. Detrás de cada uno hay una ventanilla por la que se ve la Tierra y la Luna respectivamente. La parte iluminada del planeta y del satélite no concuerdan.
- El anagrama de la NASA que aparece en el cohete se empezó a usar varios años después.



3 MEDIOS CON QUE CUENTA EL ASTRÓNOMO



3.1 Conocimiento del cielo

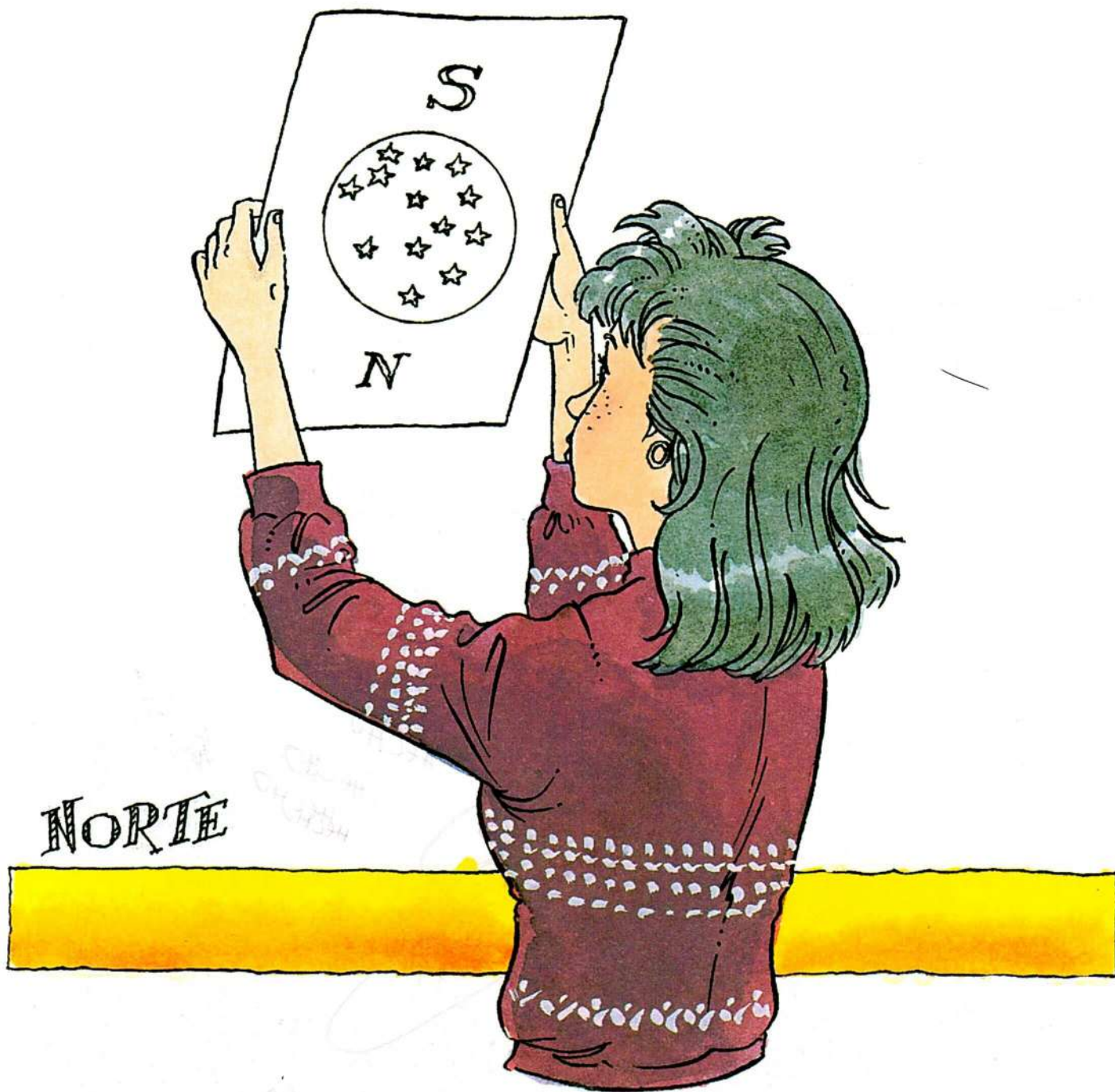
Una de las satisfacciones mayores que proporciona la astronomía es tener *amigos* en el cielo. Podemos saludarles cada noche e irles conociendo cada vez un poco mejor. El objeto de este capítulo es aprender a distinguir las constelaciones y estrellas más importantes y brillantes. Para ello no es necesario ningún telescopio ni prismáticos, simplemente hay que mirar hacia arriba e intentar descubrir donde están. Al principio puede ser útil un planisferio y las ilustraciones que aquí se muestran.

El cielo va girando a lo largo de la noche y, mucho más

lentamente, a lo largo del año. Por eso vamos a describir el aspecto que presenta sobre las 10 de la noche, a mediados de cada estación del año.

Los planos celestes suelen representar de una forma plana la bóveda celeste. Para usarlos, mira el horizonte hacia un punto cardinal y pon delante de ti el plano celeste con la representación del punto cardinal abajo. Las estrellas que están justo encima de tu cabeza —cenit— se representan aproximadamente en el centro del plano. Si después miras a otra parte del horizonte, debes girar el plano celeste.

En la actividad 2 hay unos mapas más detallados de varias constelaciones.



Para usar los planos celestes, sitúa en la parte inferior el punto cardinal hacia el que miras, e imagínáelos como si fueran media esfera.

Para observar las estrellas se recomiendan seguir estos consejos:

1. Buscar un lugar oscuro, lejos de ciudades, carreteras iluminadas o farolas cercanas. Esto es muy importante para observar objetos débiles. Sin embargo, para reconocer las constelaciones, es preferible que sean sólo visibles las estrellas más brillantes, para poder reconocerlas sin perderse entre las miles de estrellas que se ven desde un sitio realmente oscuro. La presencia de la Luna casi llena, al iluminar el cielo, también hace desaparecer muchas estrellas débiles.
2. Desde el lugar escogido debe verse la mayor parte del cielo posible, incluido el horizonte. Por tanto no son buenos los valles rodeados de montañas altas o las plazas con edificios o árboles altos cercanos, y sí lo son los terrenos llanos, las terrazas de los edificios o las cimas de las montañas.
3. Los ojos tardan unos diez minutos en adaptarse a la visión nocturna. Una vez conseguido esto, mirar a un libro iluminado o encender una luz cercana arruina casi instantáneamente esa adaptación. Sin embargo la luz roja no les influye, por lo que es conveniente llevar una linterna con papel celofán rojo.

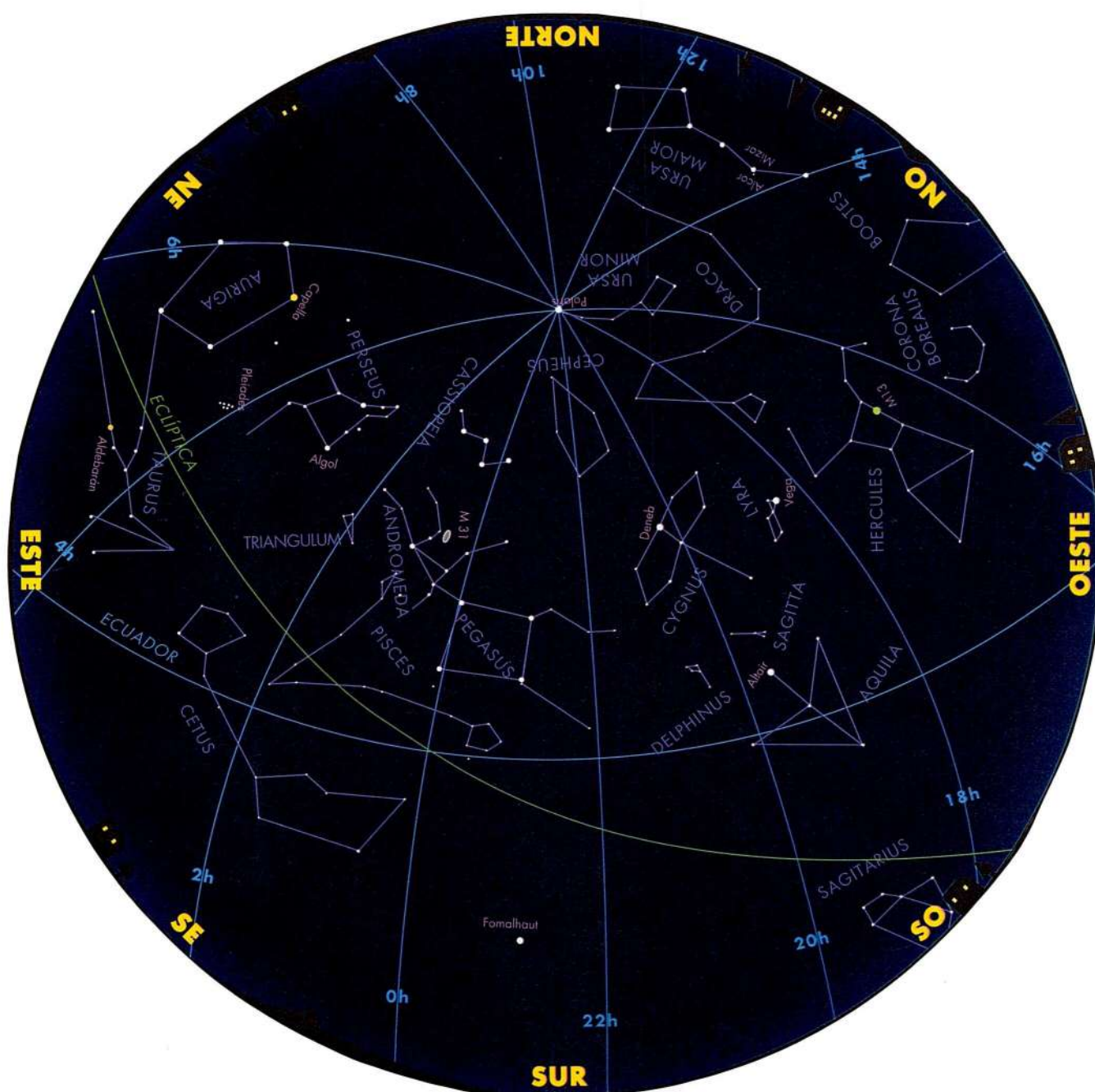
Plano del cielo en otoño

La **Osa Mayor** aparece muy cerca del horizonte, en el Norte. Siguiendo la línea de las dos estrellas delanteras, y a unas cinco veces su distancia, se puede descubrir la **Estrella Polar**, que parece estar quieta en el cielo durante todo el año. Es el extremo de la **Osa Menor**, sólo visible en cielos oscuros. Siguiendo esa línea, y a la misma distancia de la Estrella Polar que la Osa Mayor, aparece **Casiopea**, en forma de W (o M, según se mire). Está cercana al cenit. Hacia el Este, a media altura, está la constelación de **Auriga**, en forma de pentágono. Su estrella más brillante es **Capella**. Entre ésta y Casiopea, está la conste-

lación de **Perseo**, cuyas estrellas forman dos espirales en forma de flecha.

Muy alto y ligeramente hacia el Sur, se puede reconocer el gran cuadrado de la constelación de **Pegaso**. Uno de los vértices es la cabeza de la constelación de **Andrómeda**. Junto a la rodilla, visible sólo en cielos oscuros, se puede ver el objeto más lejano a simple vista: la **galaxia de Andrómeda (M31)**. Cualquier prismático mejora bastante su visión.

Al Oeste, la estrella brillante cerca del horizonte es **Altair**, en la constelación del **Águila**.

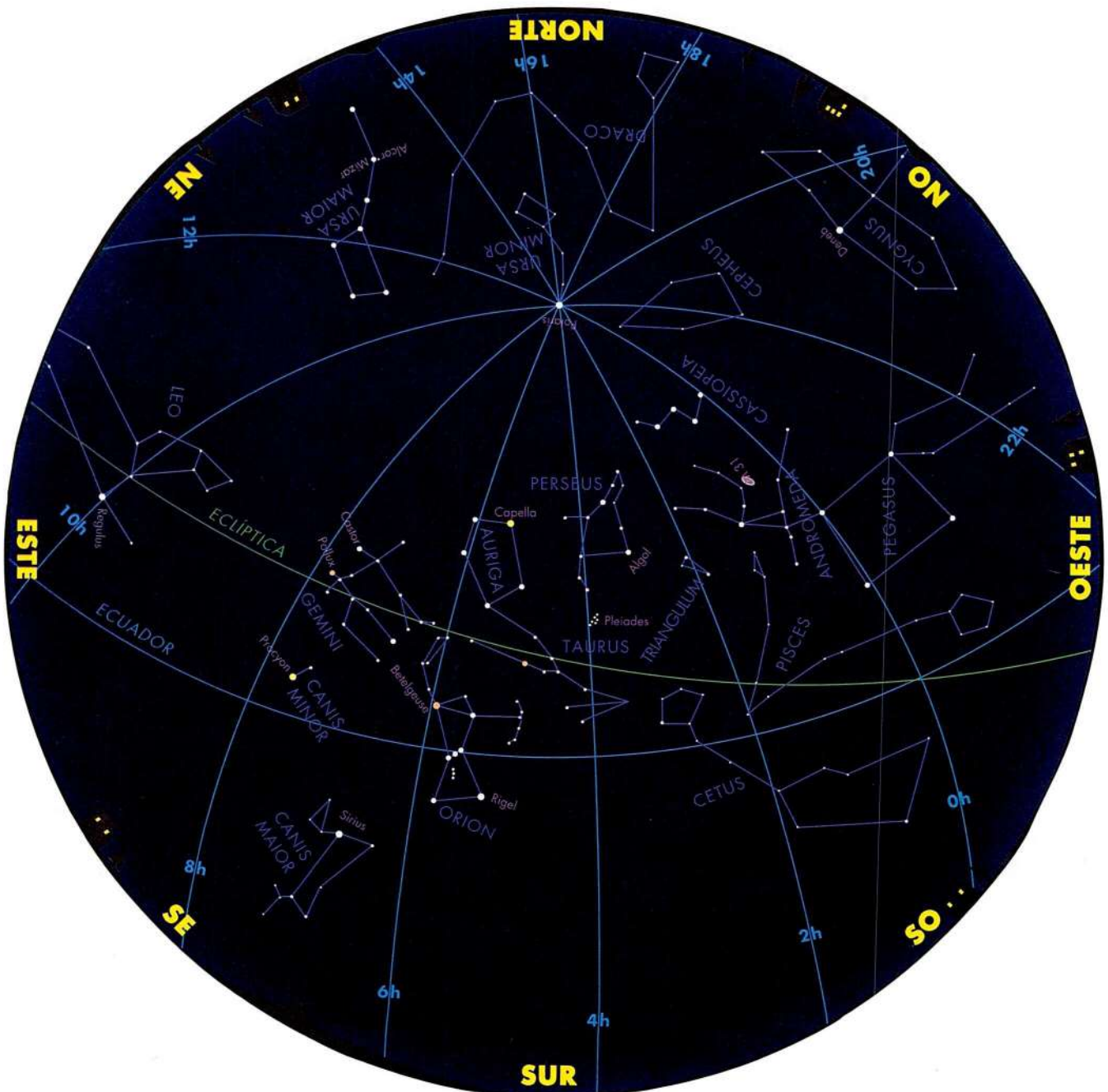


Plano del cielo en invierno

La constelación más espectacular es **Orión**, el cazador. Está a media altura, más bien hacia el Sur. Su cinturón formado por tres estrellas de similar brillo y equidistantes, es fácil de identificar. El hombro izquierdo es **Betelgeuse**, de color rojizo. El pie derecho es **Rigel**, una supergigante azul. Del cinturón cuelga una pequeña espada formada por dos pequeñas estrellas y la nebulosa **M 42** en el centro. A simple vista ya se ve como un objeto borroso, y su visión con prismáticos o un telescopio pequeño no defrauda.

A su derecha se distingue una V, parte de la constela-

ción de **Tauro**. La estrella más brillante es **Aldebarán**, de color rojizo. Algo más a la derecha hay una pequeña joya: las **Pléyades**. Es parecida a la Osa Mayor pero en miniatura. Si retornamos a Orión, siguiendo la línea del cinturón hacia la izquierda, cerca del horizonte, veremos la estrella más brillante del firmamento: **Sirio**, que está en **Canis Mayor**. Más alta está otra estrella muy brillante, **Procyon**, en **Canis Minor**. Y justo encima se distingue a las dos estrellas hermanas **Cástor** y **Pollux**, en la constelación de **Géminis**.

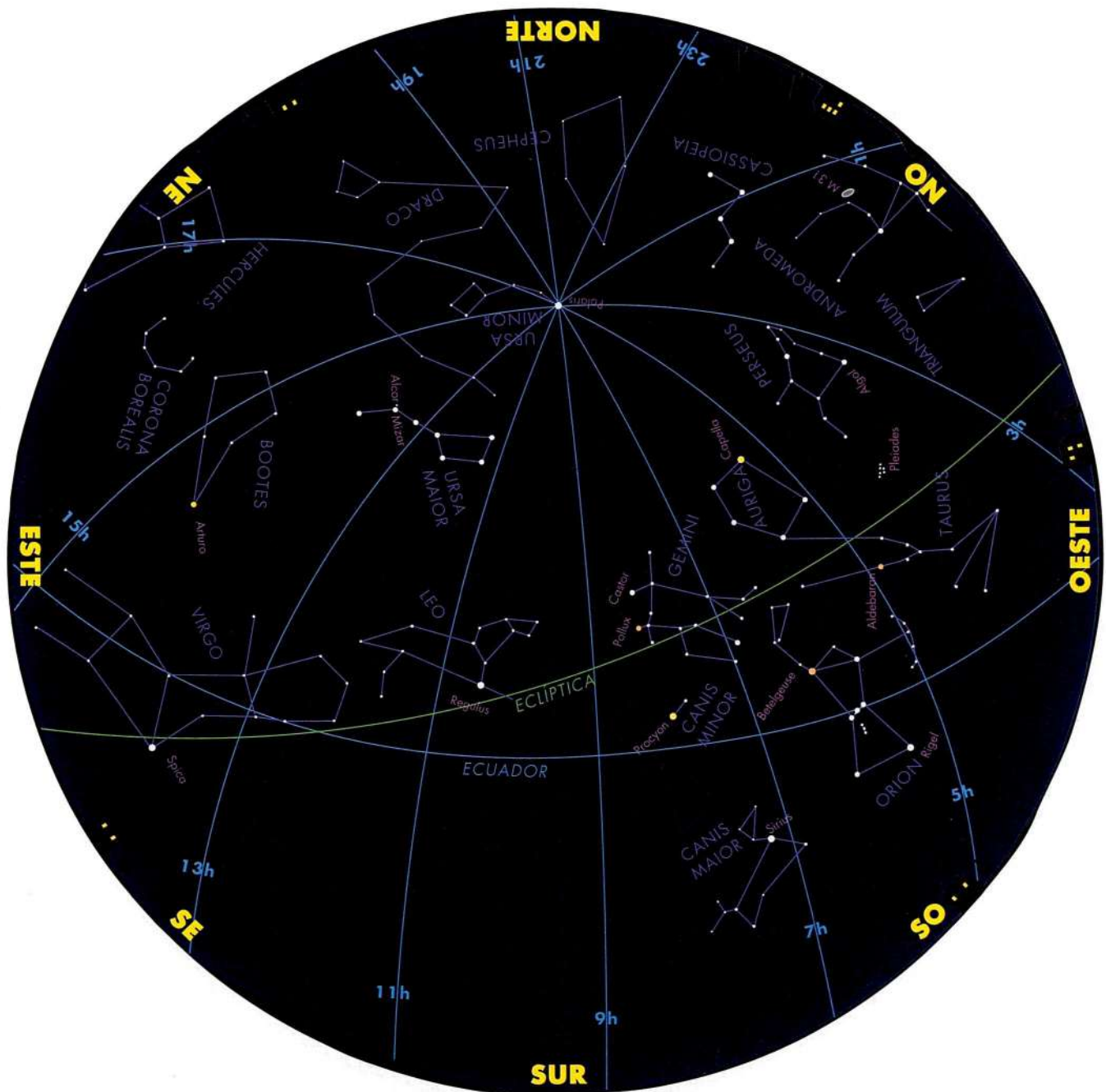


Plano del cielo en primavera

La **Osa Mayor** aparece muy alta, cerca del cenit. La estrella central del asa es **Mizar**, y sobre ella se distingue muy cerca otra más débil, llamada **Alcor**. Siguiendo la curva del asa del carro, se encuentra **Arturo**, una brillante estrella amarilla de la constelación **Bootes**. Algo más al

Este se encuentra una débil semicircunferencia, que es la **Corona Boreal**.

Muy alta y algo hacia el Sur está **Leo**, con su estrella brillante **Régulus**, que forma el asa de un asterismo en forma de hoz.



Plano del cielo en verano

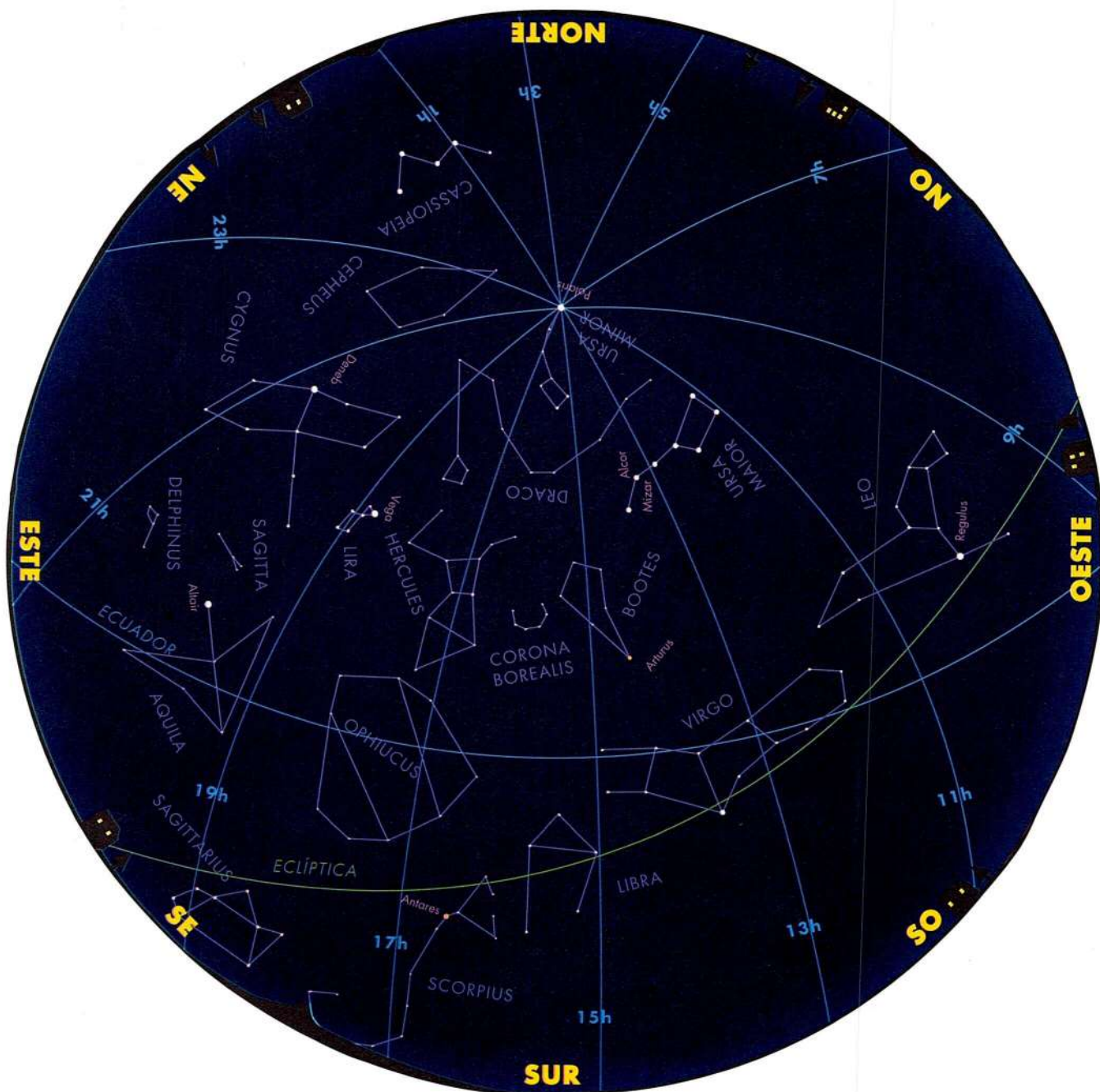
Justo encima de nuestras cabezas está la estrella **Vega**, de la pequeña constelación de **Lyra**. Un poco hacia el Este se ve la constelación del **Cisne**, cuyo cuerpo y cuello sigue la dirección de la Vía Láctea, sólo visible en cielos oscuros, y por cierto, de espectacular visión.

Por delante de la cabeza del Cisne, se puede encontrar la brillante **Altair**, en la constelación del **Águila**.

Muy cerca del horizonte, en el Sur, está la famosa *tete-*

ra de la constelación de **Sagitario**. En esa dirección está el centro de nuestra galaxia. Hacia la derecha, y también baja, está la constelación de **Escorpio**. Su estrella más brillante es la roja **Antares**. Y todavía más a la derecha y más débil, puedes descubrir la balanza de la constelación de **Libra**.

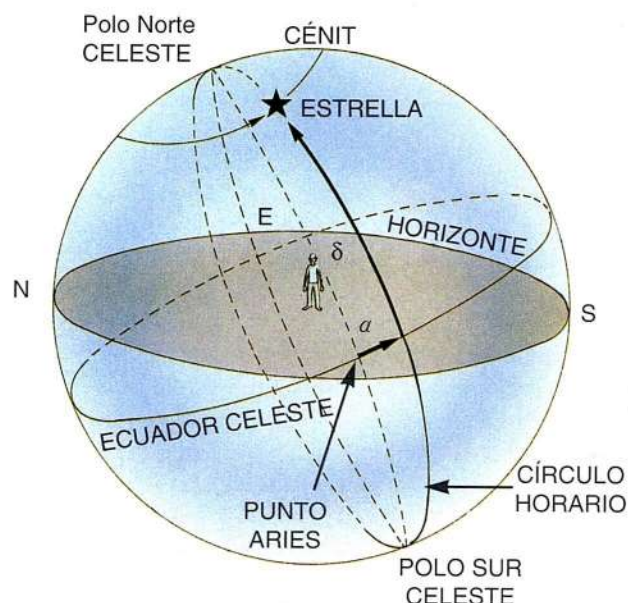
Las estrellas **Deneb** en el *Cisne*, **Altair** en *Águila* y **Vega** en *Lyra* forman el llamado *triángulo de verano*.



3.2 Coordenadas celestes

Para poder situar un punto sobre la Tierra, nos servimos de las coordenadas terrestres: los círculos que pasan por los polos son los *meridianos*, y los círculos por encima y debajo del ecuador son los *paralelos*.

La esfera celeste gira alrededor de los polos celestes. El polo norte coincide con la estrella Polar. Los astrónomos, siguiendo el modelo terrestre, han dibujado unas líneas imaginarias que pasan por los polos, que se llaman **meridianos celestes** o **círculos horarios**. El meridiano cero pasa muy cerca de la estrella β Casiópea, el meridiano de 11 horas pasa por las dos estrellas delanteras de la *Osa Mayor* que apuntan a la Polar: Mizar y Alcor están a 13 h 30', y las dos delanteras de la *Osa Menor* a 15 h. Su posición se llama **ascensión recta**, y va de 0 a 24 horas.

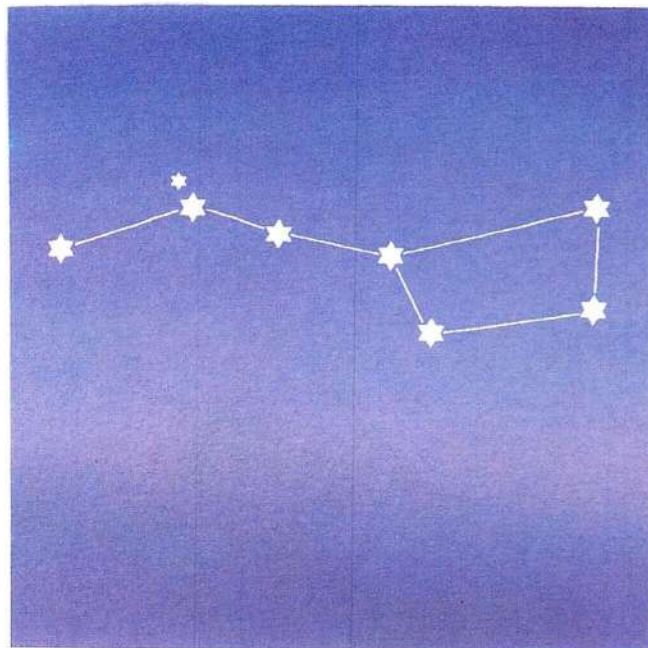


Perpendiculares al eje de los polos se sitúan los **paralelos** celestes. Si el plano del ecuador terrestre se prolongara cortaría a la esfera del cielo en el ecuador celeste, que tiene **declinación 0**. La declinación δ se mide en grados: la *estrella* Polar tiene $+90^\circ$ de declinación, la *Osa Mayor* entre 50° y 60° . El ecuador celeste pasa por el cinturón de *Orión* y un poco por debajo de *Procyon* y *Altair*. Las estrellas que están por debajo de ese ecuador tienen declinación negativa.

Es curioso que los nombres de esas *magnitudes* celestes son al revés de lo que puede parecer: *ascensión recta* es hacia los lados, y *declinación* es hacia arriba o abajo.

3.3 Constelaciones

Desde antiguo, la imaginación del hombre creyó ver figuras en la disposición de las estrellas, y les puso nombres. En el hemisferio norte fueron los griegos los que las bautizaron con nombres de personajes míticos: *Orión*, *Casiópea*,

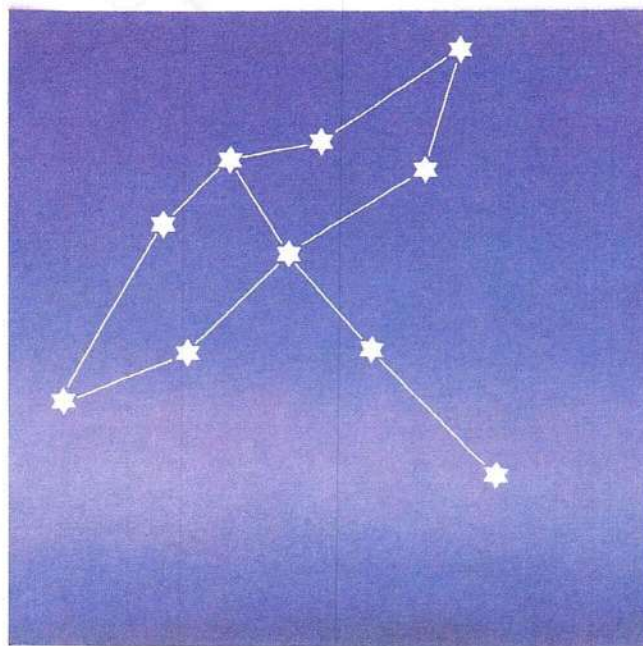


Constelación de la Osa Mayor.

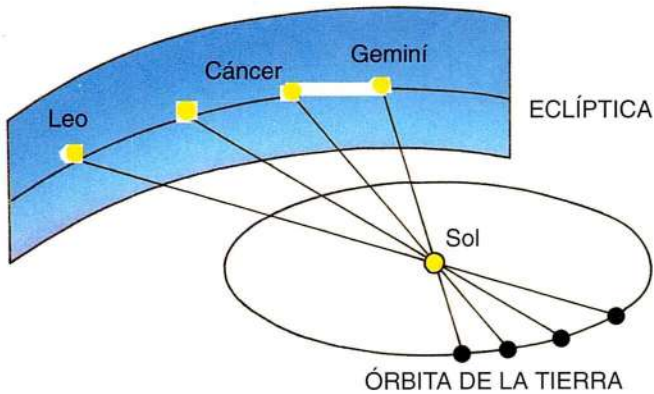
etc. En el hemisferio sur fue el hombre moderno quien les puso nombres de animales y objetos científicos o marinos: *Microscopio*, *Lince*, *Vela*, etc.

Los astrónomos han dividido el cielo en una especie de mosaico, como si se tratara de *territorios* o *países*, para poder referirse mejor a las distintas zonas del cielo. Y han conservado esos nombres en un alarde de respeto a la tradición histórica.

De todas formas, cuando el observador actual intenta descubrir en el cielo las figuras que dieron origen a los nombres de las constelaciones, no puede pensar por menos que nuestros antepasados tenían una gran capacidad de imaginación: muy pocos son los que realmente dibujan perfiles que pueden recordar a sus nombres. Es el caso de *Orión*, *Leo*, *Cygnus* o *Andrómeda*. Pero para



Constelación del Cisne.



Movimiento aparente del sol, visto desde la Tierra, a través de la eclíptica.

pensar que un pentágono dibuja a un *Auriga* (conductor de carros), o una W a la bella princesa *Casiopea* se necesita muy buena voluntad. De todas formas es la que se presupone al lector de este libro. En la actividad 3.8.2 se representan los dibujos de las constelaciones principales del hemisferio norte.

También desde antiguo se observó que las posiciones relativas de las estrellas eran siempre las mismas excepto en el caso de cinco estrellas, en general muy brillantes, que se movían despacio entre las constelaciones. Se las llamó **planetas** (que significa *errantes*). Pero al igual que la Luna y el Sol, no circulaban por todo el cielo, sino sólo por una especie de autopista (eclíptica) que pasaba por doce constelaciones, que recibieron el nombre de **Zodiaco**. Algunos encontraron una forma de sacar dinero para vivir haciendo conjeturas sobre cómo iba a ser una persona en función de dónde se situaban el Sol, la Luna y los planetas en el cielo el día de su nacimiento. Nació la *astrología*, sin ningún fundamento científico, que juega con generalidades y predicciones que aciertan de forma aleatoria, pero que algunas personas *hacen* que se cumplan. Así si le han pronosticado una salud regular lo ven cumplido al darse un fortuito golpe en la rodilla con la mesa, o al tener una digestión pesada. O si el horóscopo dice que

va a ir mal en negocios piensan que se cumple cuando el jefe le echa una bronca al llegar tarde al trabajo por tercer día consecutivo.

La ciencia ha demostrado que, por ejemplo, la posición de Júpiter, a casi ochocientos millones de Km de nosotros, influye en un nacimiento tanto como la fuerza gravitatoria de un edificio cualquiera en el barrio donde se produce el nacimiento. Y a nadie se le ocurre pensar que la forma de ser de una persona depende de si había casas bajas o rascacielos en el barrio donde su madre le dio a luz.

Los planetas no es que prefieran esas constelaciones para circular. Simplemente es que por ahí pasa el plano en el que gira el Sistema Solar, que se llama **eclíptica**. Por tanto, por una cuestión de perspectiva, es ahí donde se les ve desde la Tierra. Es como si estuviésemos en una habitación en un piso bajo: veríamos a las personas que caminan por la calle por las ventanas de la pared, no por un ventanuco en el techo: por allí no pasan.

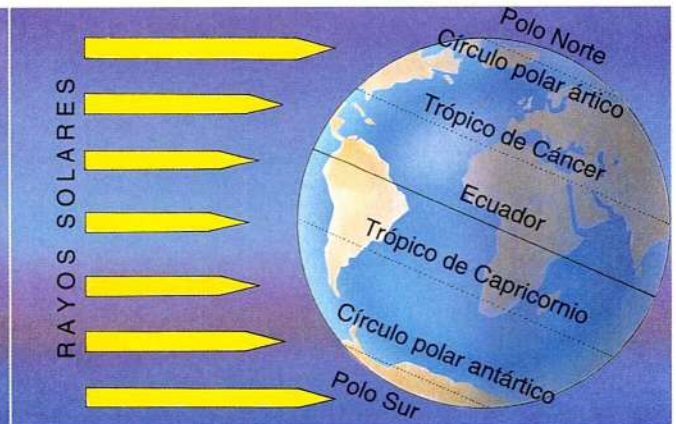
3.4 Las estaciones

La Tierra gira sobre sí misma en 24 horas. Ese movimiento es el que hace que las estrellas parezcan girar alrededor de la Polar a lo largo de la noche, a una velocidad de 15 grados por hora. Además gira alrededor del Sol en un movimiento de traslación en un tiempo que llamamos año. Por eso unos meses vemos el Sol contra unas constelaciones, (realmente no las vemos por ser de día, pero están detrás del Sol) y por la noche vemos las del otro lado. Al cabo de medio año, el Sol está al otro lado, en las constelaciones que antes veíamos de noche, y ahora el cielo nocturno muestra las constelaciones donde antes estaba el Sol. Por eso el cielo nocturno va cambiando lentamente, según va pasando el año, volviendo al mismo aspecto al cabo de doce meses.

Algunos piensan que el mayor calor del verano se debe a la mayor cercanía de la Tierra al Sol en esos meses y que en invierno la Tierra está más lejos del Sol. Sin embargo, en agosto en Europa es verano, y en Sudamérica invierno. Y en enero ocurre lo contrario. Y no parece que la Tierra se parta en dos y vaya cada una por una órbita.



En junio los rayos solares llegan muy verticales al hemisferio norte: es verano allí e invierno en el sur.



En diciembre los rayos solares llegan muy verticales al hemisferio sur: es verano allí e invierno en el norte.

La causa de las estaciones está en la inclinación de 23° del eje polar. Cuando ese ángulo hace que el Polo Norte mire hacia el Sol, en todo el hemisferio norte el Sol derrama sus rayos muy verticalmente, y hace calor. Desde el punto de vista de la Tierra, el Sol está muy elevado durante la mayor parte del tiempo. Cuando nuestro planeta se pone en la posición opuesta al cabo de seis meses, el Sol incide más oblicuamente en el hemisferio norte, y es invierno. En ese tiempo, un observador terrestre ve que el Sol no se eleva demasiado sobre el horizonte en todo el día. En el hemisferio sur pasa todo lo contrario. Y para los habitantes de la zona del ecuador, todo el año es igual.

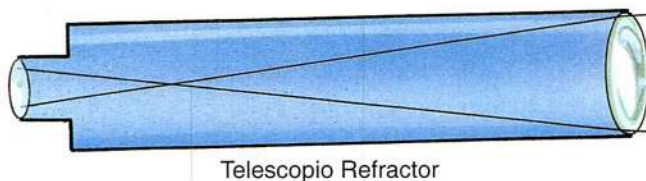
Si el eje de giro de la Tierra no estuviera inclinado, el recorrido del Sol en el cielo sería igual todos los días del año, y no habría las variaciones estacionales de temperaturas, lluvias, etc.

3.5 Telescopios y prismáticos

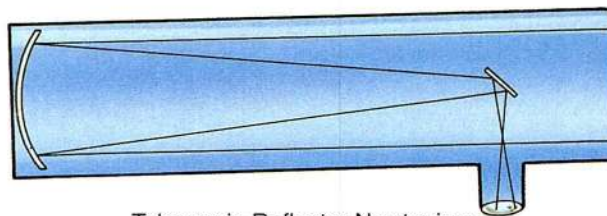
La mayoría de la gente sabe que la misión de un telescopio es ampliar los objetos lejanos, pero son menos los que saben que tiene además otra misión tan importante como esa: captar más luz que el ojo humano. Así se consiguen ver objetos débiles, que seguirían siéndolo aunque aumentáramos mucho la visión.

Un telescopio tiene dos partes esenciales: el **objetivo** y el **ocular**. El primero es una lente de gran diámetro y poca curvatura (telescopios **refractores**) o un espejo parabólico (telescopios **reflectores**). El segundo es una lente pequeña y de gran curvatura, junto a la cual, como su propio nombre indica, ponemos el ojo para mirar. Suele ser extraíble, y es el que nos dará más o menos aumentos.

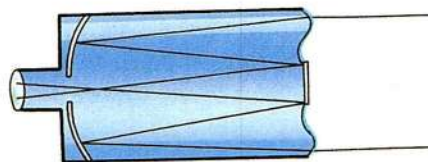
Cuanto mayor sea el **objetivo**, más luz consigue concentrar, y podremos ver objetos más débiles. Lentes de calidad grandes son más caras que espejos de esos mismos diámetros, por lo que son más frecuentes los telescopios **reflectores**. El tipo más frecuente es el **newtoniano**, que consta de un espejo cóncavo en el fondo del tubo, que devuelve los rayos a la boca de éste, donde hay un pequeño



Telescopio Refractor



Telescopio Reflector Newtoniano



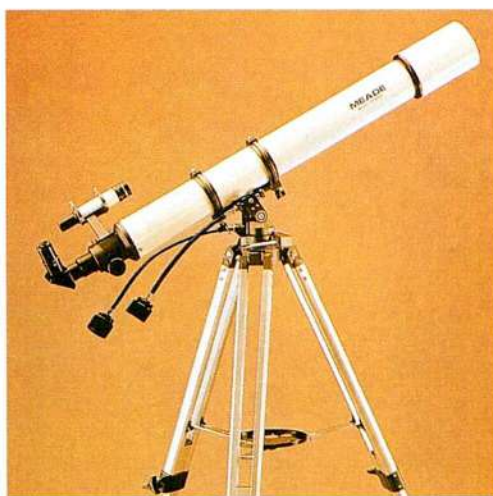
Telescopio Reflector Cassegrain Catadióptrico

espejo secundario formando 45° , que desvía los rayos al exterior del tubo, donde está el ocular. El espejo secundario bloquea algo de la luz que entra, pero no es significativo. Otro diseño es el tipo **Cassegrain**, en el que el secundario envía la luz hacia un orificio central del espejo primario. Así suelen ser los profesionales. Por último están los **catadióptricos**, que suelen ser como estos últimos pero añadiéndoles una lente delgada en la entrada del tubo, con lo que reducen mucho la longitud del tubo y lo hacen más ligero y transportable.

La capacidad de ampliación de un telescopio viene dada por el cociente entre la longitud focal del objetivo y la del ocular. Por ejemplo, si tenemos un telescopio con una longitud focal del objetivo de 1.000 mm y le ponemos un ocular de longitud focal de 10 mm, obtenemos una ampliación de 100 aumentos (o $\times 100$). Si queremos duplicar los aumentos necesitaremos o un objetivo de mayor longitud focal o poner un ocular de menor. Esto tiene un límite en la práctica, ya que oculares con longitudes focales pequeñas son difíciles de fabricar y dan imágenes borrosas.



Telescopio newtoniano.



Telescopio refractor.



Telescopio Cassegrain.

Los fabricantes a menudo describen los telescopios en términos de *razón focal*, como por ejemplo $f/6$ o $f/8$. La razón focal es la longitud focal de la lente o espejo primario dividido por la apertura. Si por ejemplo tenemos un telescopio refractor de $f/8$ y el objetivo es una lente de 60 mm de diámetro, la longitud focal real del telescopio será $8 \times 60 = 480$ mm. A igual apertura del objetivo, cuanto mayor relación focal, menor campo de visión y más aumentos.

Cuanto mayor sea la apertura de un telescopio más luz captará —será más luminoso— y se podrán ver objetos más débiles. También será mayor su *capacidad de resolución*, que es la capacidad de ver detalles: cuando es baja se ve la imagen borrosa, y cuando es alta se ve muy nítida, con muchos detalles. Se mide en segundos de arco. En la siguiente tabla se indican aproximadamente la magnitud límite (luminosidad) que se puede ver con un telescopio en función de su apertura, y su límite de resolución:

Apertura	Magnitud límite	Resolución (seg. de arco)
50 mm.	11'2	2'3
60 mm.	11'6	1'9
75 mm.	12'1	1'5
100 mm.	12'7	1'1
150 mm.	13'6	0'8
220 mm.	14'4	0'5

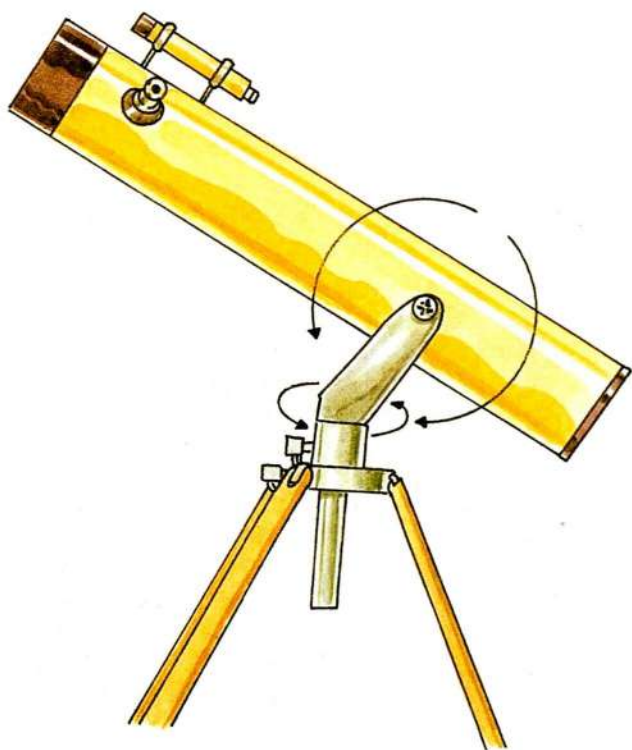
Éstas son las cifras teóricas, que pueden variar según los casos. Especialmente le influye la oscuridad de la noche: en días de Luna llena o con luminosidad en los alrededores no se ven las estrellas débiles.

Otra limitación importante es la estabilidad atmosférica. Todos hemos visto cómo la atmósfera caliente de un desierto hace temblar la visión en escenas de películas tomadas con teleobjetivos. Cuando miramos a través de un telescopio, pequeñas perturbaciones del aire hacen que la imagen se mueva. Los astrónomos se refieren a esto con el concepto de *seeing*, e incluso tienen una escala: el 1 es perfecto y el 5 muy malo.

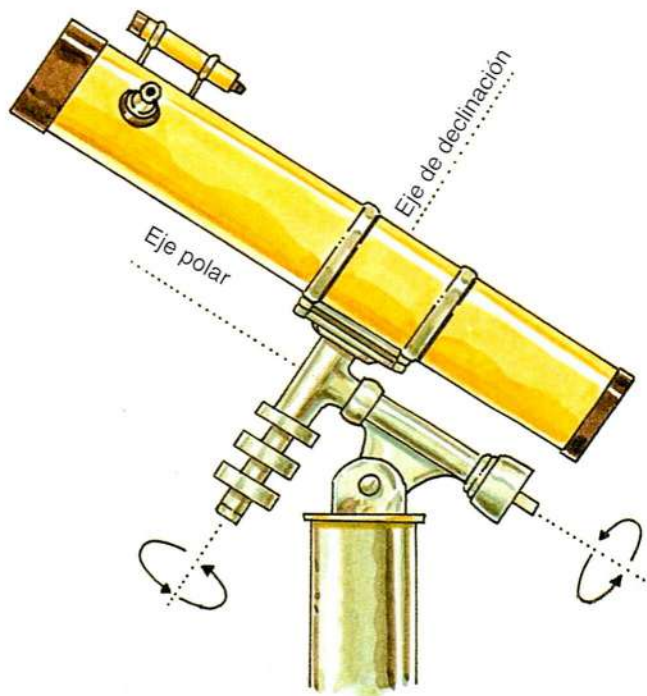
La imagen que se ve con un telescopio está invertida, pero esto no importa mucho: en el Cosmos las posiciones arriba y abajo son muy relativas. Hay accesorios que invierten la imagen y la ponen correctamente, pero disminuyen un poco de luminosidad.

La montura es una pieza importante en un telescopio. Las de mala calidad hacen que el tubo del telescopio oscile cada vez que se le toque. El resultado es un baile en la imagen que, aparte de marear al más entusiasta, impide ver los detalles. Es importante que sean rígidas y estables.

Hay dos tipos de monturas: la *azimutal* y la *ecuatorial*. La primera es la más sencilla pero la menos útil. Puede girar a izquierda y derecha sobre su eje vertical, y arriba y abajo alrededor de un eje horizontal. En las *ecuatoriales* hay dos ejes inclinados y formando 90 grados. Uno, el *polar*, tiene que estar dirigido hacia la estrella que tiene ese

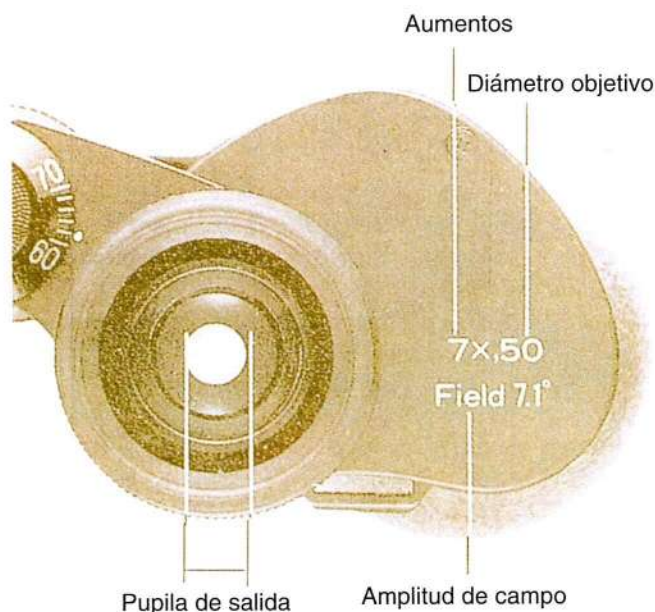


Montura de tipo azimutal.



Montura de tipo ecuatorial.

nombre. Los giros a su alrededor dan las *ascensiones rectas*. El otro eje, el *ecuatorial*, nos da las *declinaciones*. Es el usado por los astrónomos profesionales y por la mayoría de los aficionados. Pueden llevar un motor en el eje ecuatorial que va compensando la rotación de la Tierra. Si no, especialmente con grandes ampliaciones, la imagen se va del campo de visión en un tiempo sorprendentemente corto.



Los prismáticos son un excelente instrumento para observar el cielo.

Por último, un instrumento astronómico muy útil y al alcance de cualquiera son los prismáticos. Aunque su capacidad de aumento suele ser pequeña, recogen mucha más luz que nuestra pupila, por lo que sirven para ver cúmulos de estrellas, nebulosas o estrellas dobles. Además tienen la ventaja de que aumentan las diferencias de colores de las estrellas, especialmente si se desenfocan ligeramente.

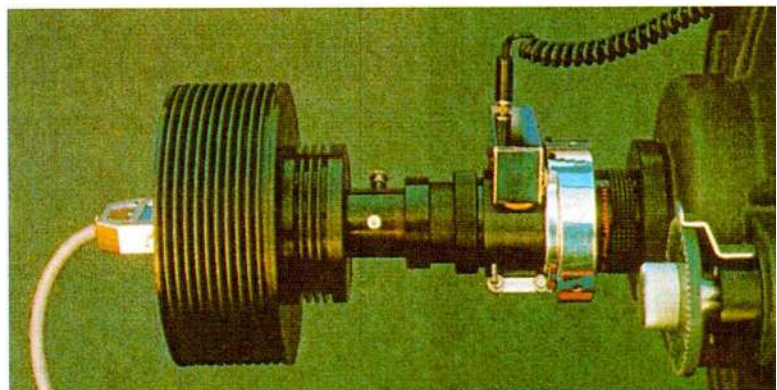
Suelen llevar inscripciones como 8x30 ó 10x50. La primera cifra da la ampliación y la segunda la apertura de la lente delantera, el objetivo en mm. Uno muy recomendado para esta actividad es el 7x50. Con mayores aumentos la imagen se mueve mucho y mayores aperturas aumenta bastante el precio.

3.6 Fotografía

Para observar objetos débiles es necesaria la fotografía, que acumula durante horas la luz que recibe. Se necesita que el telescopio gire a la misma velocidad que la Tierra y así poder apuntar siempre a la misma dirección. También se necesitan películas especiales con un grano fino que pueda mostrar pequeños detalles en ampliaciones.

También se usa para registrar el cielo y poder estudiarlo posteriormente. Así se descubren pequeñas variaciones de la posición, brillo, etc., de algunas estrellas.

Para el aficionado es un buen campo de profundización, cuando se ha pasado una primera etapa. Conviene empezar con fotos de las constelaciones —que no requiere telescopio—, del Sol proyectado sobre una cartulina (ver actividad 4.8.6), o la Luna con una cámara con teleobjetivo. Para hacerlo a través del telescopio se necesita cierta práctica en el uso de éste, disponer de un telescopio con motor ecuatorial y alguna pieza para acoplar la cámara al telescopio.

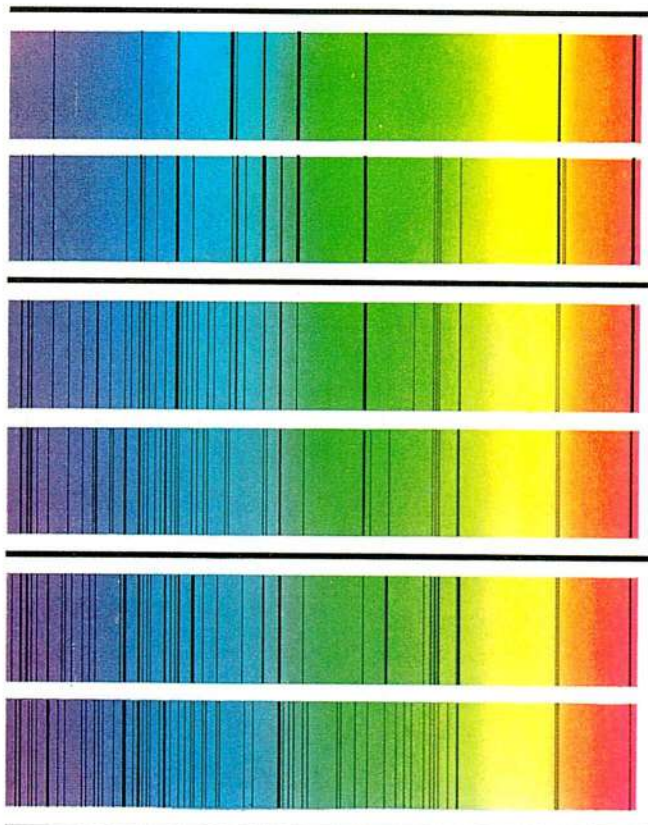


Cámara CCD acoplada a un telescopio.

En los años 90 se han empezado a popularizar las cámaras CCD (Charge Coupled Device). Son dispositivos electrónicos con una pequeña pastilla compuesta por puntos fotosensibles, similares a las que tienen las cámaras de vídeo. Cada punto va acumulando la luz que le llega, y al poco tiempo va formándose una imagen en la pantalla del ordenador al que está conectado. Tienen la ventaja sobre la fotografía de que necesita mucho menos tiempo, y además la imagen puede ser tratada por ordenador. La capacidad de resolución depende del número de píxeles que tenga la pastilla fotosensible. Lógicamente el precio aumenta con la calidad de la imagen. Los telescopios profesionales están dotados de sofisticadas cámaras CCD.

3.7 Espectroscopio

Newton descubrió que la luz blanca, al pasar por un prisma, se descomponía en los colores del arco iris. *Fraunhofer* estudió la descomposición de la luz solar, y encontró que tenía unas líneas oscuras que no supo explicar. Posteriores estudios han descubierto que provienen de los gases que atraviesa la luz que nos llega: hay líneas diferentes para elementos químicos diferentes. Es como la huella dactilar de cada elemento. A ese conjunto de rayas se le llama **espectro**. Cuando los científicos, sabiendo esto, observaron el *espectro* de la luz del Sol, descubrieron que podían identificar muchos de los elementos químicos del Sol gracias a las líneas que allí aparecían. Actualmente se utiliza el *espectro* de la luz de las estrellas y las galaxias para determinar su composición química. El aparato que descompone la luz en el arco iris con esas rayas se llama **espectroscopio**.



Espectro de absorción, con las líneas oscuras propias de cada elemento.

Resulta sorprendente que se pueda determinar exactamente de qué átomos está compuesto un objeto situado a millones de años luz de distancia.

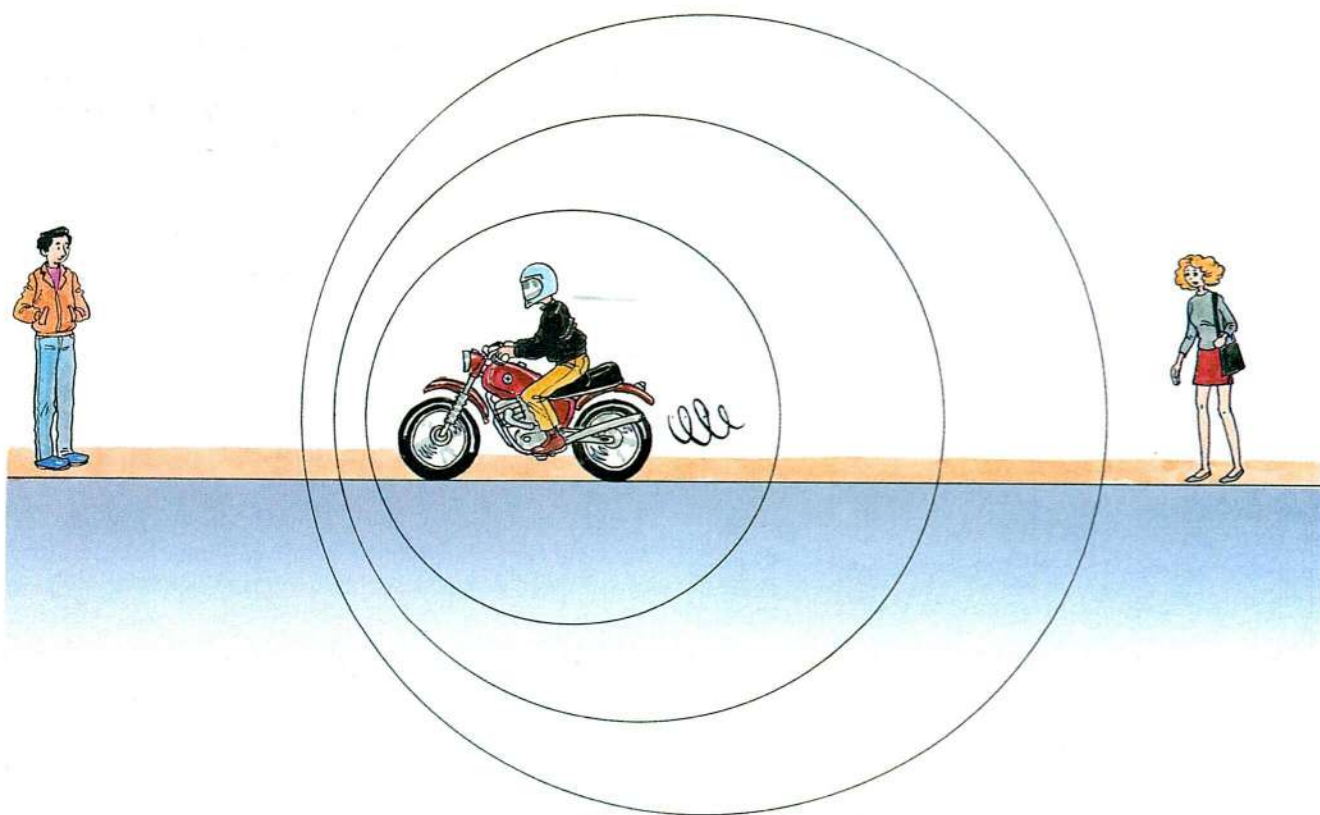
3.8 Efecto Doppler

Todos hemos visto una onda en una cuerda, en una pantalla o en las olas del mar. La distancia entre dos crestas se llama **longitud de onda**, y el nº de ondas que pasan por segundo por un punto se llama **frecuencia**. Son inversamente proporcionales: cuando aumenta una, disminuye la otra y viceversa.

En el sonido, las frecuencias altas son los sonidos agudos. Cuando una locomotora (o una moto) viene hacia nosotros *silbando*, las ondas se *amontonan*, disminuyendo su *longitud de onda*, y por lo tanto, aumentando la *frecuencia*. El resultado es un silbido más agudo. Cuando se aleja, las ondas se alargan, la *frecuencia* disminuye y el sonido es más grave. Es el **efecto Doppler**.

La longitud de onda de las ondas que llegan a un observador se acortan si el punto que las emite se acerca hacia él.

Como hemos visto antes, en el espectro de una estrella aparecen unas líneas en determinados colores, que corresponden a unas longitudes de onda determinadas. Si esa estrella se acerca a nosotros, esas líneas se desplazan



Efecto Doppler.

hacia el extremo azul del espectro. Si se aleja, se desplaza hacia el extremo rojo. El desplazamiento nos da la velocidad con la que se mueve:

$$V = \left(1 - \frac{\lambda'}{\lambda} \right) \cdot c$$

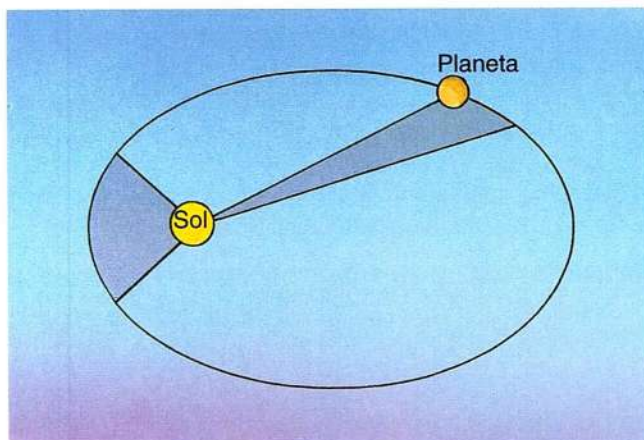
λ = longitud de onda de la línea espectral, en reposo.
 λ' = longitud de onda de la línea espectral, en movimiento.
 c = velocidad de la luz = 300.000 Km/s.
 v = velocidad del objeto.

Así, analizando la luz de galaxias lejanas, podemos saber a qué velocidad se mueven respecto a nosotros.

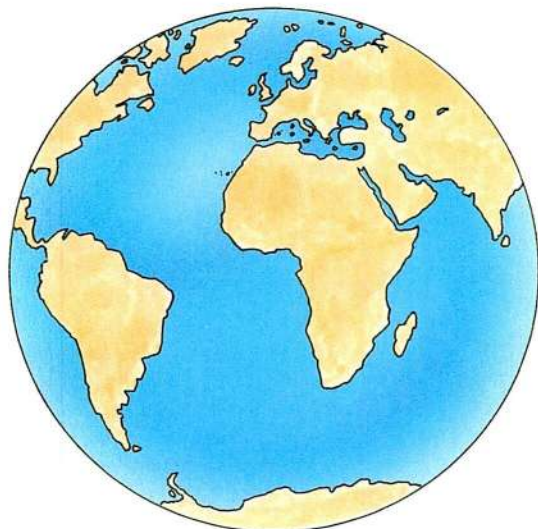
3.9 Leyes físicas que gobiernan el cielo

3.9.1 Leyes de Kepler

Como ya dijimos, en el siglo XVI Kepler, analizando las posiciones de los planetas, dedujo sus tres leyes que gobiernan el movimiento de los cuerpos celestes:



Los planetas describen órbitas elípticas, con el Sol en un foco.



Dos cuerpos se atraen proporcionalmente a sus masas.

1.^a- Todo planeta describe una órbita elíptica, con el Sol en un foco. Otros cuerpos, como cometas o vehículos espaciales, pueden tomar también órbitas parabólicas o hiperbólicas.

2.^a- Si se traza una línea desde el Sol al planeta, el área recorrida por ella en un período de tiempo siempre será la misma, sea cual sea la posición del planeta dentro de su órbita. Si está cerca del Sol, como la línea será corta, se moverá rápido. Si está lejos del Sol, como la línea es larga, se moverá más despacio.

3.^a- El tiempo que tarda en dar una vuelta al Sol, elevado al cuadrado, es proporcional al cubo de la distancia al Sol. Por eso los planetas más cercanos al Sol tardan menos tiempo en dar una vuelta al Sol.

3.9.2 Ley de Gravitación

Isaac Newton, quizá el físico más genial de la Historia, propuso poco después que dos cuerpos se atraían con una fuerza proporcional a sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia:

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

El valor de G es una constante universal, es decir, vale lo mismo en todo el Cosmos: $6'67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{Kg}^2$.

3.9.3 Ley de Wien

A principios del siglo XX se comprobó que un cuerpo caliente, a temperatura T , emite fotones de muchos tipos, pero con un máximo en una longitud de onda determinada λ , relacionada con la temperatura T por la fórmula:

$$\lambda \cdot T = C$$

C es una constante que vale $2'897 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot ^\circ \text{K}$. Así, como el Sol emite luz con un máximo de fotones en $\lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, la temperatura superficial podemos suponer que es $T = 5.794 ^\circ$.

Algunos de los fotones que nos llegan del Sol, al llegar a la atmósfera se dispersan. Los que más fácilmente lo hacen son los de luz azul, y los vemos venir desde cualquier parte del cielo. Por eso vemos el cielo azul durante el día. En las puestas de sol, la luz atraviesa más cantidad de atmósfera, y también se dispersan los fotones amarillos y rojos, y entonces vemos el cielo de esos tonos. En el espacio exterior el cielo siempre es negro.

3.9.4 Ley de Stefan-Boltzman

Estos físicos estudiaron la energía que emitía un cuerpo que se iba calentando. Encontraron que era proporcional a la cuarta potencia de T . La intensidad (energía por metro cuadrado) es:

$$I = \sigma \cdot T^4$$

σ es una constante que vale $5.7 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2$.

O sea, que el Sol, como tiene un radio de 700.000 Km, tiene una superficie de $6.15 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$. Como está a una temperatura de 5.800° , emite una energía cada segundo de $3.9 \cdot 10^{23} \text{ Kw}$.

3.9.5 Teoría de la Relatividad de Einstein

A primeros del siglo XX, Einstein propuso su famosa teoría en dos partes: la especial primero y la *general* después. Básicamente sus postulados son:

- La velocidad de la luz es constante, la mires desde donde la mires.

- Nada puede ir más rápido que la luz.
- La materia se puede convertir en energía según la fórmula $E = m \cdot c^2$, en la que c es la velocidad de la luz y m la masa que se convierte en energía.
- La masa gravitatoria deforma el espacio a su alrededor de tal forma que puede desviar incluso a la luz.

Son muchas las consecuencias de estos postulados, especialmente en la constitución del Cosmos. Uno a uno se han ido comprobando, dando validez a una teoría que después de casi un siglo sigue plenamente vigente.

Cuando las velocidades son pequeñas comparadas con la de la luz, como es el caso de nuestra vida ordinaria, las ecuaciones de la Física tradicional son válidas, y se pueden considerar como un caso particular de las de Einstein.

3.9.6 Principio cosmológico

Como cualquier ciencia, la Astronomía se basa en algún principio no estrictamente demostrable, porque es el primero, aunque parece lógico que se cumpla. Pero no deja de ser una hipótesis sobre la que se funda todo lo demás.

En el caso del *Principio cosmológico* podríamos definirlo como que el Universo presenta el mismo aspecto desde todos los puntos, excepto en algunas irregularidades locales. Dicho de otra forma: a gran escala, el Universo es igual en todos los sitios y es regido por las mismas leyes. Por eso podemos pensar, por ejemplo, que la ley de la gravedad se cumple también en otras galaxias distantes, que la luz va allí a la misma velocidad que aquí, etc.



Gravitational Lens in Abell 2218

HST · WFPC2

PF95-14 · ST ScI OPO · April 5, 1995 · W. Couch (UNSW), NASA

Grupo de galaxias Abell 2218, en Draco. Los arcos son la imagen de galaxias lejanas, deformadas al pasar su luz cerca de la galaxia central. Es una comprobación de la Teoría de la Relatividad.

3.9.7 Principio antrópico

Este principio lo sostienen algunos físicos como consecuencia de una serie de datos, pero a diferencia del anterior, no está en la base de la Astronomía.

Las leyes del Universo dependen de unos cuantos números, llamados constantes universales. Uno de ellos nos da la intensidad de la gravedad, y determina cómo actúa en el Sol, las galaxias, etc. Si esa constante fuese un poco mayor, entonces la gravedad sería más intensa en todas partes, y las estrellas se consumirían mucho más de prisa, lo que hubiera impedido la aparición de la vida. Si fuera algo menor, sólo habría estrellas enanas rojas, que no admiten planetas templados como la Tierra.

Otra constante universal controla la velocidad a la que se fusionan los átomos en el Sol, creando otros más pesados como el carbono, base de la vida tal como la conocemos. Si esa constante fuese distinta de la que es, habría poco carbono en el Universo, y la vida sería imposible.

Otro número universal es la velocidad inicial con el que empezó la gran explosión. Se ha demostrado que si esa velocidad fuese excesiva, no se podrían haber formado condensaciones de materia como las galaxias. Si esa velocidad fuese lenta, el Universo se habría colapsado hace tiempo. Sólo siendo la que fue ha permitido que estemos aquí.

Así podríamos seguir con muchas más constantes universales, que parecen que son las justas para que la vida humana se haya podido desarrollar. De estos datos algunos físicos enuncian el llamado *Principio antrópico*: las leyes del Universo son las necesarias para que pueda aparecer el hombre sobre la Tierra.

Otros piensan que hay otras explicaciones: puede haber otros Universos con constantes diferentes, todo puede ser una casualidad gracias a la cual existimos y podemos hacernos todas estas preguntas, etc. De hecho, el *Principio antrópico* ha provocado muchas controversias. Quizá algún día podamos resolverlas definitivamente.

Actividades

1 La mano como herramienta para localizar posiciones en el cielo

Objetivo: Poder localizar aproximadamente un objeto en el cielo usando el propio cuerpo como referencia de medidas angulares.

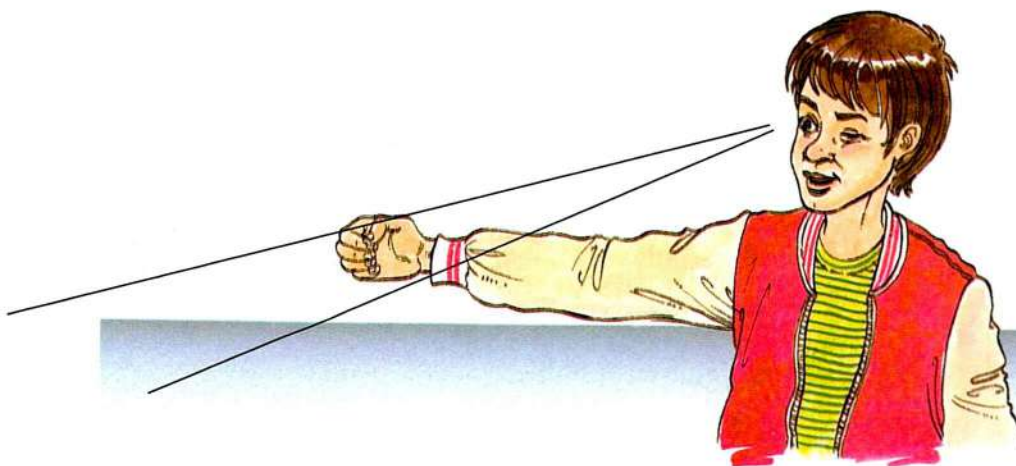
Material: Tu mano, tu brazo, tus dedos.

Procedimiento:

- Entre el horizonte y el punto situado encima de tu cabeza hay 90° . Extiende el brazo hacia el horizonte con la mano cerrada. Cuenta el número n de puños que caben entre el horizonte y el punto situado sobre tu cabeza. Cada puño equivaldrá a un ángulo de $90^\circ/n$. Abre un poco la mano de tal forma que consigas que $n=9$; así cada "mano-de-esa-forma" medirá 10° .
- La Luna llena mide medio grado de diámetro. Con el brazo extendido, haz una estimación de lo que mide un dedo tuyo.
- ¿Cuántos grados mide de largo la Osa Mayor?
- Mide la altura sobre el horizonte de la Estrella Polar. Ese dato coincide con la **latitud** de la ciudad donde estás.
- En las coordenadas de la esfera celeste, la Estrella Polar tiene la máxima **declinación**, 90° . Es como el Polo Norte del cielo. Si una estrella está a 20° de ella, su declinación será 70° . Si está a 90° , su declinación es 0° y está en el ecuador celeste. Si está a 100° , su declinación es -10° , y está por debajo del ecuador. Comprueba la declinación de las siguientes estrellas, que aparecen en los mapas de este libro:

	δ°		δ°		δ°
Capella	46°	Procyon	5°	Altair	8°
Betelgeuse	7°	Aldebarán	16°	Arturo	20°
Rigel	-8°	Regulus	12°	Vega	38°
Sirio	-16°	Castor	32°	Deneb	45°
Cinturón de Orión		Polux	28°	Mizar	55°
	0°	Pléyades	24°	Antares	-26°

- Mide la altura sobre el horizonte a la que está el Sol. Recoge ese dato, hora a hora, desde el amanecer hasta el atardecer. Representalo en un gráfico.



2 Modelo en 3-D de las constelaciones

Objetivo: Construir un modelo en 3 dimensiones de las constelaciones.

Material:

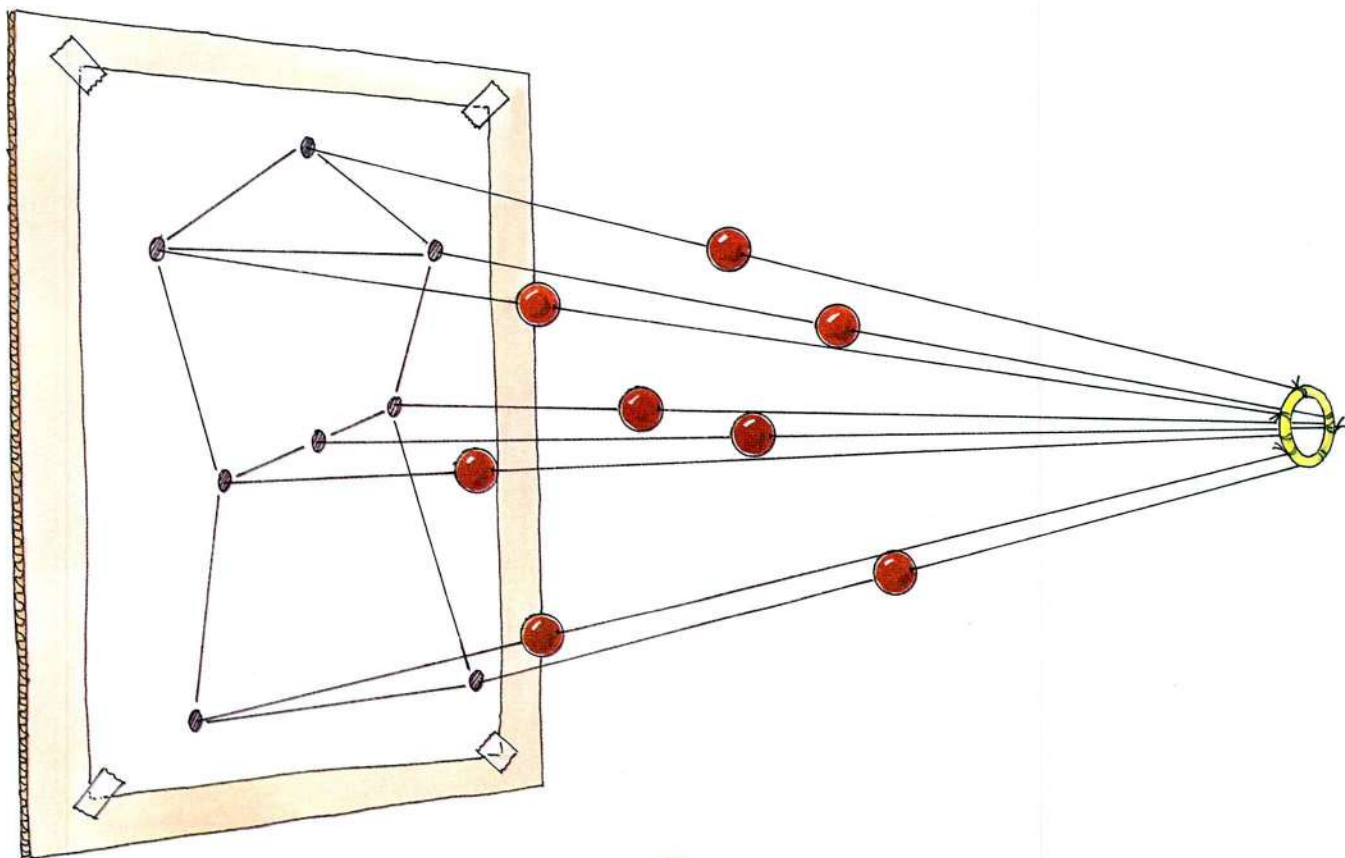
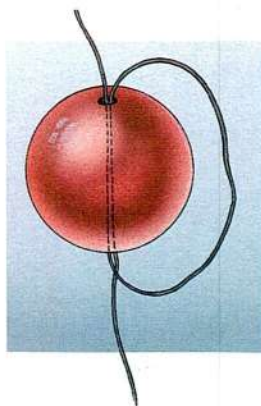
- Fotocopia de los dibujos de las constelaciones.
- Trozos de 1 m de hilo negro.
- 1 trozo de cartón de tamaño A4.
- Regla.
- Papel celo.
- Punzón.
- Cuentas de collar (tantas como estrellas tienen las constelaciones).
- Anilla de unos 2 cm de diámetro.

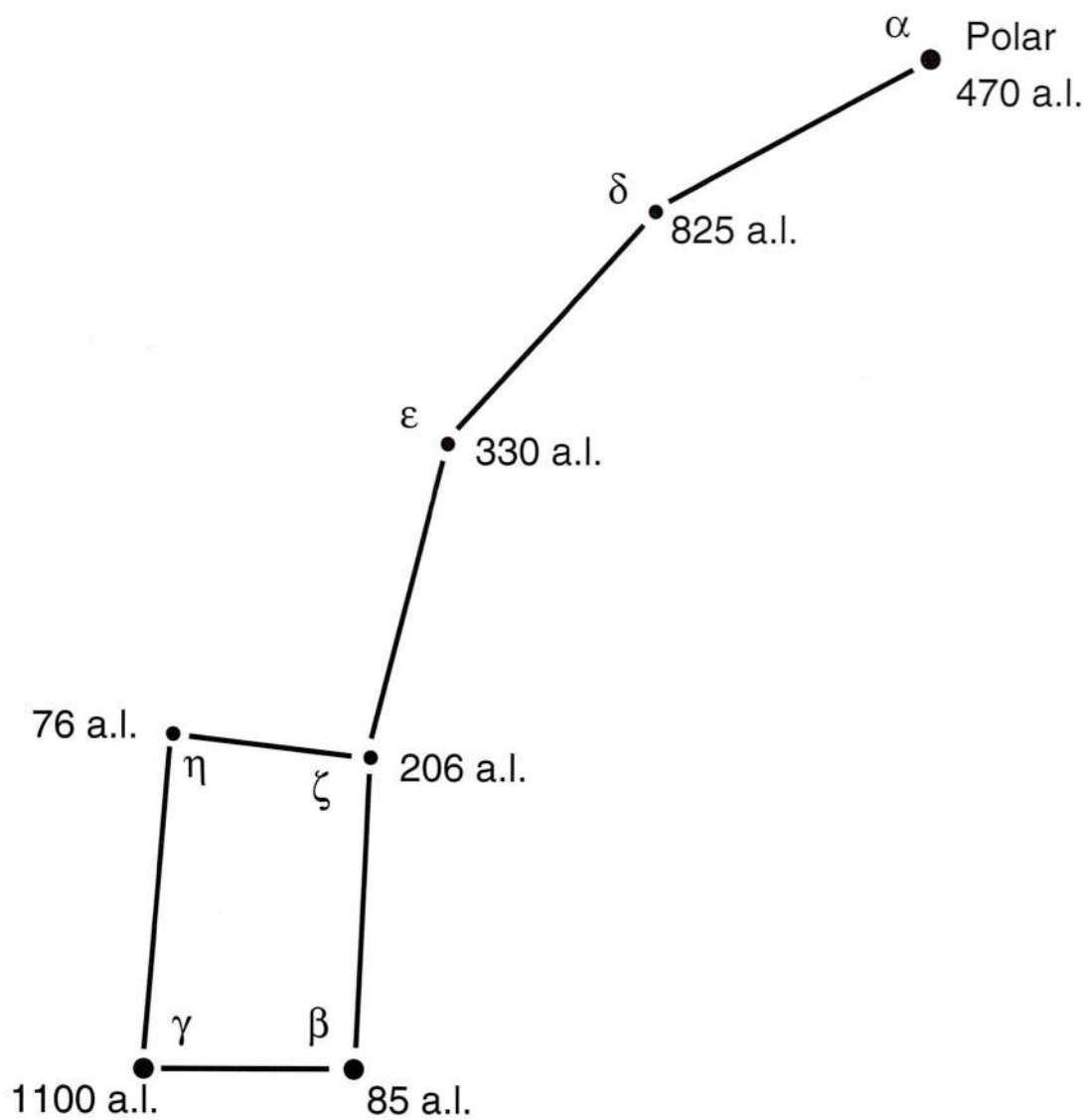
Procedimiento:

1. Pega el dibujo de la constelación en el trozo de cartón. Con un punzón, haz un agujero en cada estrella marcada. Desliza el extremo de un hilo en cada uno de ellos.
2. Por la parte de atrás del cartón, pega el extremo de cada hilo junto al agujero con papel celo.
3. Introduce una cuenta de collar en cada hilo. Da una vuelta e introduce de nuevo el hilo en la cuenta. Así la bolita puede deslizarse a lo largo del hilo y, al tensarlo, mantenerse en esa posición.
4. Ata todos los extremos de los hilos alrededor de una anilla, a unos 60 cm del cartón. Ésa es la distancia a la que

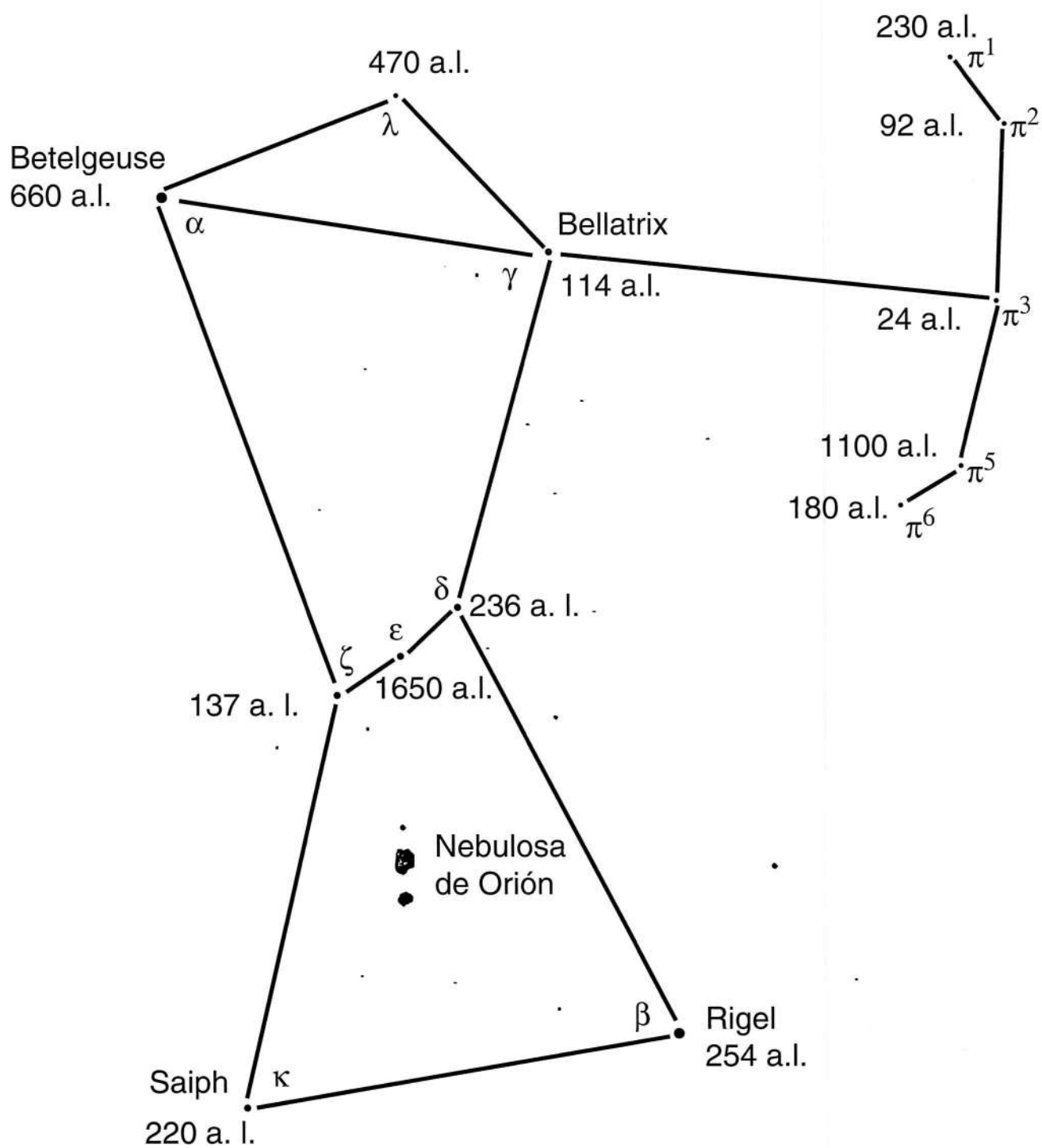
el dibujo de la constelación se ve del mismo tamaño que en el cielo a simple vista. Corta los trozos de hilo sobrantes.

5. La distancia hasta nosotros de las estrellas de la constelación están marcadas en el dibujo. Pásalas a una escala de por ejemplo $100 \text{ a.l.} = 4 \text{ cm}$. Pon cada cuenta de collar a esa distancia a partir de la anilla (no a partir del cartón).
6. Cuando hayas terminado de colocar todas las cuentas, coge la anilla con una mano, y el cartón con la otra. Mantén tensos los hilos, y sitúa la anilla cerca de tu ojo. Mira por el centro de ella y observarás las cuentas (estrellas) formando la figura de la constelación. Sin embargo, si miras al modelo de lado, verás la constelación tal como lo harías si viajaras unos cuantos años luz hacia ese lado.

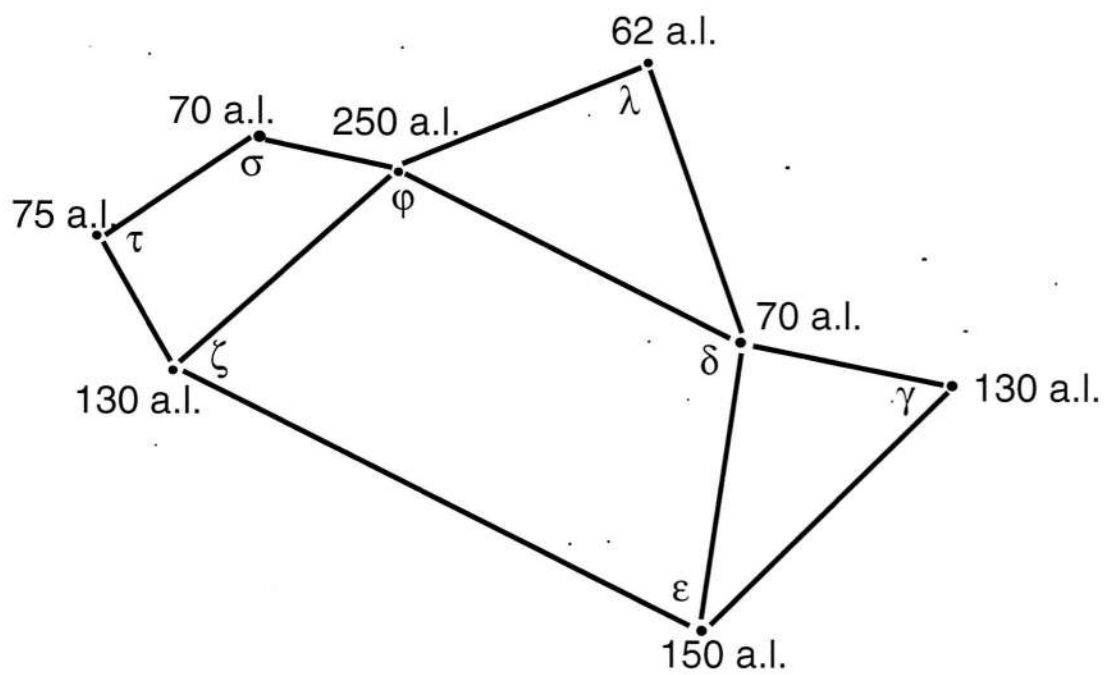




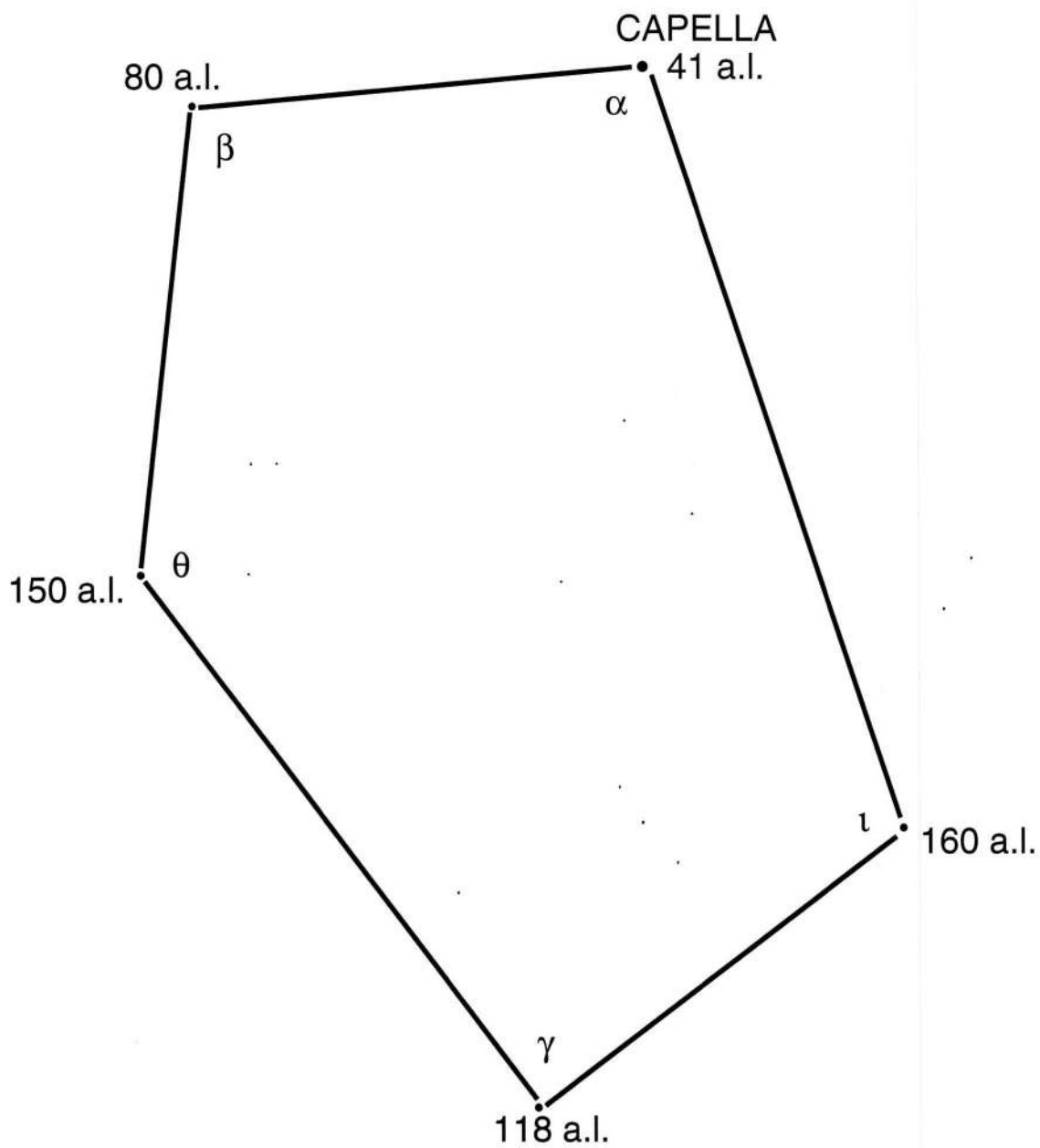
Osa Menor



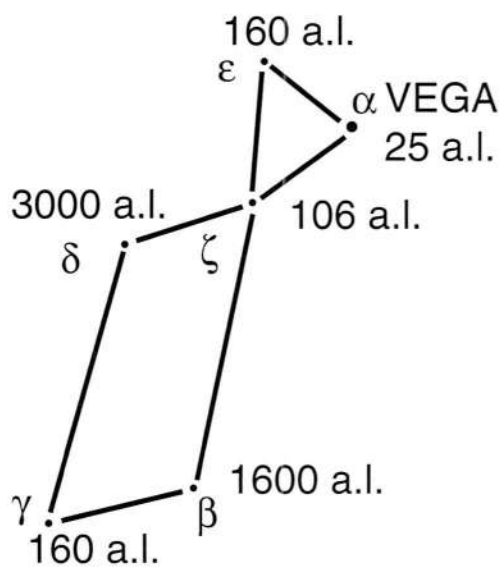
Orión



Sagittario



Auriga



Lyra

120 a.l.

β

400 a.l.



Pléyades

200 a.l.

τ

410 ma.l.

ζ

160 a.l.

ϵ

160 a.l.

δ

Hyadas

α

θ

Aldebarán

60 a.l.

90 a.l.

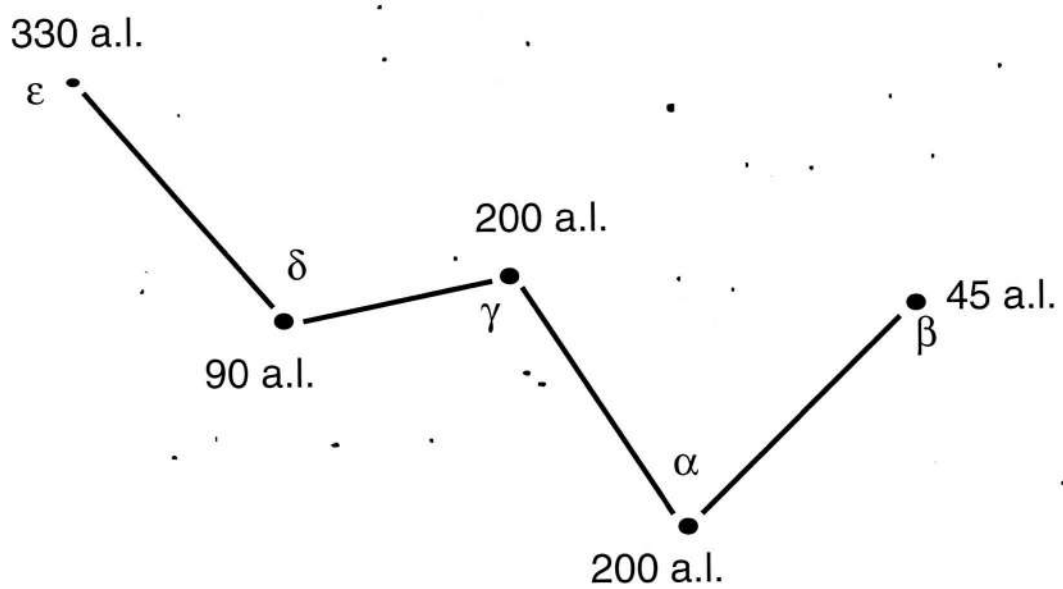
120 a.l.

γ

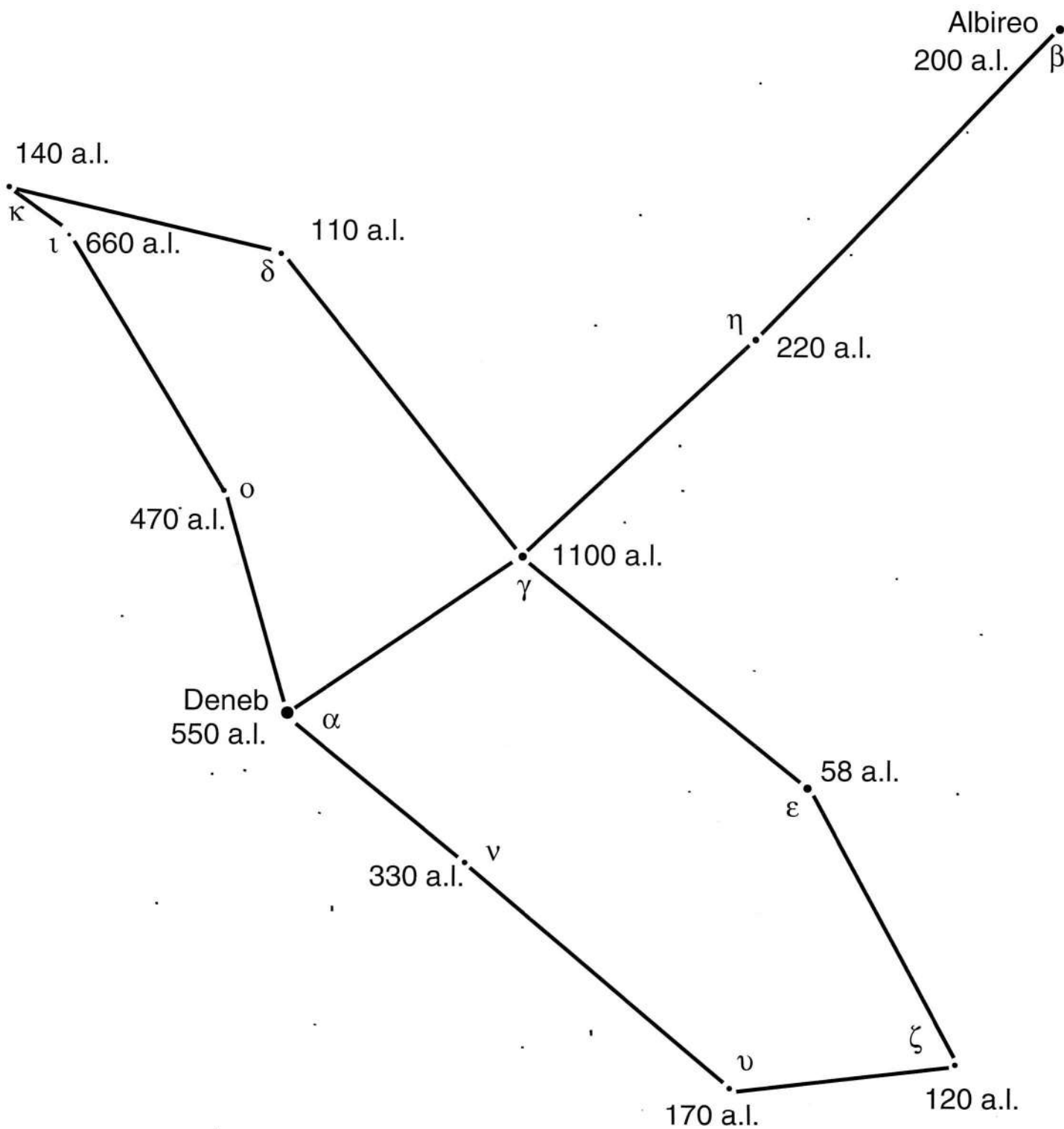
1500 a.l.

λ

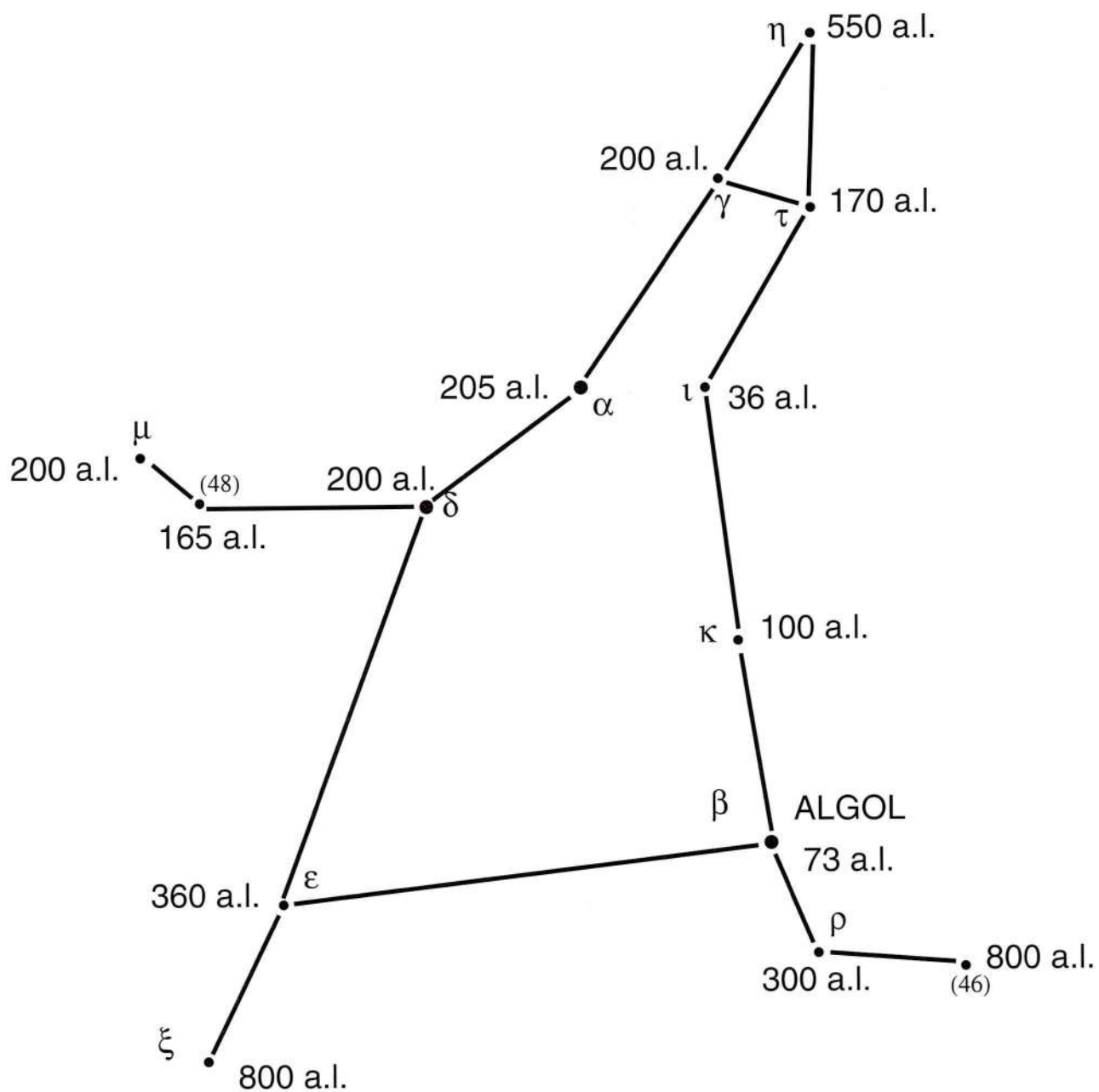
Tauro



Casiopea

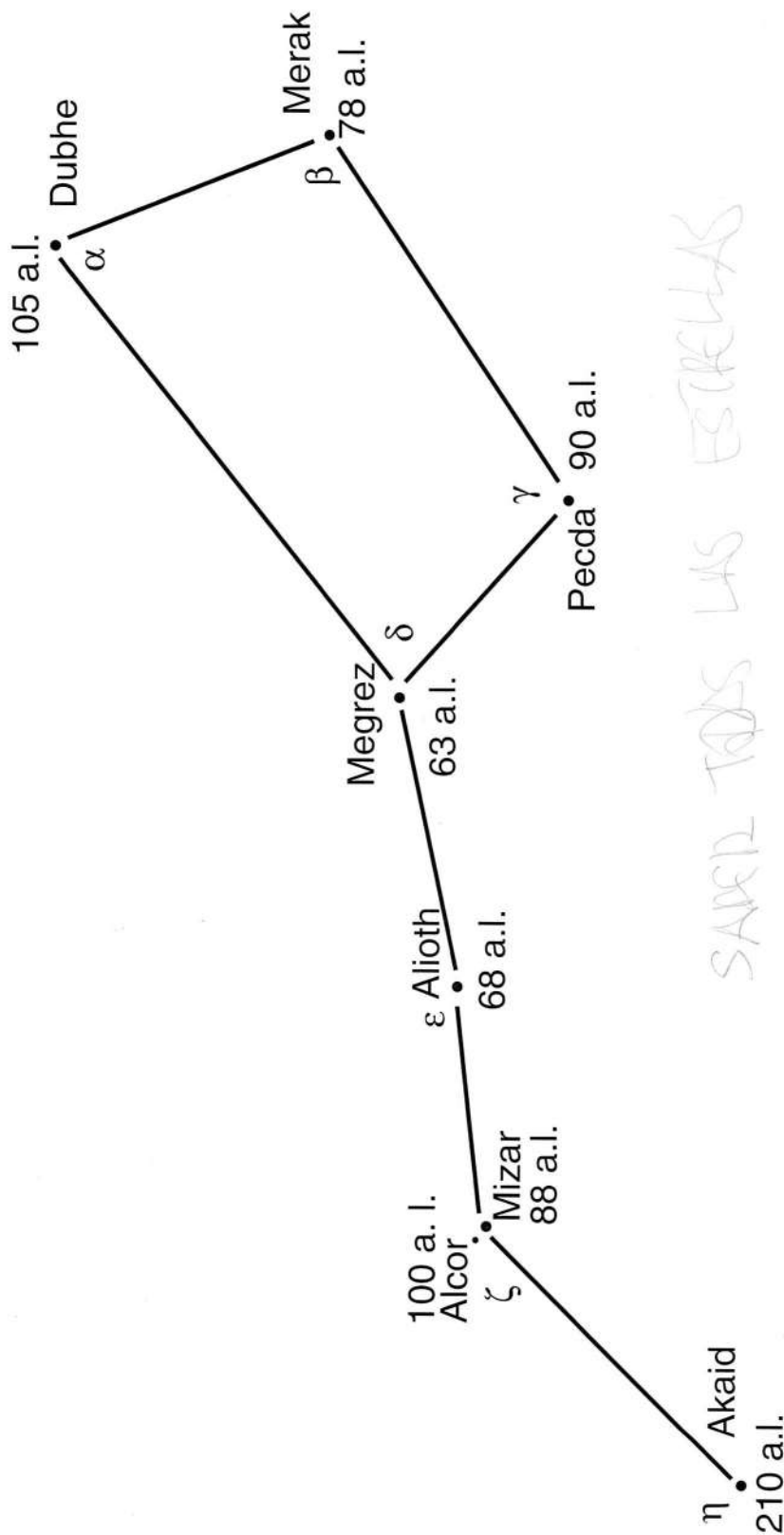


Cygnus



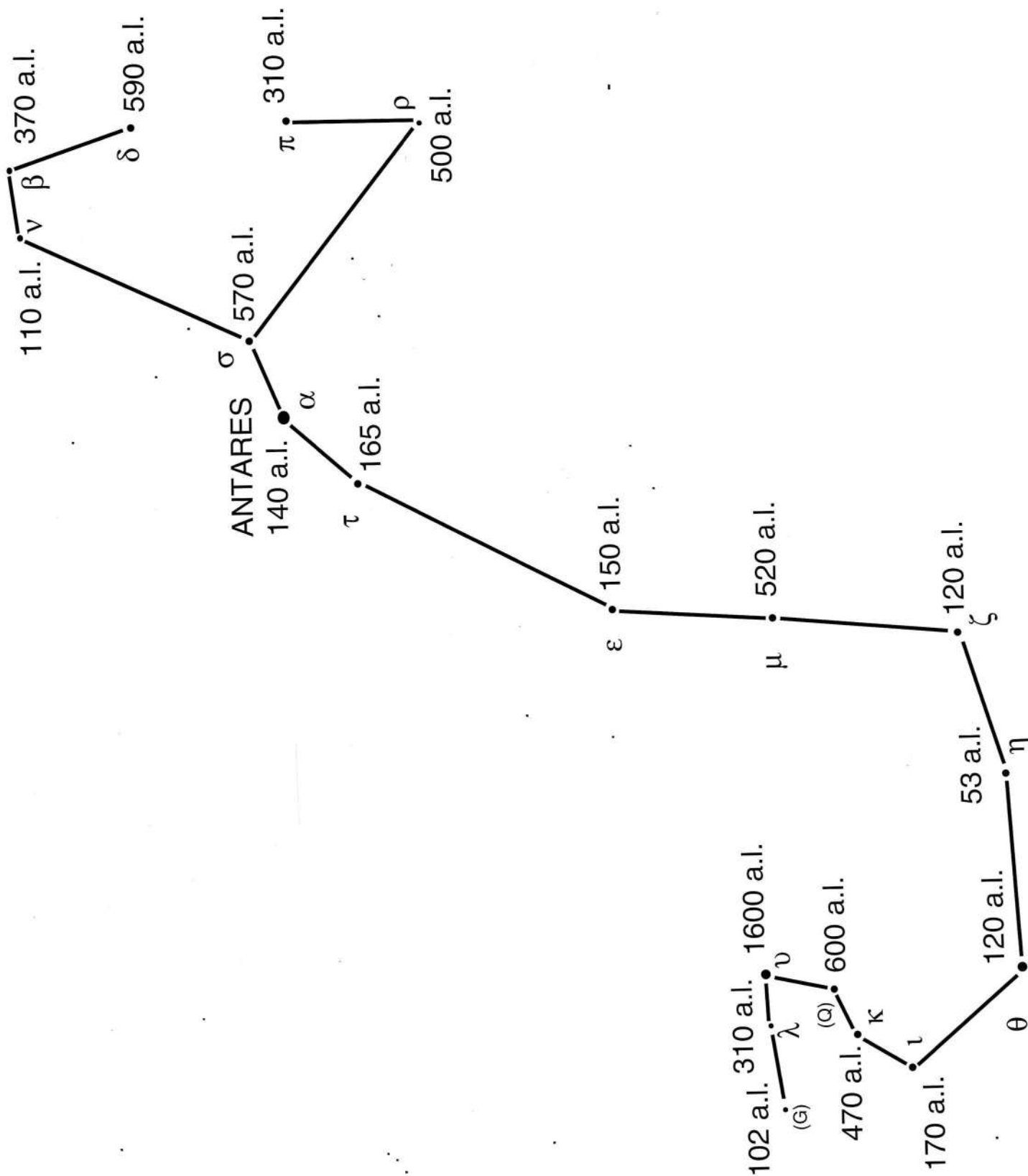
Perseo

Osa Mayor

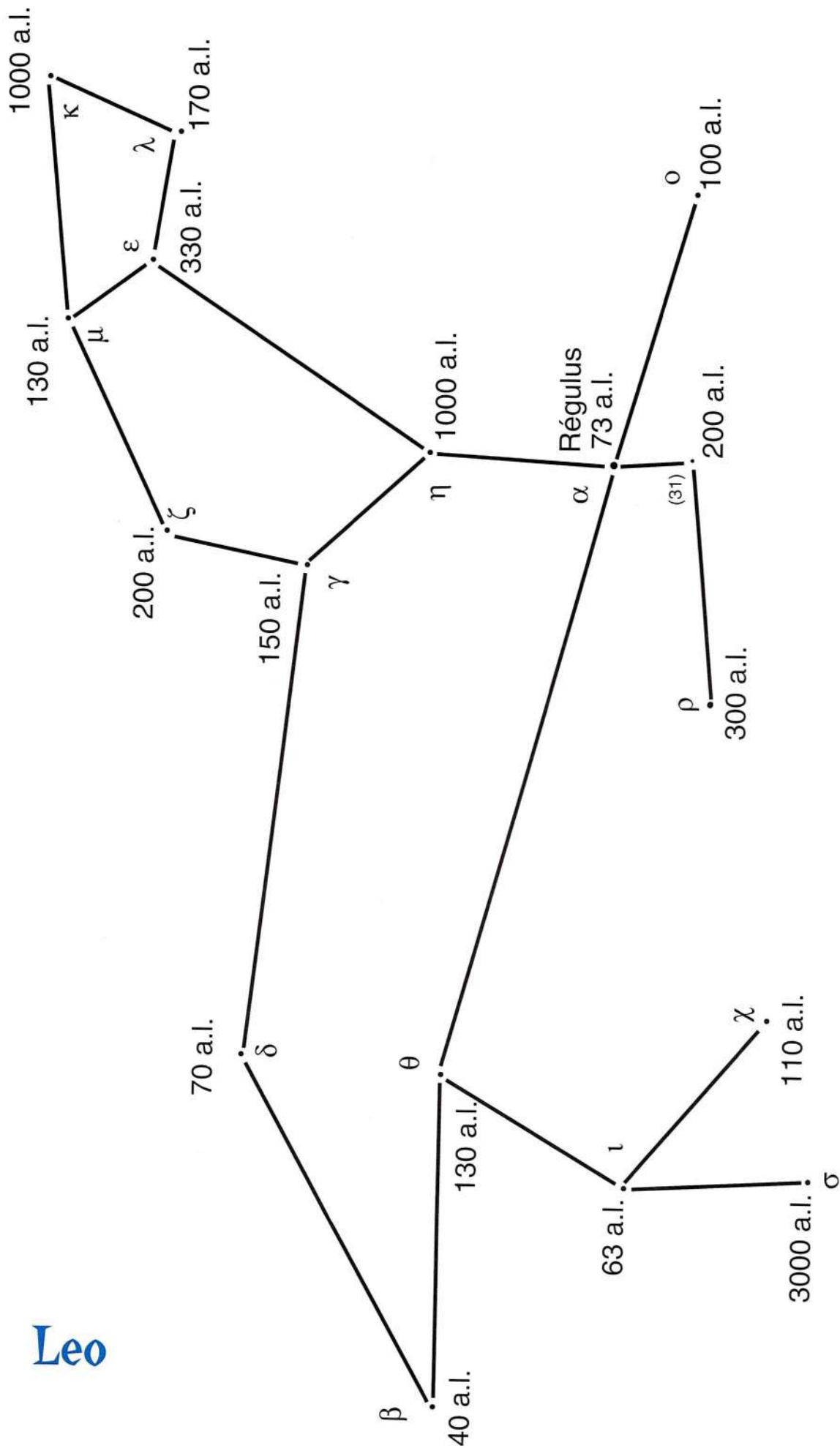


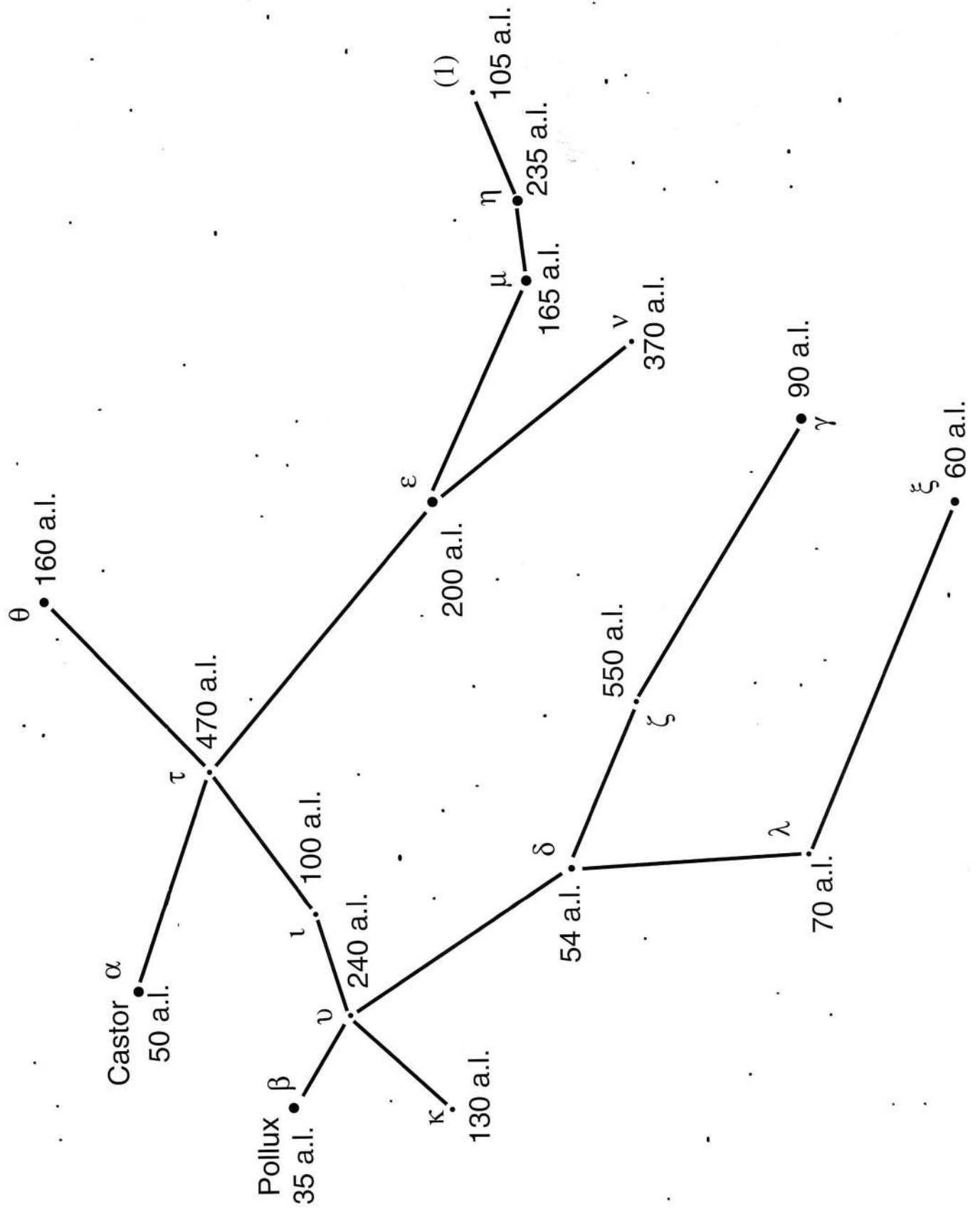
SAPIN TODS LAS ESTRELLAS

Scorpio



Leo





Geminis



3 Observación de la puesta del Sol durante varias semanas

Objetivo: Observar la puesta del Sol desde el mismo sitio, una vez a la semana, durante un período de tiempo.

Material: - Brújula.
- Reloj.
- Papel A-4.
- Rotuladores.

Procedimiento:

1. Busca un lugar adecuado para hacer las observaciones: que esté cerca de tu casa y que se vea el horizonte en el Oeste. Cuanto más horizonte se vea hacia el Norte y el Sur, mejor. Debes hacer todas tus observaciones desde el mismo lugar.
2. En una hoja de papel, dibuja el paisaje que ves hacia el Oeste: deben aparecer objetos lejanos: edificios, árboles, montañas, etc. Los usarás como referencia para dibujar por donde se pone el Sol. Marca el Oeste, y si es posible, el Norte y el Sur. Escribe los datos del lugar en que estás: pueblo, calle, etc.
3. Dibuja una vez por semana el lugar por donde se pone el Sol, indicando la hora en que ello ocurre. Hazlo cuantas más semanas puedas.
4. ¿Cómo cambia la posición y la hora de la puesta del Sol durante el período de tu observación? ¿Qué piensas que pasará con la salida del Sol?
5. En muchos periódicos, en la página del tiempo, vienen los datos de hora de salida y puesta del Sol. Recoge estos datos y el número de horas de luz solar ese día, una vez a la semana durante el curso. ¿El número de horas de luz solar es igual todos los días?

4 Observación del movimiento del Sol en el cielo a lo largo de un día

Objetivo: Dibujar el movimiento del Sol a lo largo de un día.

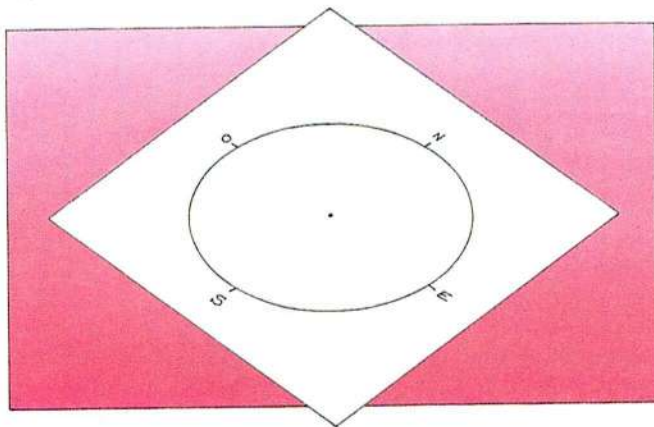
Material: - Semiesfera transparente. Puedes conseguirla cortando la parte superior de una botella de plástico de 2 l.
- Rotulador.
- Brújula.
- Hoja de papel.
- Compás.

Procedimiento:

1. Dibuja en la hoja de papel una circunferencia del tamaño de la semiesfera. Divide su borde en 4 partes iguales y márcalas con los cuatro puntos cardinales. También marca el centro de la circunferencia. Pega esa hoja a un trozo de cartón, al menos tan grande como ella, para que sea más fácil usarla.



2. Pon la semiesfera sobre la circunferencia, y marca en ella cuatro pequeños trazos que coincidan con los cuatro puntos cardinales. Márcalos con las letras N, S, E, O.



3. Saca el conjunto a un balcón soleado. Ponlo en una superficie horizontal y con la ayuda de la brújula, haz que los puntos cardinales dibujados coincidan con los terrestres. Marca con un lápiz o tiza el borde de la hoja de papel sobre la superficie sobre la que está situada: así se mantendrá la orientación de la semiesfera cada vez que hagamos una observación.

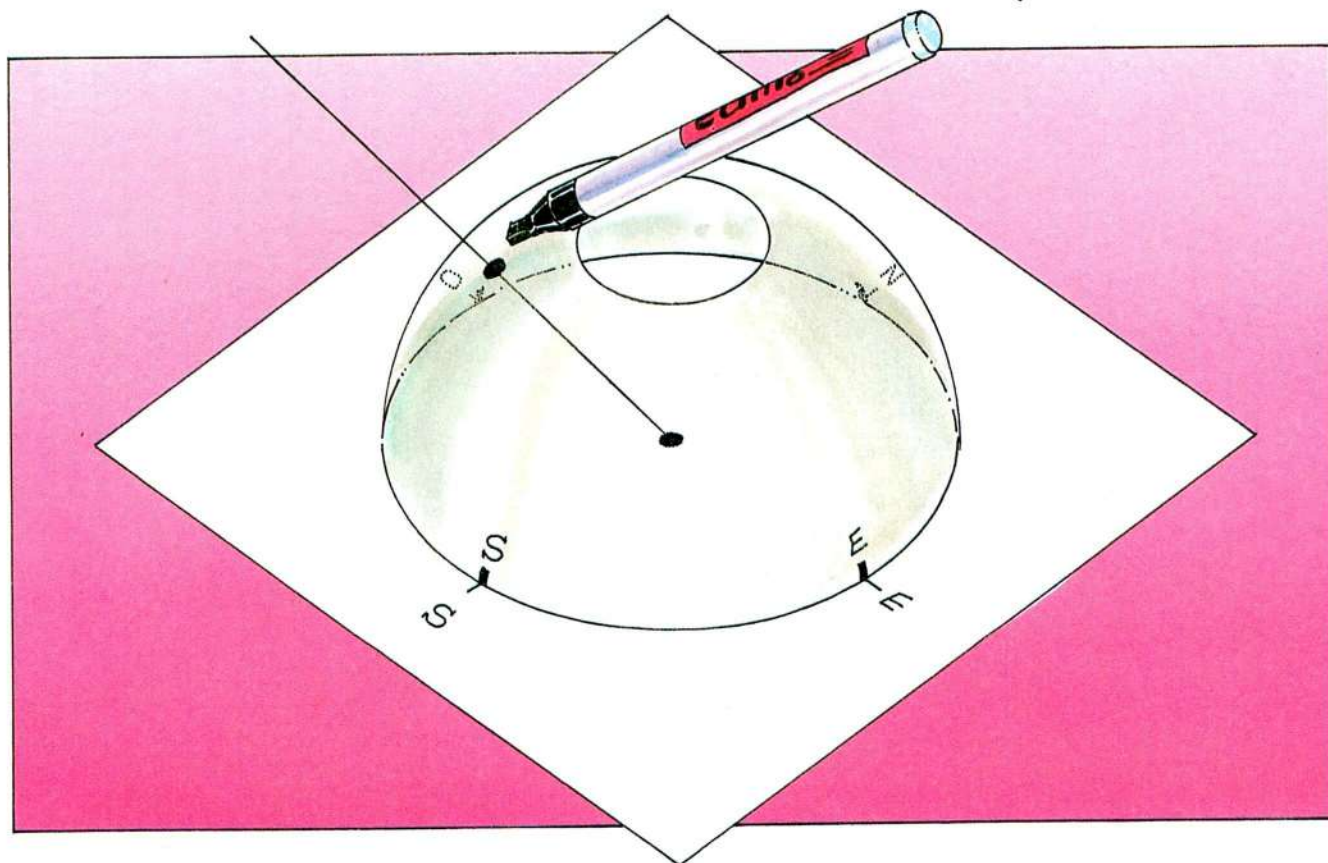
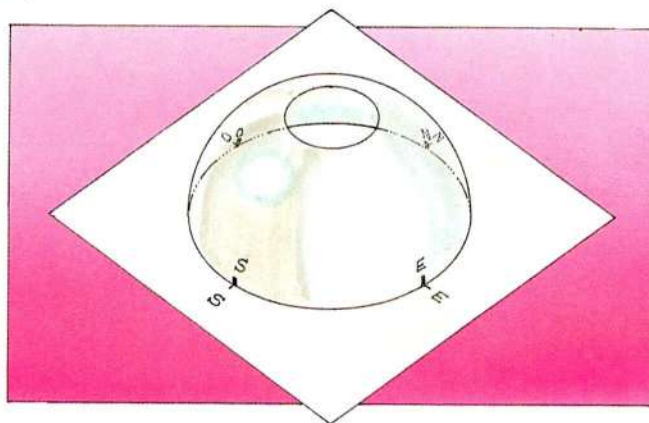
4. La semiesfera es un modelo de la esfera celeste, en la que nosotros estaríamos en el centro. Para dibujar la posición del Sol, coge un rotulador y busca sobre la

superficie un punto tal que su sombra coincida con el centro de la circunferencia. Marca ese punto.

5. Repite el paso anterior cada media hora. Une esos puntos con una línea que representará el movimiento del Sol en el cielo.
6. Repite todo en distintas estaciones del año: otoño, invierno, primavera y verano.

Cuestiones:

1. ¿El Sol está alguna vez en el cenit (punto justo encima de nuestras cabezas)?
2. ¿En qué dirección se mueve el Sol?
3. La máxima altura del Sol, ¿a qué hora se produce?
4. ¿Cómo varía el movimiento del Sol a lo largo del año?



5 Construcción de un telescopio refractor

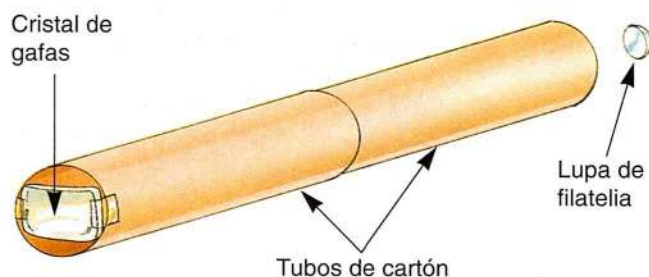
Objetivo: Construir un telescopio con lentes, de una potencia aproximada a la de los primeros que fabricó Galileo.

Material:

- Gafas de vista cansada, del nº 2'5.
- Lupa pequeña de muchos aumentos como las que se usan en filatelia.
- Dos tubos de cartón.

Procedimiento:

1. Un telescopio refractor tiene como objetivo una lente de mucha longitud focal, es decir, muy plana y de pocos aumentos. Se puede conseguir de unas gafas de hipermetropía, de 2'5 dioptrías, de las que se venden en las farmacias, que cuestan baratas por ser de plástico. No sirven las de miopía. Necesitarás saber la longitud focal: es 100 cm dividido por el número de dioptrías. Si no sabes el nº de dioptrías, sal con las gafas al exterior y enfoca la imagen del Sol en el suelo, hasta que aparezca casi un punto. En ese momento, la distancia entre las gafas y el suelo es la longitud focal de la lente.
2. También se necesita un ocular, que es una lente de pequeño diámetro y muy corta distancia focal, es decir, de muchos aumentos. En las tiendas de filatelia venden unas de plástico por poco dinero.
3. Por último es necesario un tubo. Para ello consigue dos de cartón, como los que se usan para mandar correspondencia. La longitud suma de la de los dos debe ser unos 20 cm más que la longitud focal del objetivo. Uno debe ser algo más estrecho que el otro, para que pueda entrar en él y deslizar y así poder enfocar la imagen. Si no los consigues de distinto grosor, puedes cortar uno todo a lo largo, quitarle 1 cm, y pegarlo de nuevo con papel adhesivo.
4. Coloca el objetivo en un extremo y el ocular en el otro. Mira por el ocular y enfoca la imagen acortando o alargando el tubo. Acuérdate de que las imágenes se ven invertidas.
5. ¡No mires nunca al Sol con él! Te quemarás los ojos y puedes quedarte ciego.



6 Construcción de un telescopio reflector

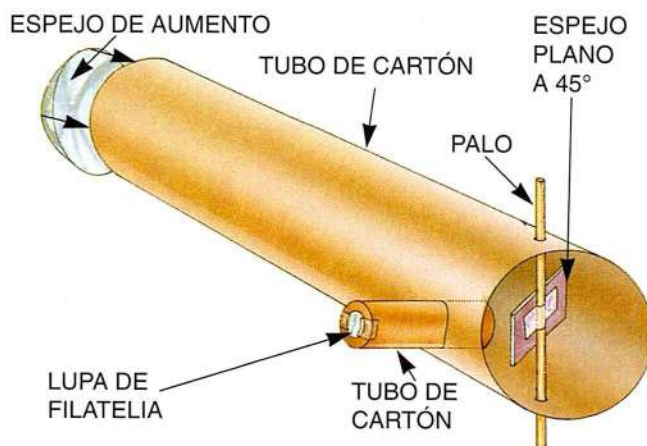
Objetivo: Construir un telescopio reflector.

Material:

- Espejo cóncavo, de aumento, de los usados en el aseo personal.
- Lupa pequeña de muchos aumentos, como las que se usan en filatelia.
- Un tubo de cartón grueso, de longitud igual a la focal del espejo y otro pequeño de unos 10 cm de largo y 2 ó 3 de diámetro.
- Espejo plano de 2 x 2 cm.
- Palo fino redondo.

Procedimiento:

1. Necesitarás conocer la distancia focal del espejo. Sal al exterior e intenta enfocar el Sol sobre una pared, hasta que salga casi un punto. La distancia entre el espejo y la pared es la distancia focal.
2. Coge un tubo de cartón de diámetro similar al del espejo, y que sea tan largo al menos como la longitud focal del espejo. Fija en un extremo al espejo cóncavo, con su superficie hacia dentro. Desde donde está el espejo, haz una marca en el tubo 10 cm antes que la longitud focal. Recorta ahí un orificio igual al diámetro del tubo de cartón pequeño, donde habrás situado el ocular. El tubo pequeño debe poder deslizarse, para enfocar la imagen.
3. A la misma altura que el orificio del ocular, pero a 90° y a ambos lados, haz dos pequeños orificios, que estarán diametralmente opuestos. Introduce en ellos un palo fino y pega en él un espejo plano de unos 2 cm de lado. Ponlo formando 45° con el diámetro del tubo grande, para que doble a los rayos que vienen desde el espejo y los introduzca en el tubo pequeño del ocular. Cuando esté así, pega el palo al tubo de cartón grande y corta los trozos del palo que sobresalgan del tubo.
4. Dirige el telescopio a un objeto y mira por el tubo pequeño. Adelanta o atrasa el ocular hasta que lo veas enfocado.



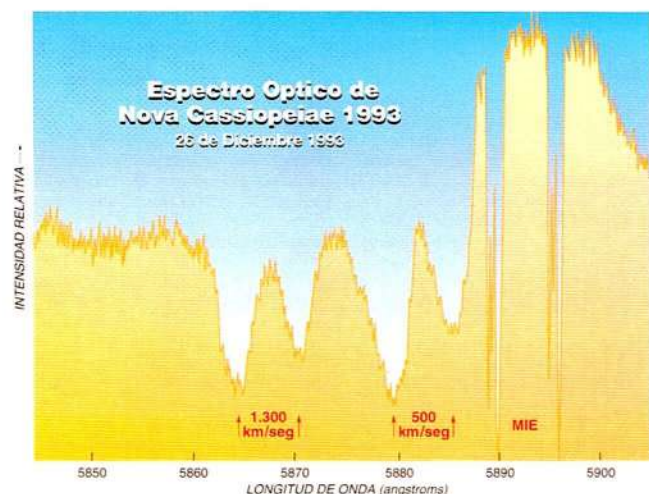
7 Estudio de una nova con el efecto Doppler

Objetivo: Medir la velocidad de un gas en el espacio con el efecto Doppler.

Material: Gráfico.

Procedimiento:

1. El 26 de diciembre de 1993 explotó una estrella nova en la constelación de Casiopea. Se formaron unas gigantes burbujas de gases expulsados por la estrella, que se fueron hinchando. La luz de la estrella atravesaba esos gases. Registrado el espectro de absorción de su luz, aparece en el gráfico adjunto.



2. En el espectro se observan dos líneas de absorción del sodio que provienen del medio interestelar (MIE), que se puede suponer que está en reposo. También se observan dos parejas de esas dos mismas rayas desplazadas de su longitud de onda habitual, debido al efecto Doppler, al atravesar los gases de la explosión. Es un corrimiento hacia el azul, luego los gases avanzan hacia nosotros.

3. Se pueden calcular las velocidades de esos gases con la fórmula del efecto Doppler:

$$v = c \cdot \left(1 - \frac{\lambda'}{\lambda} \right)$$

v = velocidad de los gases.

c = velocidad de la luz.

λ' = longitud de onda en movimiento.

λ = longitud de onda en reposo.

8 Cálculo de la densidad de varios cuerpos celestes

Objetivo: Determinar la densidad de Júpiter, Saturno, la Tierra y el Sol, observando las órbitas de sus lunas.

Material: - Gráfico de las órbitas de las lunas de Júpiter y Saturno.
- Regla.

Procedimiento:

1. En las figuras se representan las posiciones de las lunas de Júpiter y Saturno en cada momento de un mes. La tira vertical central es el planeta, a la misma escala que la distancia de las lunas al planeta. Si trazamos una línea horizontal por cualquier punto, el corte con las líneas onduladas nos dan la posición de cada luna en ese momento. Cada división vertical es un día.
2. El tiempo que tarda una luna en dar una vuelta completa alrededor del planeta se llama período T . Se puede calcular fácilmente en la figura observando el número de días en que la luna vuelve a estar en la misma posición. Se obtiene mejor precisión midiendo el tiempo que tarda en dar varias vueltas, y dividiéndolo por el número de vueltas.
3. La fuerza gravitatoria con que Júpiter atrae a una luna es:

$$F_g = G \cdot \frac{M_J \cdot m_L}{L^2}$$

Esa fuerza es igual a la fuerza centrípeta de la luna, que tiene la siguiente expresión:

$$F_c = m_L \cdot \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

La masa de Júpiter es su densidad ρ por su volumen, que es $\frac{4}{3}\pi R^3$. Operando estas tres fórmulas convenientemente, resulta la fórmula final, en la que no aparece la masa de la luna:

$$\rho = \frac{3 \cdot \pi}{G} \cdot \left(\frac{L}{R} \right)^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$.

T = período de una luna, en segundos.

L = distancia de la luna a Júpiter, en cualquier unidad de longitud, por ejemplo en mm.

R = radio de Júpiter, en las mismas unidades que L .

4. Calcula ρ con varias lunas de Júpiter, y halla su media. Compárala con el valor calculado por los científicos 1.314 Kg/m^3 .
5. Haz lo mismo con Saturno y compáralo con el valor de 690 Kg/m^3 que viene en los libros.

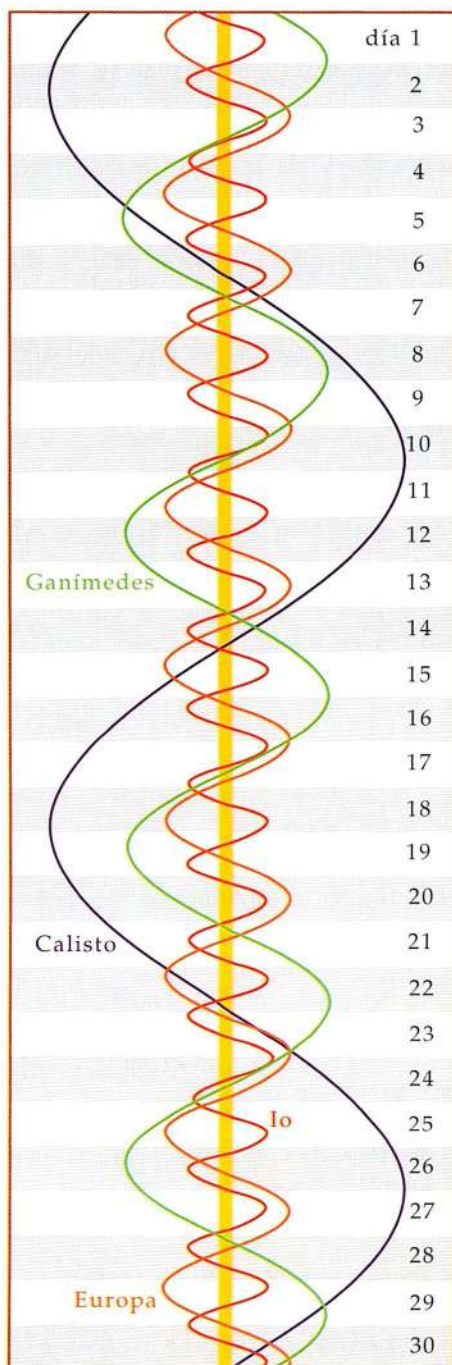
6. La distancia media de la Tierra a la Luna es 400.000 Km. El radio de la Tierra es de 6.400 Km. La Luna tarda 28 días en dar una vuelta sobre nuestro planeta. ¿Podrías calcular la densidad de la Tierra?

7. La densidad media de las rocas de la superficie de la Tierra es 2.300 Kg/m^3 . La del agua del mar es 1.000

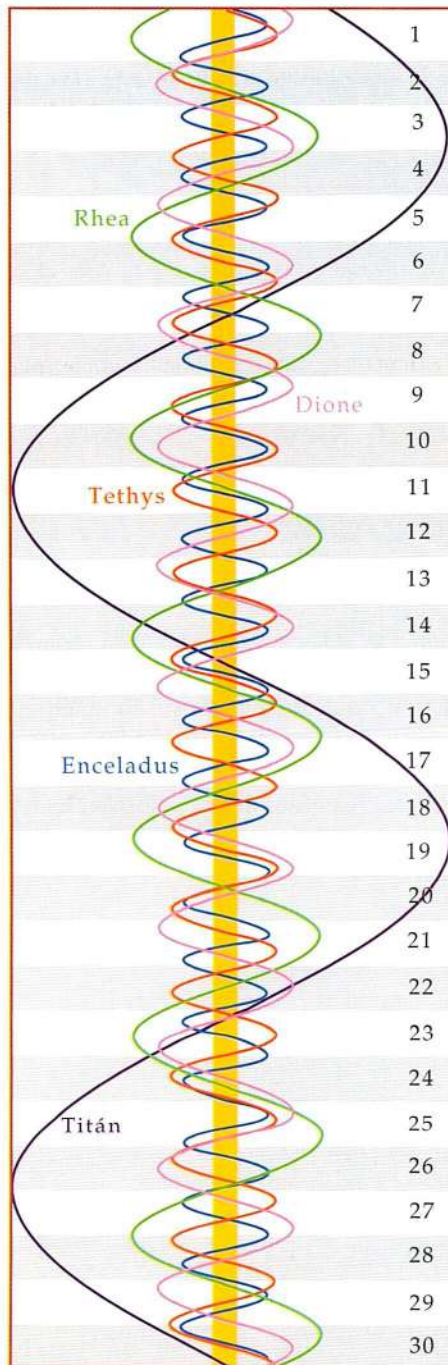
Kg/m^3 . ¿Cómo explicarías la densidad que has calculado en la cuestión anterior?

8. La distancia de la Tierra al Sol es 150.000.000 Km. El radio del Sol es $7 \cdot 10^5 \text{ Km}$. ¿Sabrías calcular la densidad media del Sol?

SATÉLITES DE JÚPITER



SATÉLITES DE SATURNO



9 Construcción de un reloj de sol

Objetivo: Construir un reloj de sol.

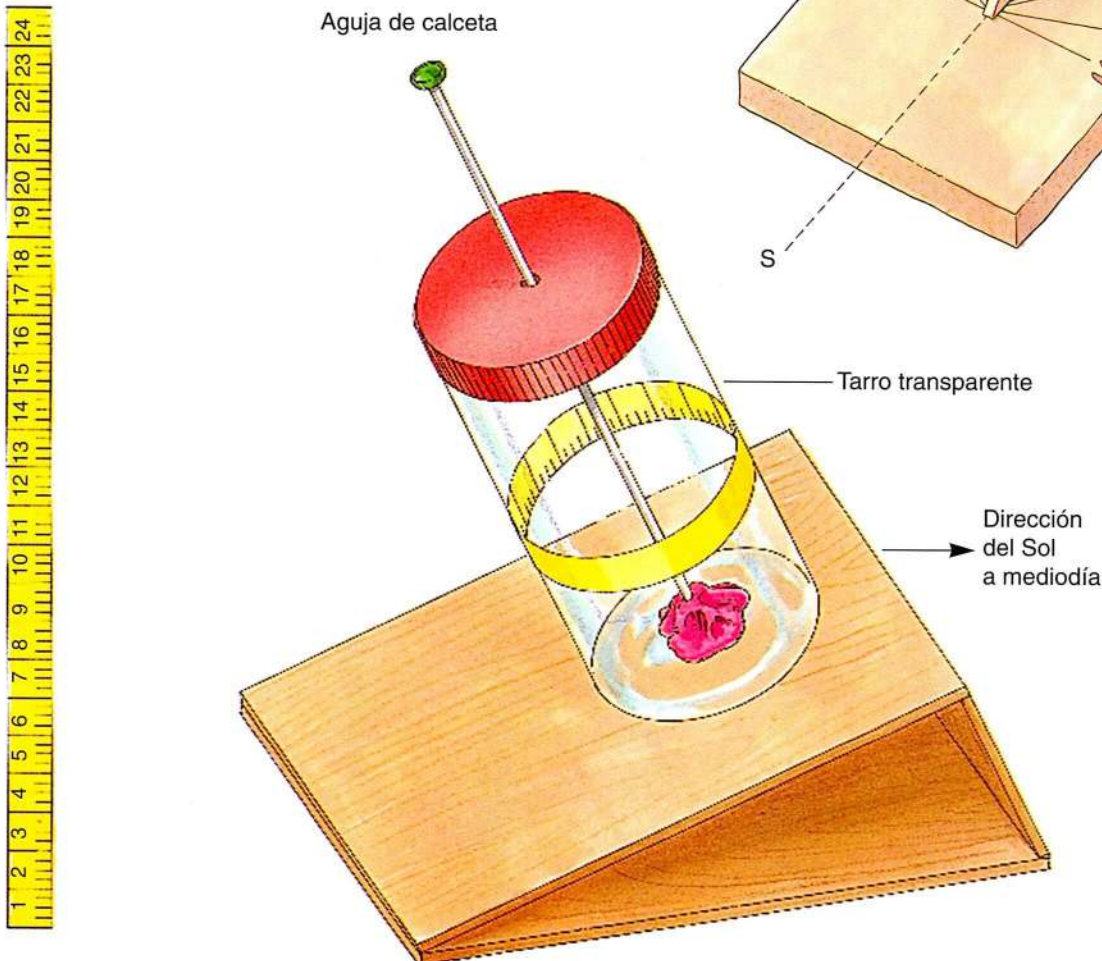
Material:

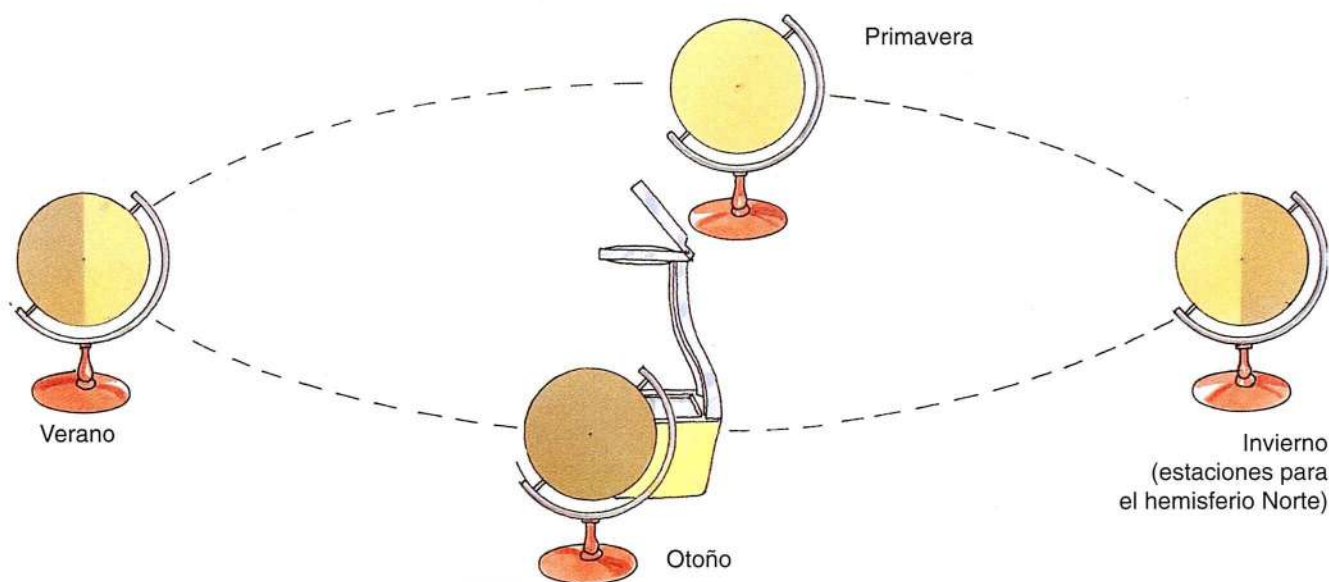
- Plancha de madera del tamaño de una hoja de papel, aproximadamente.
- Triángulo de madera, de la forma que se indica abajo.
- Tarro de cristal.
- Aguja de hacer punto o clavo largo.
- Otra plancha de madera.

Procedimiento:

1. El triángulo de madera debe tener un ángulo recto y otro con el ángulo de la latitud del lugar (en el sur de España, 37° , en el centro 40° y en el norte, 43°). Se pega a la base.
2. Hay que orientar la línea central de la base en dirección Norte - Sur, de tal forma que la hipotenusa del triángulo señale la posición donde de noche está la Estrella Polar.
3. Al principio hay que graduarlo con un reloj normal. Para ello, se trazan unas líneas rectas donde esté la sombra, cada hora, y se pone el número correspondiente al lado.

4. Otra forma de hacerlo es con un frasco de cristal. Perfora la tapa e introduce una aguja de hacer punto o un clavo largo. Sujétalo en el fondo con plastilina o arcilla.
5. Recorta una tira de papel que rodee el frasco. Divídela en 24 partes iguales, y cada una de esas divisiones en cuatro más pequeñas.
6. Haz un soporte en madera como el de la figura. El ángulo debe ser de 90° menos la latitud del lugar (la latitud media de España es de 40° , por lo que el ángulo debe ser de unos 50°). Oriéntalo al Sur, pon el tarro de cristal encima y gíralo hasta que la sombra del clavo coincida con la hora. Pega entonces el frasco a la madera, y tendrás terminado el reloj de sol.





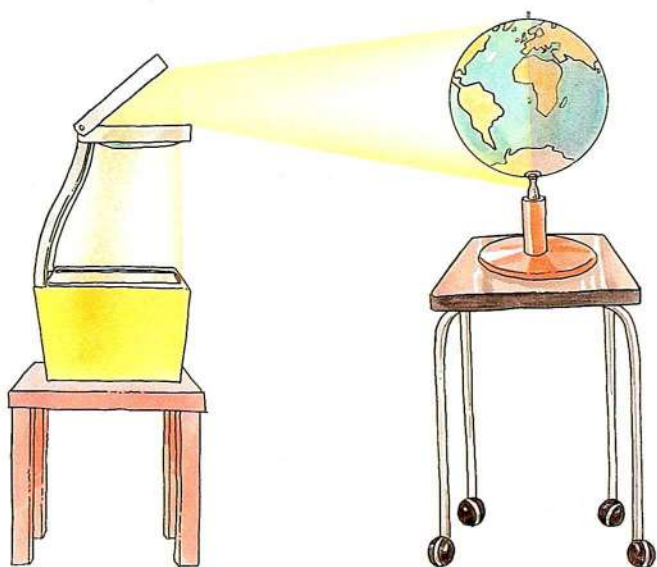
10 Modelo de las estaciones

Objetivo: Construir un modelo de iluminación del Sol sobre la Tierra, para poder representar el motivo de las estaciones

Material: - Globo terráqueo.
- Retroproyector o bombilla.
- Cartulina con un agujero de 1 ó 2 cm.
- Si es posible, dos mesitas con ruedas.

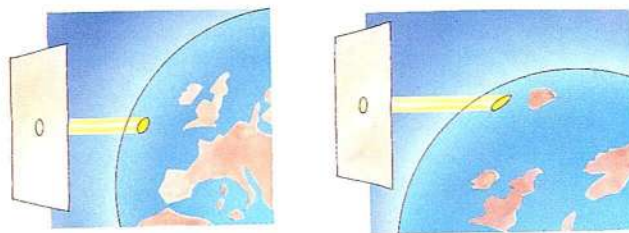
Procedimiento:

1. Sitúa el proyector en una mesita con ruedas, y el globo terráqueo en otra. La habitación debe estar sin otra iluminación.



2. Sitúa la cartulina con el agujero central dando sombra a la Tierra. Poniéndolo en varias latitudes, observa cómo la misma cantidad de luz se reparte en más o menos superficie: los rayos caen más o menos inclinados sobre la superficie de la Tierra. Simula el verano y el invierno. ¿Son distintos en el hemisferio Norte y en el Sur?

3. Gira el globo terráqueo alrededor del retroproyector, manteniendo el eje de la Tierra siempre en la misma dirección, e identifica las distintas estaciones a lo largo del año en cada hemisferio.



4. En la posición de invierno en el hemisferio Norte, da una vuelta completa al globo terráqueo alrededor de su eje, simulando las 24 horas de un día. Fíjate en un punto en España: ¿dura lo mismo el día que la noche? Haz lo mismo en la posición de las otras estaciones.

11 Construcción de un planisferio (buscador de estrellas)

Objetivo: Construir un planisferio para poder identificar las estrellas en el cielo en cualquier noche del año.

Material: - Fotocopia de los dibujos.
- Tijeras.
- Papel de celo.

Procedimiento:

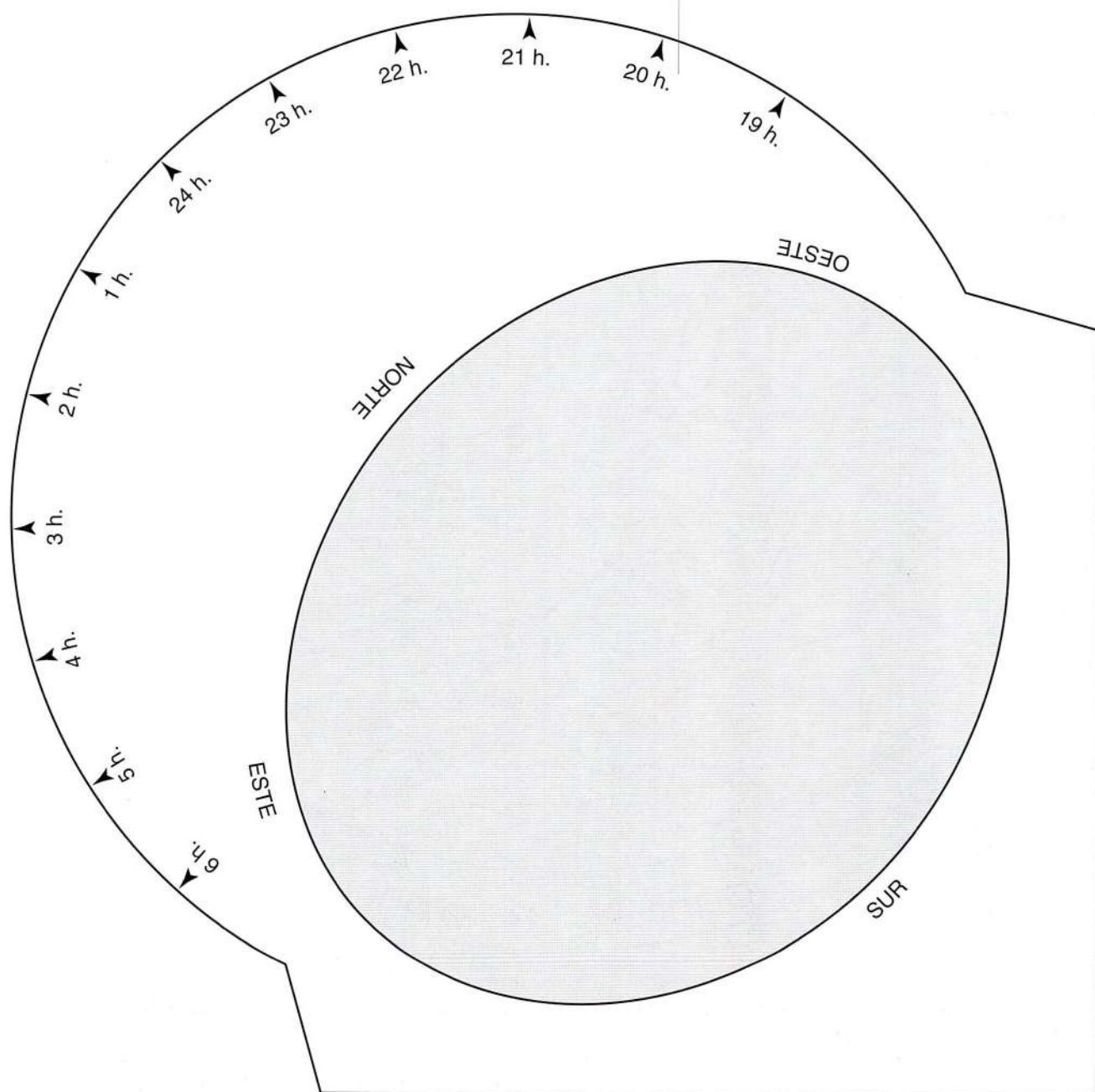
1. Haz una fotocopia del dibujo del círculo de estrellas, y dos del otro dibujo. Para que quede más consistente, es preferible hacer las fotocopias en cartulina.
2. Recorta el círculo de estrellas. En una de las otras dos recorta sólo la parte exterior. En la otra recorta la parte exterior y la ventana ovalada del centro. Pega estas dos fotocopias con papel celo en los dos bordes rectos.

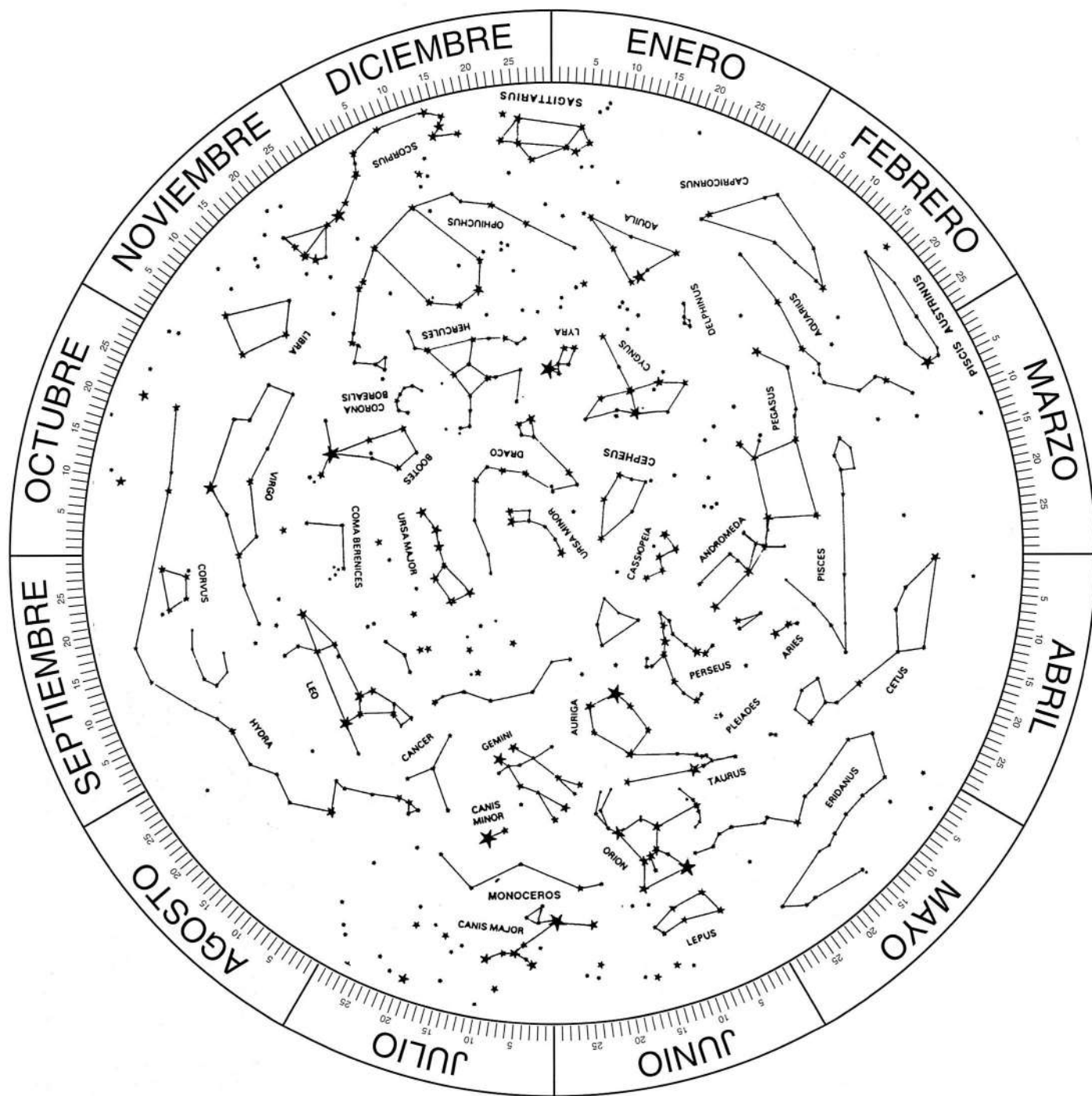
Introduce el círculo de estrellas entre las dos, de tal forma que pueda girar y se vean por la ventana ovalada las estrellas.

3. Para usarlo, gira el círculo de estrellas hasta que coincida la fecha actual con la hora a la que quieres ver el cielo. En la ventana ovalada aparecerán las estrellas visibles ese día a esa hora.
4. La hora debe ser la solar. En invierno coincide con la hora en Canarias, y es una hora menos en la Península.

En verano la hora solar es una hora menos que la oficial en Canarias y dos menos en la Península.

5. Como se explicó en la pregunta 3.1, si miras hacia el Norte, debes ponerlo delante de ti con la línea del horizonte marcada con el Norte en la parte inferior.
6. Con el planisferio puedes calcular a qué hora sale o se pone una determinada estrella un día concreto, puedes ver qué constelaciones son las circumpolares (no se ponen nunca), etc.





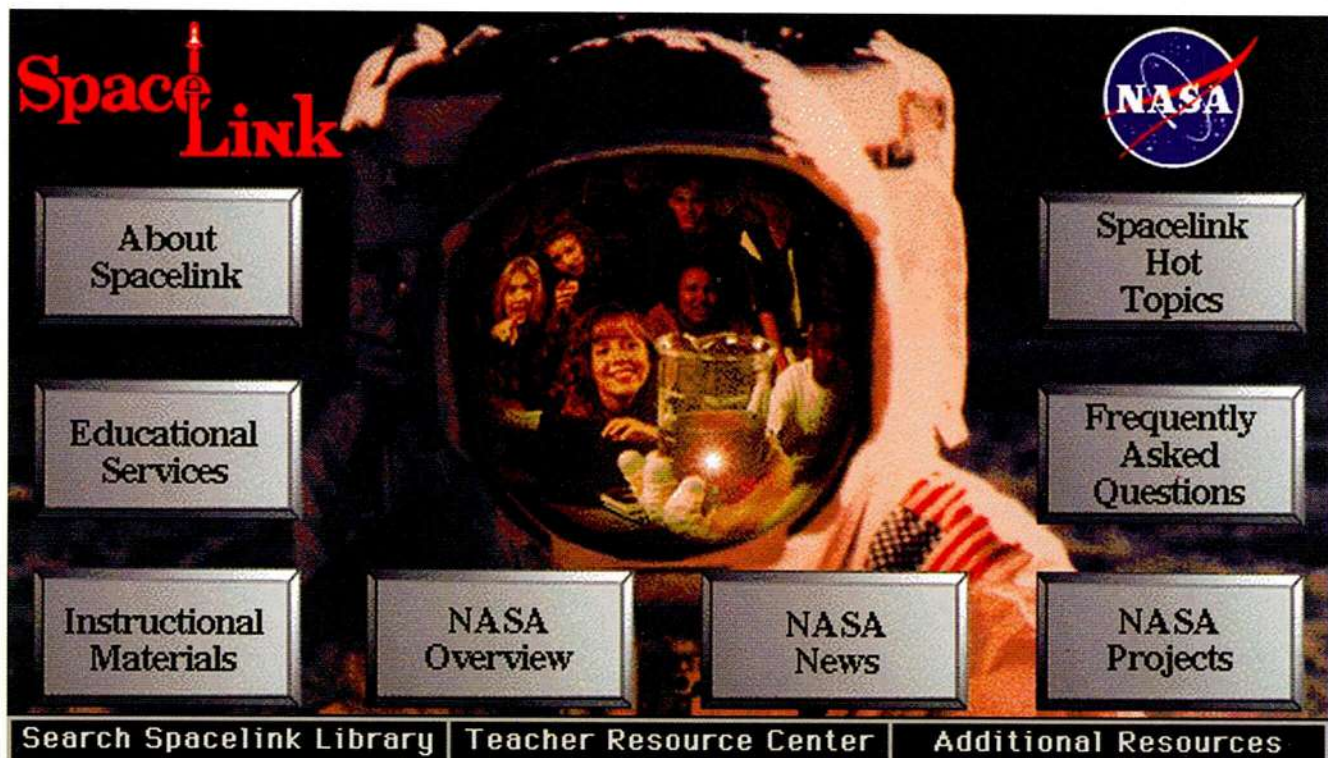
12 Astronomía en Internet

Objetivo: Explorar distintas páginas electrónicas relacionadas con la Astronomía.

Material: Ordenador con acceso a Internet.

Procedimiento:

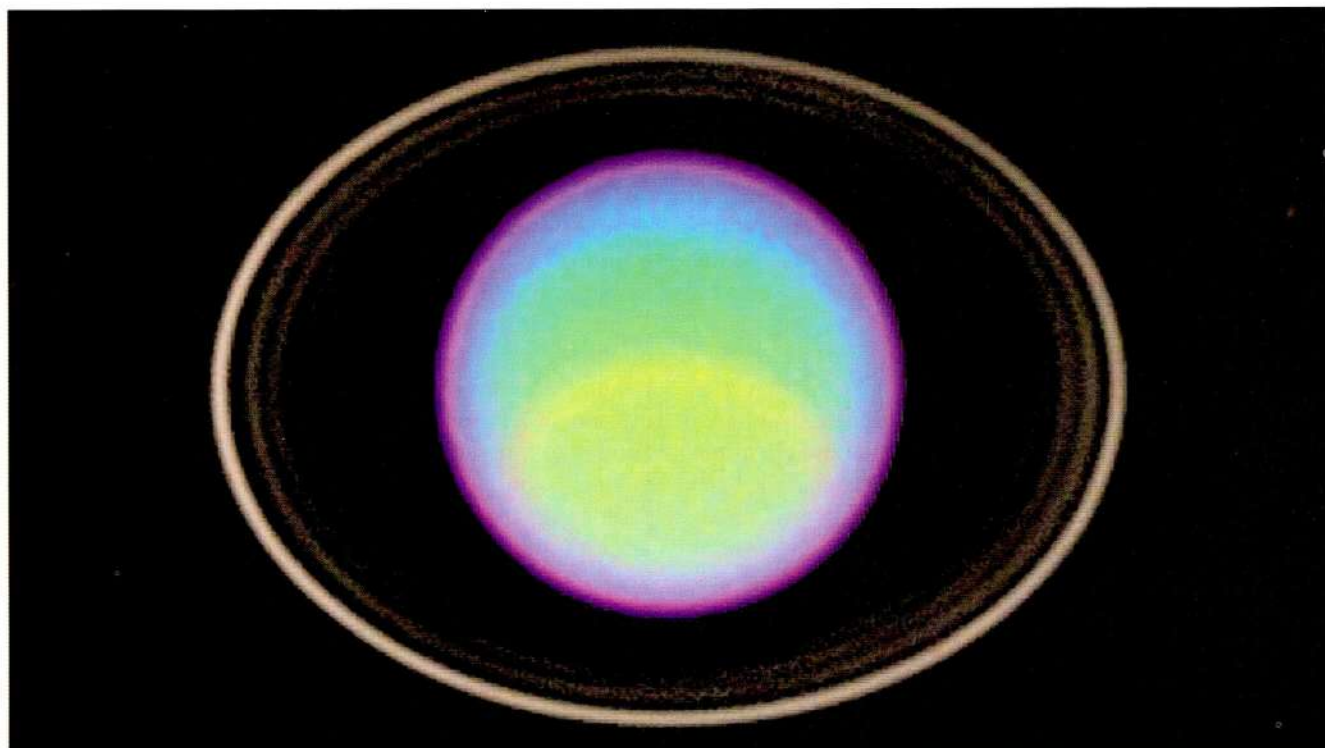
1. En Internet hay muchas páginas de libre acceso con información, programas, fotos y datos de temas astronómicos. Con frecuencia enlazan con otras relacionadas, por lo que son un buen recurso para la Astronomía, tanto para profesionales como para aficionados. Las que tienen su sede en España y Sudamérica suelen estar en castellano, pero en las otras, al ser una red mundial, el lenguaje más usado es el inglés, aunque hay algunas que disponen de versiones en castellano.
2. Por un lado están las Agencias Espaciales de los diversos países: la americana (NASA), la europea (ESA) y la Agencia Espacial Rusa. Suelen disponer de buenas fotos, tanto actuales como de la historia de la astronáutica, así como información de misiones recientes y futuras.
3. Espectacular por sus imágenes es la dirección del Telescopio Espacial Hubble. También es muy buena la de la Estación espacial ALFA.
4. Especial interés tiene la página Spacelink, de la NASA, dirigida a alumnos y profesores.
5. Muchas agrupaciones astronómicas de aficionados tienen sus propias direcciones. En ellas puedes encontrar artículos divulgativos, noticias de descubrimientos científicos, cursos, efemérides, etc.
6. Las revistas de astronomía suelen tener direcciones electrónicas con resúmenes de su contenido, índices, catálogos de material que distribuyen, etc.
7. Hay muchas más, de contenidos variados: enciclopedias interactivas, imágenes del Meteosat, museos, etc.



DIRECCIONES DE INTERNET SOBRE ASTRONOMÍA

http://marvel.stsci.edu http://www.stsci.edu/EPA/Pictures.html	Fotos del Telescopio Espacial Hubble
http://www.sadeya.cesca.es	Sociedad Astronómica de España y América. Dispone de fotos diarias del satélite Meteosat
http://www.iac.es	Instituto de Astrofísica de Canarias
http://www.iac.es/AA/AAS/index.html	Agrupacion Astronómica de Sabadell
http://www.iac.es/AA/galeria/agomez/AAM.html	Agrupacion Astronómica de Madrid
http://sopa.dis.ulpgc.es/(rvr/aagc.html	Agrupacion Astronómica de G. Canaria
http://www.iac.es/AA/AAT/index.html	Agrupacion Astronómica de Tenerife
http://dfuz.unizar.es/externo/aaa.aaa.html	Agrupacion Astronómica Aragonesa
http://dfuz.unizar.es/aah.aah.html	Agrupacion Astronómica de Huesca
http://www.gui.uva.es/(chr	Agrupacion Astronómica Syrma
http://spin.cifus.uson.mx/EOS/eos.htm	Información diaria del Sol en castellano
http://spin.cifus.uson.mx/EOS/decac.htm	Divulgación astronómica en castellano
http://newproducts.jpl.nasa.gov/ http://www.jpl.nasa.gov/	Noticias de la NASA en inglés
http://www.esrin.esa.it/	Agencia Espacial Europea
http://www.rssi.ru/	Agencia Espacial Rusa
http://www.eso.org/	Observatorio Austral Europeo
http://cdsweb.u-strasbg.fr/CDS.html	Centro de datos astronómicos de Estrasburgo
http://stdatu.stsci.edu/dss/	Fotos del Observatorio del Monte Palomar
http://www.fourmilab.ch	Programas informáticos de dominio público
http://www.skypub.com/	Revista <i>Sky & Telescope</i> (incluye un boletín semanal en castellano)
http://spacelink.msfc.nasa.gov/	Material de la NASA para educadores
http://www.nasm.edu/APOLLO/Apollo.html	Información sobre el programa Apolo
http://www-pao.ksc.nasa.gov/kscpao/spanish/76facts2.htm	Información en castellano de las misiones del transbordador espacial americano
http://www.seds.org/nineplanets/nineplanets/	Enciclopedia de astronomía <i>Nine-Planets</i>
http://bang.lanl.gov/solarsys/	Enciclopedia <i>Solar System</i>
http://www.pa.msu.edu/abrams/	Planetario Abrams
http://www.kalmbach.com/astro/astronomy.html	Revista americana <i>Astronomy</i>
http://sd-www.jhuapl.edu/NEAR/	Información de la sonda NEAR
http://history.msfc.nasa.gov/history/	Historia de la Astronáutica
http://issa-www.jsc.nasa.gov/	Estación espacial ALFA
http://sohowww.nascom.nasa.gov/	Información del observatorio SOHO
http://www.comet.arc.nasa.gov/comet/	Información de cometas

4 EL SISTEMA SOLAR



4.1 Formación

El sistema solar se formó a partir de una nebulosa primitiva de gas.

Según las teorías actuales, todo el Sistema Solar se formó a partir de la condensación de una nebulosa de gas y polvo, hace cinco mil millones de años. Ese gas y polvo probablemente proviniese de una estrella anterior que explotó como supernova, pues sólo en explosiones de ese tipo se pueden formar elementos pesados como el uranio, el oro, etc., que existen en los planetas.

El gas se fue condensando en "planetésimos", que fueron juntándose hasta formar los planetas y sus lunas.



El sistema solar se formó a partir de una nebulosa primitiva de gas.



El gas se fue condensando en "planetésimos", que fueron juntándose hasta formar los planetas y sus lunas.

Esa nebulosa primitiva empezó a concentrarse por la fuerza de la gravedad, y se formó un núcleo central denso y masivo. A la vez, igual que un patinador gira más de prisa cuando acerca sus brazos al cuerpo, la nebulosa empezó a girar alrededor de su centro. Por la fuerza centrífuga y por los diversos choques entre las partículas, se formó un gran disco de material, como un gran plato.

En el bulbo central, mucho más masivo, predominó la fuerza de gravitación: los gases se concentraron cada vez más, calentándose según disminuía su tamaño, hasta conseguir la temperatura suficiente para que el Sol empezara a emitir energía.

En la periferia, menos acumulada, se produjeron con-



Cráter en Arizona, producto de un impacto de un meteorito hace 60.000 años.

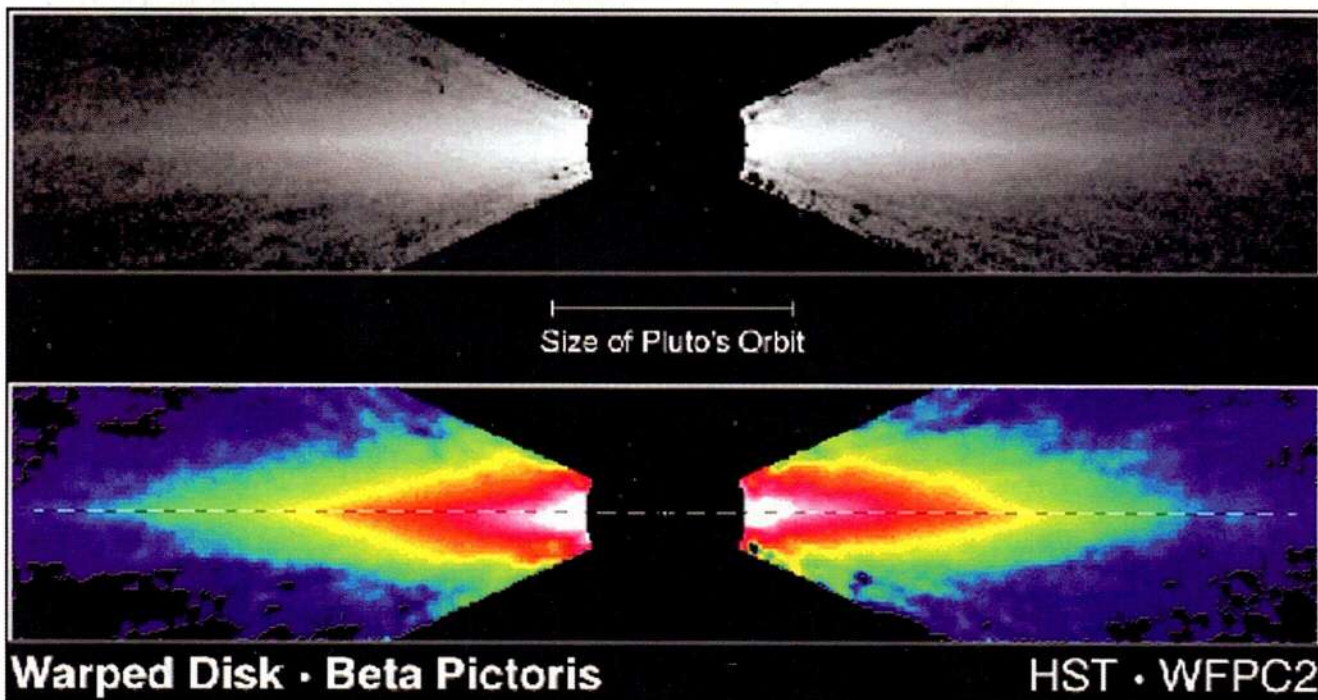
densaciones en varios núcleos concretos, que formaron los planetas. Finalmente la gravedad de estos cuerpos y el llamado viento solar "barrieron" todo el resto de materia del disco proto-planetario, hasta quedar el Sistema Solar tal como lo vemos hoy.

Por tanto, los planetas se han ido formando a base de choques entre pequeñas partículas al principio, y rocas de varios metros o kilómetros más adelante. Este proceso disminuyó notablemente después de unos 300 millones de años, pero aún hoy se sigue produciendo: sólo hay que ver la superficie llena de cráteres de la Luna, de Mercurio o de la mayoría de los satélites de los planetas. Otro ejemplo es el cometa Shoemaker Levy 9, que impactó sobre Júpiter en 1994. Las llamadas *estrellas fugaces* que cada noche se pueden ver en un cielo despejado y oscuro son pequeñas rocas que entran en nuestra atmósfera desde el espacio exterior, quemándose normalmente antes de llegar a la superficie terrestre. Las cenizas caen poco a poco al suelo. Se calcula que la Tierra incrementa su masa varios miles de toneladas al año por este sistema, cifra insignificante ante la inmensa masa de seis mil trillones de toneladas que nuestro planeta ha llegado a adquirir.

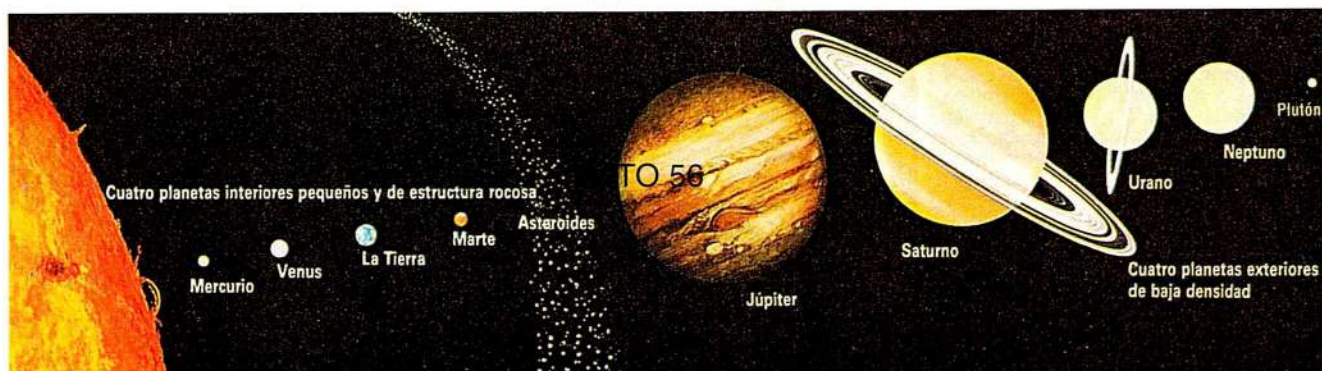
En estos choques se desprendió mucho calor. Los jóvenes planetas eran bastante calientes, y en su interior se registraron frecuentes fenómenos de desgasificación a través de volcanes, que formaron un manto gaseoso alrededor de algunos de ellos. A veces esos gases se licuaron y formaron superficies líquidas.

Los cuerpos más pequeños se convirtieron en satélites de los mayores y constituyen el cortejo de lunas que tienen la mayoría de los planetas.

En general, los materiales más pesados (rocas) fueron al fondo, es decir, a la parte interior del planeta. Los materiales más ligeros (gases) se quedaron en la parte externa, envolviendo al núcleo rocoso. Sin embargo se observan dos tipos de planetas en nuestro Sistema Solar. Aparte de Plutón, el planeta más alejado, que parece una "captura" de última hora del campo gravitatorio solar, los cuatro planetas más cercanos al Sol (Mercurio, Venus, La Tierra y Marte) son pequeños y rocosos, mientras que los cuatro siguientes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) son gigantes y gaseosos. ¿Por qué esa diferencia? Parece ser que muchas estrellas, en sus comienzos, presentan una fase de intenso viento solar, que no es sino una emisión de partículas y fotones. Si el Sol pasó esta fase, la gruesa capa de gases que desde el principio debía rodear a todos los planetas cercanos al Sol fue barrida por el viento solar. Sin embargo, a partir de una cierta distancia, la intensidad de ese viento no fue suficiente para despojar de los gases que forman el manto externo en los planetas gigantes, que también tienen un núcleo rocoso de tamaño similar a la Tierra. La atmósfera compleja y de muy poco espesor que posteriormente apareció en Venus, La Tierra y Marte parece tener un origen volcánico, totalmente distinta de las de Júpiter, Saturno, etc.



Joven estrella "Beta pictoris", con un disco de polvo y gas a su alrededor. En la foto del HST se ha ocultado la estrella central para poder ver mejor el disco.



Tamaño de los planetas en comparación con el Sol.

4.2 Distancias y tamaños

El Sistema Solar es un ámbito casi del todo vacío. Una nave interplanetaria que lo atravesara tendría una probabilidad remotísima de chocar con algún planeta, incluso con el Sol, si éste no le atrajera.

En el centro está el Sol, con un diámetro cien veces mayor que el terrestre y casi diez el de Júpiter. Concentra el 99'2% de la masa total del Sistema Solar. A su alrededor giran los nueve planetas: Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón, la mayoría con varias lunas.

Entre Marte y Júpiter está el cinturón de asteroides, miles de rocas de un hipotético planeta que no llegó nunca a formarse (o que se rompió en mil pedazos). Por último están los cometas, pequeñas rocas que de vez en cuando se acercan al Sol, mostrando su espectacular "cabellera" o cola.

Un punto que siempre ha llamado la atención es el orden de las distancias de los distintos planetas al Sol: cada planeta dista del Sol casi el doble que la anterior. En 1778 Bode propuso una serie que todos los aficionados a la Astronomía conocen como *Ley de Bode*, sin que se le haya podido dar ninguna justificación hasta ahora. Para for-

marla, escribamos un 0, luego un 3 y a partir de ahí dupliquemos siempre el anterior:

0 3 6 12 24 48 96 192 384 768

Ahora añadamos 4 a todos los valores y dividamos por 10:

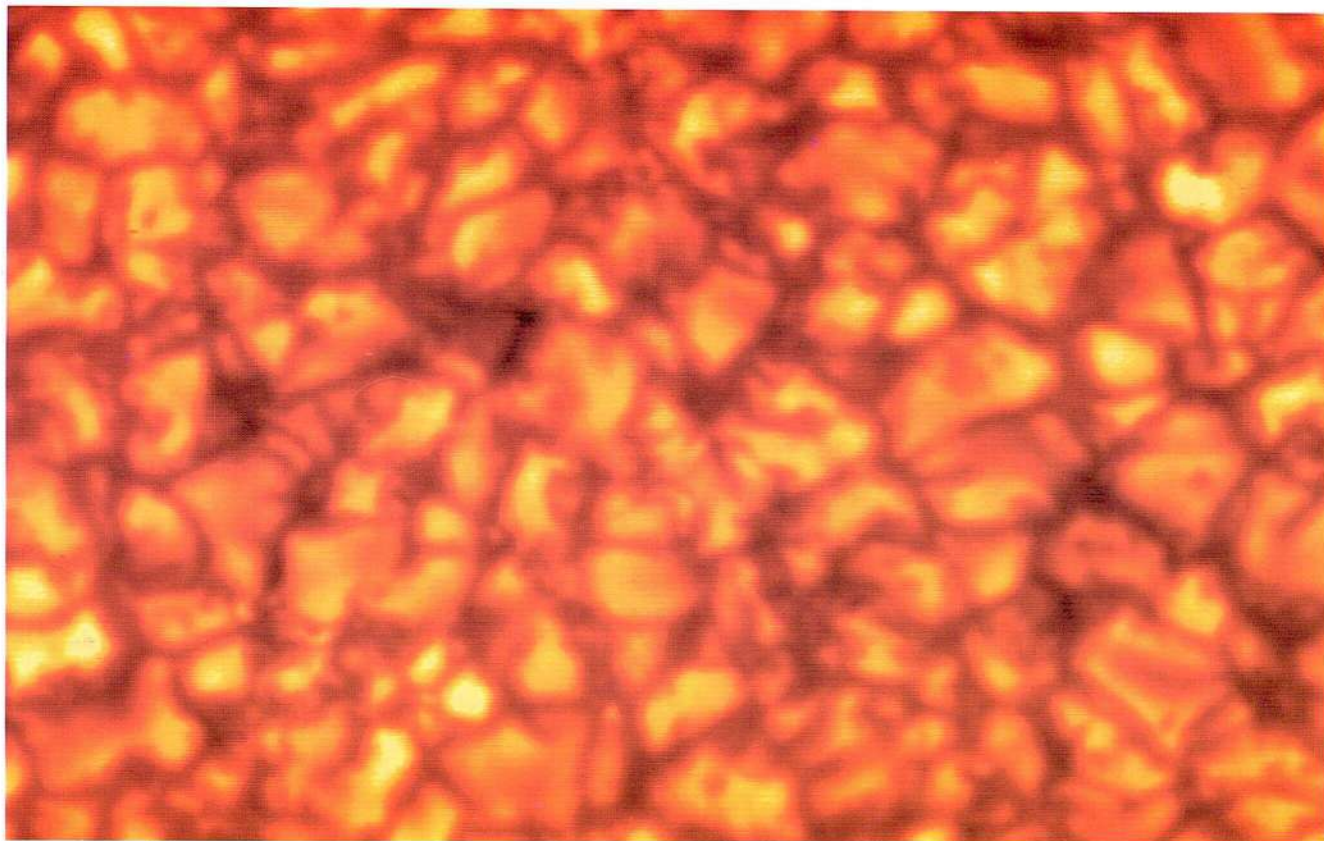
0'4 0'7 1 1'6 2'8 5'2 10 19'6 38'8 77'2

Estos valores coinciden casi exactamente con la distancia de los planetas al Sol. Si tomamos la distancia de la Tierra al Sol como unidad, Mercurio está a 0'4 veces esta distancia, Venus a 0'7, Marte a 1'6, Júpiter a 5'2. El descubrimiento de Urano, tres años después de ser formulada esta ley, pareció confirmarla, y más seguridad provocó el descubrimiento del cinturón de asteroides en 1801, en el hueco que faltaba de 2'8. Sin embargo, el descubrimiento de Neptuno en 1846 no encajó, pues está a una distancia de 30, en lugar de a 38'8, y no digamos Plutón, poco más lejos que Neptuno.

Aunque en las actividades 10 y 11 de este capítulo se dan los datos e instrucciones para fabricarse modelos a escala del Sistema Solar, nos podemos hacer una primera idea con esta comparación: si redujésemos el Sol a una esfera de 1 metro de diámetro, Mercurio sería del tamaño de una cabeza de alfiler a 40 m de la esfera.

Datos más importantes de los planetas

	Distancia al Sol (x 10 ⁶ Km)	Duración del año	Duración del día	Inclinación de la órbita	Excentricidad	Inclinación del eje	Diámetro (x103 Km)	Masa (Tierra=1)	Densidad (agua=1)	Nº de lunas
Mercurio	58	88 días	58 días	7°	0'21	2°	4'9	0'06	5'4	0
Venus	108	225 días	243 días	3°	0'01	183°	12'1	0'82	5'2	0
La Tierra	150	365 días	24 horas	0°	0'02	23'5°	12'8	1	5'5	1
Marte	228	1'88 años	24'5 h	2°	0'09	24°	6'8	0'11	3'9	2
Asteroides	400									
Júpiter	778	12 años	10 h	1°	0'05	3°	142'8	318	1'3	4
Saturno	1.427	30 años	10'5 h	2°	0'06	27°	120	95	0'7	9
Urano	2.879	84 años	15 h	1°	0'05	98°	50'8	14'5	1'3	5
Neptuno	4.500	165 años	18 h	2°	0'01	29°	48'6	17'2	1'7	2
Plutón	5.900	248 años	6'4 días	17°	0,25	90°	2'3	0'003	1	1



Ampliación de la superficie del Sol. Cada gránulo es del tamaño de España.

Venus, del tamaño de una aceituna, quedaría a 70 m, y la Tierra, de un tamaño similar, a 100 m. Marte sería como un guisante a 160 m. Granos de arena y polvo, flotando a 200 ó 300 m representarían a los asteroides. Júpiter estaría a 500 m, y sería como una naranja grande. Saturno, como una naranja normal, estaría a 1 Km. Dos melocotones podrían representar a Urano y Neptuno, a 2 y 3'2 Km respectivamente. Plutón sería otra cabeza de alfiler a 4 Km.

Todos los planetas giran alrededor del Sol en el mismo sentido y casi en el mismo plano. Sólo Plutón se desvía 17 grados de ese plano. Todos giran sobre sí mismos también en ese mismo sentido, excepto Venus, que gira en el sentido contrario como si hubiera volcado, y Urano, cuyo eje está inclinado cerca de 90 grados.

4.3 El Sol

El Sol es una estrella muy normal: ni muy brillante ni muy apagada, ni muy grande ni muy pequeña, ni muy vieja ni muy nueva. Se podría decir que es una estrella "media", que se formó hace unos 5.000 millones de años, y que le queda combustible para otros tantos años. Sin embargo tiene una peculiaridad: es la única estrella, que sepamos con certeza, que irradia su energía a un planeta que ha alumbrado la vida.

Distancia de nosotros 150 millones de Km, por lo que su luz tarda en llegar a nosotros 8 minutos. Si se apagara de repente, nos enteraríamos en la Tierra 8 minutos después.

Su diámetro es de 1'4 millones de Km, más de 100 veces el terrestre. Su volumen es 1'3 millones de veces el de la Tierra, y su masa 330.000 veces la nuestra. Es algo más denso que el agua (1'4 Kg/litro frente a 1 Kg/litro del agua). Gira alrededor de sí mismo y tarda casi un mes en dar una vuelta. Sin embargo, como no es sólido sino gaseoso, la rotación no es uniforme: en su ecuador tarda 25 días en completar una vuelta, y cerca de sus polos tarda 30.

EL SOL	
Temperatura	5.800° K
Radiación total	3'83 x 10 ²³ Kw
Magnitud visual	-26'8
Magnitud absoluta	+ 4'7
Período de rotación	25 - 30 días
Diámetro	1.392.530 Km
Volumen	1'41 x 10 ¹⁸ m ³
Masa	2 x 10 ³⁰ Kg
Densidad	1'41
Distancia a la Tierra	150 x 10 ⁶ Km

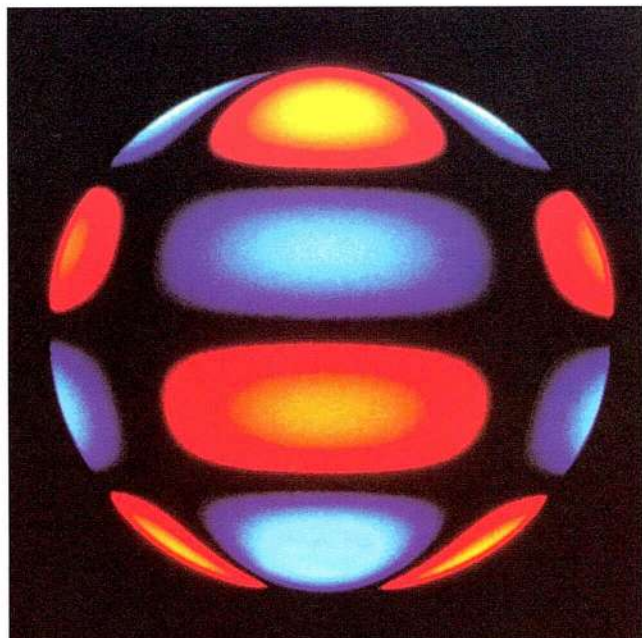
Aproximadamente las 3/4 partes es hidrógeno y la otra cuarta parte helio. Sólo un 1% es de otros elementos como hierro, etc.

La temperatura superficial es de 5.800 grados, aunque en su interior llega hasta los 14 millones de grados.

Por el calor que da, siempre se ha supuesto que debe ser un gigantesco horno, pero, ¿qué combustible utiliza? En los tiempos antiguos se supuso que era carbón, pero si así fuera duraría sólo 2.000 años. Si fuese petróleo, se apagaría en 30.000 años, cosa evidentemente errónea.

A finales del siglo XIX, Helmholtz supuso que el calor provenía de la compresión del gas solar, que se iría contrayendo paulatinamente, de una forma similar a como se calienta una bomba de bicicleta al comprimir el aire de dentro. No iba mal encaminado, pero aún no coincidía con los datos experimentales, ya que esta hipótesis daría una vida al Sol de 30 millones de años, cuando hay rocas en la Tierra que tienen cien veces más edad.

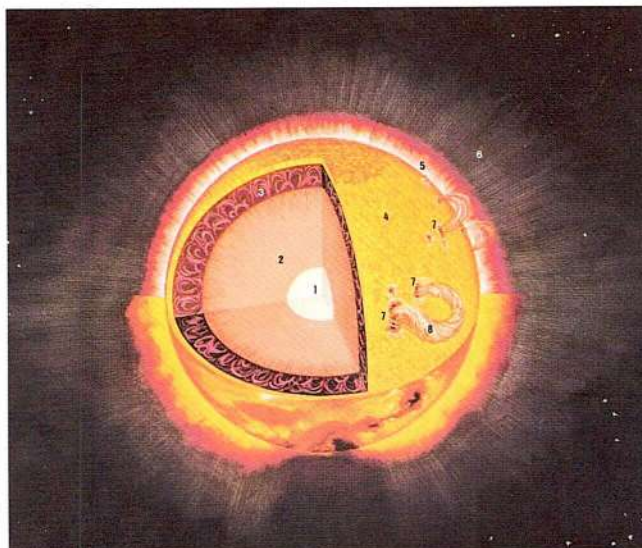
Ya en este siglo se dio con la idea correcta: la fuente de calor son reacciones nucleares de fusión, es decir, dos átomos de hidrógeno se fusionan para dar uno de helio, convirtiéndose una pequeña fracción de la masa en energía. Para producir la energía que actualmente emite el Sol, cada segundo 600 millones de toneladas de hidrógeno se transforman en helio. La pérdida de masa, que se convierte en energía, es 4'5 millones de toneladas por segundo. Aunque puede parecer una cantidad muy grande, la masa del Sol es tal que puede funcionar así miles de millones de años.



Simulación de las oscilaciones solares.

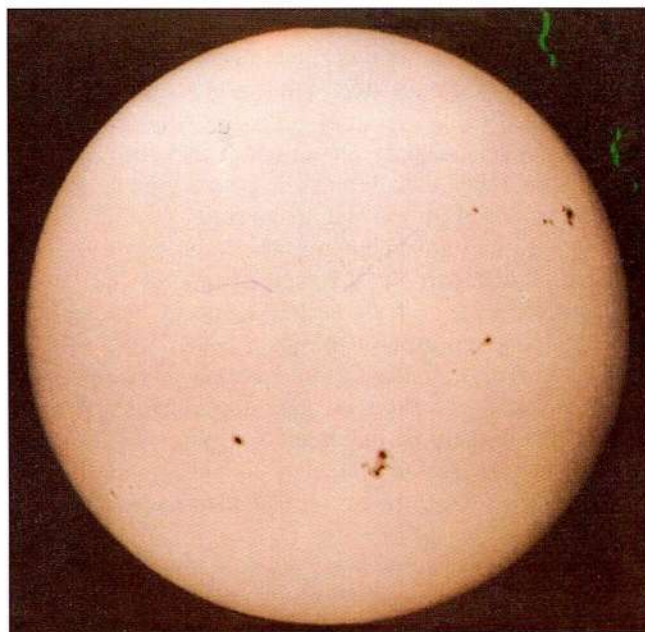
Para que estas reacciones se produzcan es necesaria una temperatura de 14 millones de grados, que es la que se supone que hay en el núcleo solar. Ese núcleo es tan denso que los fotones de energía que se forman en él en las reacciones nucleares chocan continuamente con partículas y se reorientan de nuevo. Es como un inmenso y caluroso avispero del que es difícil salir. Por ese camino en "zigzag", los fotones, a pesar de que viajan a la velocidad de la luz (300.000 Km por segundo), tardan varios millones de años en recorrer los 700.000 Km del radio solar. Después tarda sólo 8 minutos en recorrer en línea recta los 150 millones de Km que lo separan de la Tierra.

Esas altísimas densidades en el interior del Sol tienen otra consecuencia: cuando un gas se comprime mucho, llega a licuarse. Si se sigue comprimiendo aún más, llega hasta a solidificarse. Por eso en el interior del Sol, el hidrógeno tiene algunas propiedades de los metales, entre otras su capacidad de vibrar como si fuera un "gong". Está com-

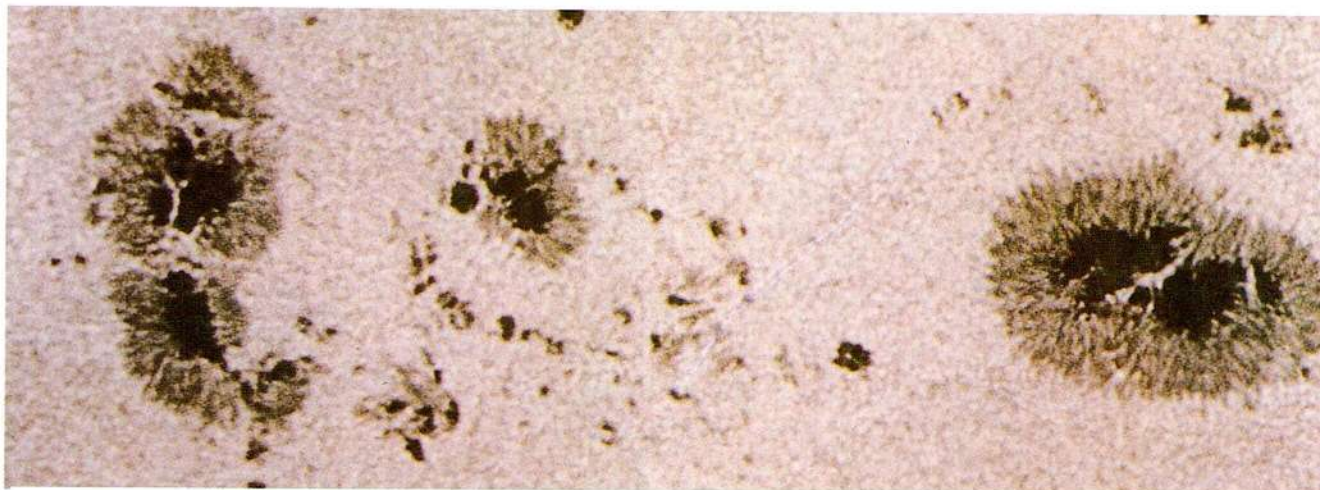


1. Núcleo; 2. Zona radiante; 3. Zona convectiva; 4. Fotosfera; 5. Cromosfera; 6. Corona; 7. Manchas Solares; 8. Protuberancias.

probado que su superficie varía de tamaño unos metros en períodos de varios minutos, vibraciones que parecen proceder del interior. Pero en 1976 se descubrió otra vibración más lenta (2'66 horas) que no encaja con las teorías sobre la composición del Sol. En este estado de cosas, satélites europeos descubrieron a finales de los 70 una inmensa fuente de rayos gamma en la zona de Géminis, a la que bautizaron como "Geminga". Se le ha observado cierto desplazamiento en el cielo, por lo que debe estar cerca de la Tierra, a unos 300 años luz. Se supone que debe ser una estrella de neutrones o un agujero negro cercano a nosotros que gira sobre sí mismo barriendo con su emisión de rayos gamma la zona de la Tierra como si fuera un faro. El período de esa emisión es 2'66 h, es decir, exactamente el mismo que las vibraciones solares. ¿Tienen relación entre sí? No lo sabemos. Por ahora el misterio de Geminga no se ha podido descifrar.



Nuestra estrella, con las manchas solares fácilmente visibles.



Manchas solares, con las zonas de sombra y penumbra. También se distingue la superficie granulosa.

Si pudiésemos diseccionar el Sol, probablemente encontraríamos el núcleo, una zona central hasta $0'25$ radios solares, donde se produce la energía. De $0'25$ a $0'85$ radios solares está la llamada zona radiante, donde la temperatura va disminuyendo y la energía escapándose por radiación. Después está la zona convectiva, en la que los gases suben y bajan en "columnas" como un líquido hirviendo, hasta salir al exterior dando un aspecto granuloso (como una gigantesca paella) a la superficie solar, llamada Fotosfera. Cada gránulo, de tamaño similar a España, dura unos 5 ó 10 minutos. La temperatura en el centro de esos gránulos es de 6.000 grados y en los bordes de 5.600 grados. Son como ampollas procedentes de chorros de materia caliente que irrumpen y caen por sus bordes, algo más fríos.

Más grandes son las manchas solares, fácilmente visibles como manchas oscuras. Están a sólo 4.000 grados, lo que les hace parecer oscuras por contraste con su alrededor. Suelen empezar como pequeños poros que van creciendo hasta llegar a un tamaño similar a la Tierra o a veces más grandes, para luego empequeñecer y desaparecer. Duran desde horas (pequeños poros) hasta meses (grandes manchas). Suelen tener una zona interior más oscura, llamada *sombra* y otra periférica más gris y filamentosa llamada *penumbra*.

Con frecuencia aparecen por parejas, lo que hace indicar que provienen de columnas de convección de gas que se arquean por el campo magnético solar.

En ocasiones aparecen en grupos, con cierta simetría respecto al ecuador. No aparecen en todo el disco solar, sólo entre los 3° y 40° de latitud, es decir, nunca en las zonas cercanas a los polos solares.

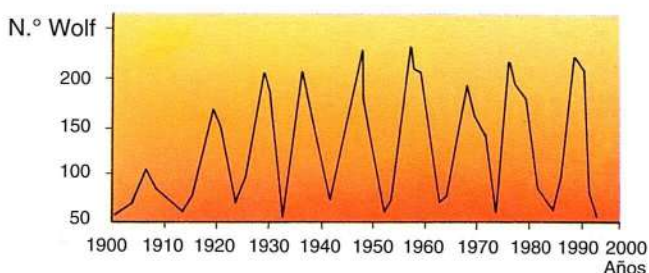
El número de manchas es variable con el tiempo, pero sigue un ciclo que dura 11 años aproximadamente. En 1990-91 se registró un máximo, y por tanto 1995-96 son años de poca actividad solar. Por el contrario, en los primeros años del tercer milenio se espera una actividad solar fuerte.

Para medir esa actividad, los astrónomos suelen recurrir al llamado número de Wolf, que tiene en cuenta tanto el número de manchas como el número de grupos. Su fórmula es:

$$W = 10 \cdot G + M$$

en la que G es el número de grupos y M el número total de manchas individuales. Por ejemplo, si hay dos grupos, uno con 4 manchas, otro con 3 y luego una mancha suelta, el número de Wolf sería:

$$W = 10 \cdot 2 + (4+3+1) = 28$$



Ciclo undecenal de la actividad solar.

En épocas de máxima actividad, ese número sobrepasa los 100 como promedio diario. En los años de mínimos, puede llegar a 0. La razón de estos ciclos es totalmente desconocida.

Asociadas a esas manchas suelen aparecer zonas más brillantes, llamadas *fáculas*. Son parecidas a filamentos que están a temperaturas superiores a 6.000° . Se podrían considerar como una compensación luminosa a las manchas solares.

Inmediatamente después de la fotosfera está la cromosfera, que se ve en los eclipses como un fino anillo de fuerte color rojo. Está lleno de filamentos de unos 10.000 Km de altura que oscilan continuamente a merced del campo magnético. Algunos observadores la han comparado a una "pradera ardiente". En la cromosfera se alcanzan los 100.000° , pero es tan poco densa que comparativamente con la fotosfera, apenas emite energía. En ella se producen las protuberancias solares, quizá los fenómenos más espectaculares que se producen en el Sol. Son gigantes columnas ardientes, a veces en forma de arco o también con forma de tronco con ramas, que se mueven a merced del campo magnético. Su tamaño suele exceder al de la Tierra,



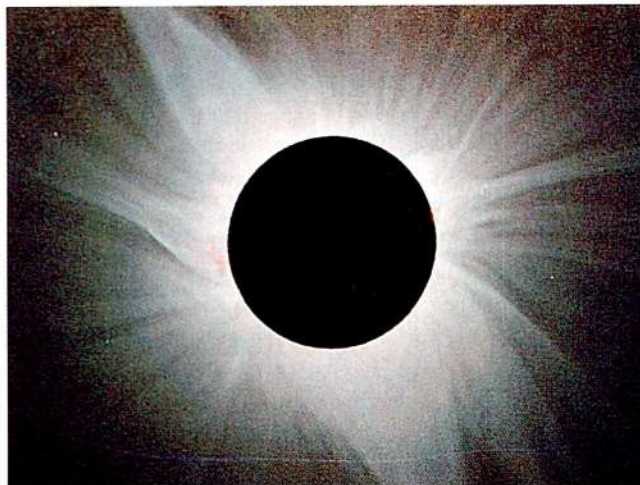
Cromosfera del Sol.

y en ocasiones han sido mayores que el propio diámetro solar. Unas aparecen asociadas a las manchas solares, y duran varios días. Otras, más grandes y espectaculares, son violentas erupciones que duran pocos minutos.

Por encima de la cromosfera está la corona. Se extiende hasta varios millones de Km. No hay un límite claro entre una y otra. Suele asignarse a la cromosfera un espesor de 3.000 Km, mientras que la corona llega hasta millones de Km. Es el gran halo blanco con aspecto filamento-so que se ve en los eclipses solares. Alcanza hasta un millón de grados, pero es un gas tan poco denso que en su conjunto emite una energía despreciable frente a la de la fotosfera.

Por último está el viento solar, que es un flujo de partículas cargadas (protones y electrones sobre todo) que salen del Sol a unos 400 Km/s y se expande en todas direcciones. Es el responsable de las colas de los cometas y de muchas perturbaciones en las comunicaciones terrestres.

Cuando llega a la Tierra, nuestro campo magnético lo desvía y hace que entre por las zonas polares, produciendo



Corona solar, visible en un eclipse.

do las auroras boreales y australes cuando la actividad solar es grande. Esas auroras tienen un aspecto de cortinas de colores, que se mueven con rapidez en el cielo nocturno. Desgraciadamente en Europa sólo son visibles en los países escandinavos.

La actividad solar, con su ciclo de 10 - 11 años, tiene influencia en la Tierra. Además de esas tormentas electromagnéticas en los años de máxima actividad solar, parece que influye en la meteorología. Así, el nivel del lago Victoria, en África Central, varía exactamente igual que el ciclo solar. También un estudio de los cerezos alemanes revela que los años de fuerte actividad solar, la floración es más temprana, mientras que en los de mínima actividad, la floración se retrasa.

También se observa un ciclo similar en los anillos de crecimiento en los troncos de los árboles. Así se ha comprobado en secuoyas gigantes en los Estados Unidos, que ese ciclo existía hace 800 años. Por lo visto la Naturaleza tiene unos sensores mucho mejores que nuestros registros estadísticos



Protuberancias solares. Muchas son más grandes que la Tierra.



Las auroras son producidas por el viento solar que entra en la atmósfera.

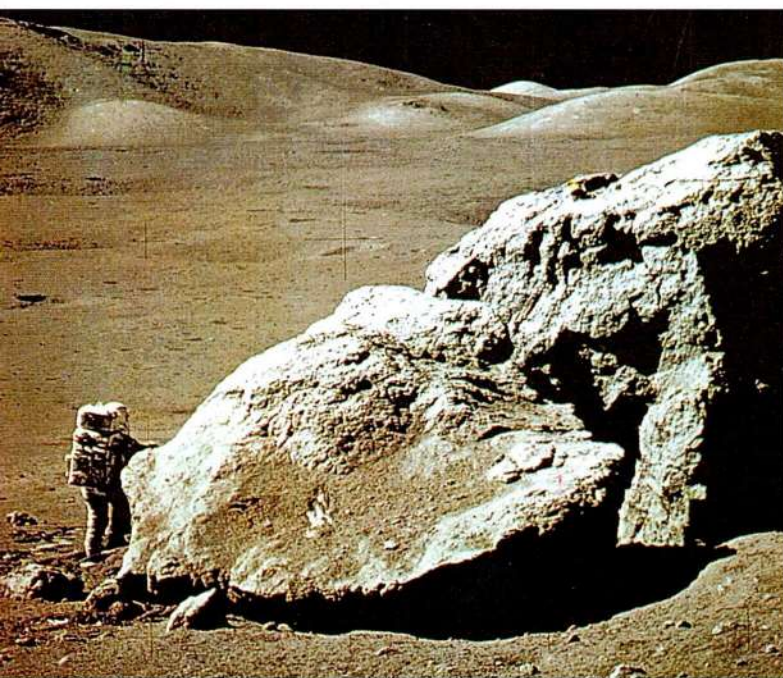
4.4 La Luna

Después del Sol, el siguiente astro que nos llama la atención en el cielo es la Luna. Ya en épocas antiguas su movimiento alrededor de la Tierra sirvió para fijar la duración de un mes y sus cuatro fases determinó la semana.

Tarda en dar una vuelta sobre sí misma justamente el mismo tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor de la Tierra. Por eso siempre vemos la misma cara. Esto no es una casualidad, ocurre también en otros cuerpos celestes, especialmente cuando están cerca. La razón es la siguiente: originalmente las rotaciones no estaban acopladas; sin embargo, al estar cerca, la Tierra atrae más la parte de la Luna que mira hacia ella que al resto, por lo que se abomba ligeramente. Al girar la Luna, ese abombamiento se iba desplazando por el satélite, produciéndose una pérdida de

LA LUNA	
Diámetro	3.476 Km
Volumen	0,02 el de la Tierra
Masa	0,0123 la de la Tierra
Densidad	3'33
Distancia min.	363.000 Km
Distancia max.	405.000 Km
Distancia media	385.000 Km

energía por rozamiento de las capas interiores. Así se fue frenando poco a poco la propia rotación lunar, hasta sincronizarse con el movimiento alrededor de la Luna. En el estado actual en que el abombamiento ha quedado definitivamente fijo en dirección a la Tierra, la fricción interior no se produce, y por tanto ya no hay pérdida de energía de rotación, y es una situación estable.



Paisaje lunar, tal como lo vieron los astronautas del Apolo.

La composición de la superficie de la Luna es rocosa, especialmente basalto. No se han encontrado minerales que no hubiera en la Tierra. La superficie está llena de un polvo fino gris y las rocas son también de ese color: es un paisaje sin casi colorido. Como no hay atmósfera, las sombras son muy oscuras y el cielo aparece también negro, aunque luzca el Sol. Durante el día, las rocas se calientan a 150° y durante la noche alcanzan los 170° bajo cero. El viento solar, los rayos cósmicos y las radiaciones ultravioletas caen sobre la superficie sin que ninguna pantalla la proteja. Quizá algún día el hombre construya allí colonias, pero su vida no será tan cómoda como imaginamos.



Parece que la Luna procede de los restos de una colisión de un cuerpo contra la Tierra.

El origen de la Luna nos es incierto todavía. Hay muchas teorías, pero ninguna explica todos los datos que disponemos. Las hipótesis más aceptadas son:

a) **Captura:** en tiempos remotos, la Tierra habría capturado gravitacionalmente a la Luna, que en su viaje por el espacio debió pasar cerca. Sin embargo ello conllevaría una órbita mucho más elíptica en lugar de la casi circunferencia actual, a no ser que fuera frenada por algo cuya naturaleza desconocemos.

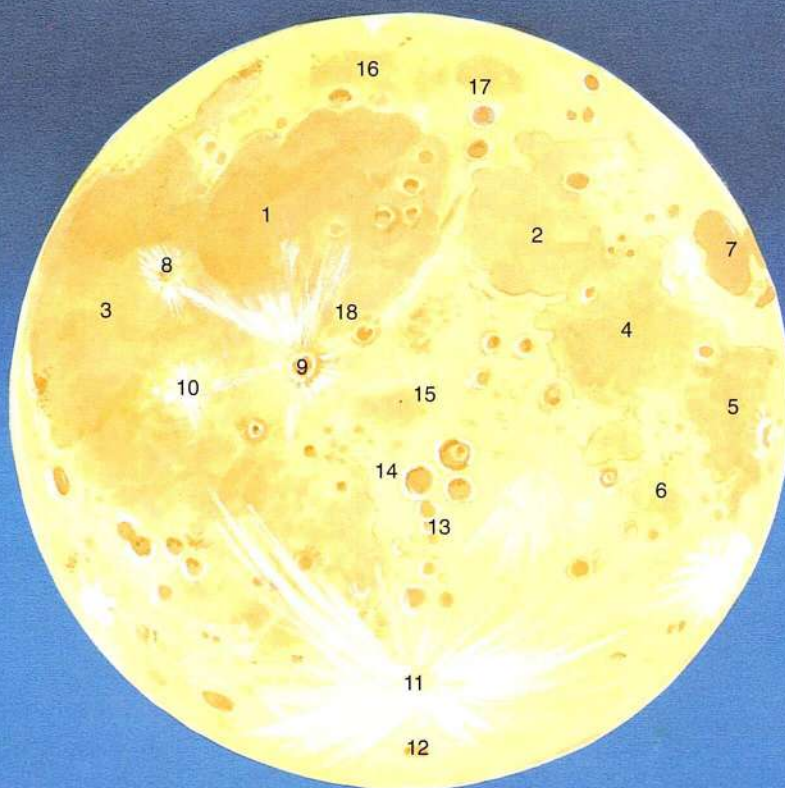
b) **Acreción conjunta:** la Luna y la Tierra se habrían formado a la vez a partir de los mismos materiales. Esto explicaría bien la órbita casi circular, pero no el hecho de que los materiales de una y de otra, aunque parecidos, tienen marcadas diferencias. Por ejemplo, en la Tierra abunda mucho más el hierro y en la Luna el titanio. La densidad de la Tierra casi duplica la de la Luna. ¿Cómo explicar esto, si se formaron a partir de los mismos materiales?

Mares y océanos:

1. Imbrium
2. Serenitatis
3. Procellarum
4. Tranquillitatis
5. Fecunditatis
6. Nectaris
7. Crisium

Cráteres:

8. Aristarco
9. Copérnico
10. Kepler
11. Tycho
12. Clavius
13. Arzachel
14. Alfonso
15. Ptolomeo
16. Platón
17. Aristóteles
18. Eratóstenes

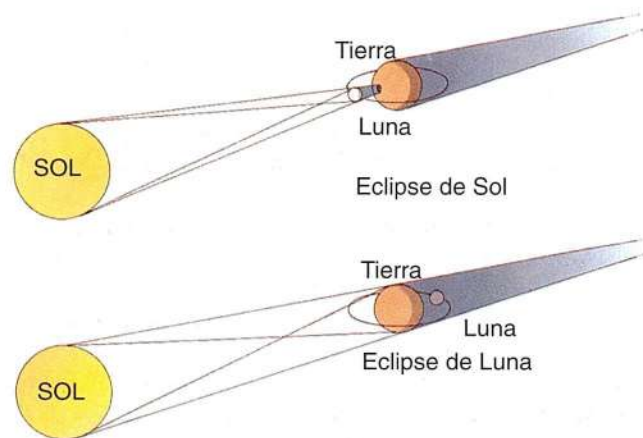


c) **Fisión:** la Tierra en sus comienzos giraría mucho más rápidamente, de tal forma que la propia fuerza centrífuga, unida a mareas inducidas por el Sol, iría formando un abultamiento en la superficie que llegaría a desprenderse y a colocarse en órbita. Incluso se ha supuesto que la zona de la que se desprendió podría haber sido el Pacífico, ya que tiene forma más o menos redondeada y de un tamaño similar a la Luna. Esta teoría fue ya formulada a finales del siglo XIX, y no explica las diferencias de combinación de los elementos para constituir las rocas en los dos cuerpos.

En 1975 se formuló una teoría que es una mezcla de las tres anteriores. Podríamos llamarla de la **Gran Colisión**. Según esta teoría, cuando la Tierra aún se estaba formando recibió el impacto de un cuerpo del tamaño de Marte, a una velocidad de 10 Km/s, que se incrustó en ella. Los materiales que saltaron eran una mezcla de la corteza terrestre (con poco hierro) y del bólide (que tendría más titanio por ejemplo). Estos materiales se aglutinaron en órbita, y formaron la Luna. Así se explicaría la diferencia de composición entre la Tierra y la Luna, y si el bólide inicial era muy férreo, de paso explicaría el origen del singularmente grande núcleo metálico terrestre. Un acontecimiento cataclísmico de este estilo también pudo ser el causante del vuelco de Venus y Urano, que giran con sus ejes inclinados 180° y 90° respectivamente.

Por todos lados hay cráteres, formados por colisiones de pequeños asteroides. También existen zonas planas, llamadas *mares* y *océanos*, que son grandes llanuras de lava que en algún momento salió del interior y se derramó por parte de la superficie. En la cara oculta de la Luna no hay esos mares, y tiene una superficie mucho más craterizada, ya que no tiene el “escudo” de la Tierra frente a los bólidos que llegan por esa zona. Esa cara oculta tampoco sufre las fuertes tensiones de la gravedad terrestre que en la otra parte ha hecho quebrar la superficie y salir la lava del interior.

Las manchas oscuras o *mares* (en los que, a pesar de ese nombre, no hay ni gota de agua) cubren la tercera parte



Cuando la Luna pasa entre el Sol y la Tierra, provoca un eclipse de Sol. Cuando la Luna penetra en la sombra de la Tierra, tiene lugar un eclipse de Luna.

de la superficie y las zonas claras o *tierras* las otras dos terceras partes. La visión de la Luna con unos simples prismáticos, especialmente en cuarto creciente o menguante, es muy interesante, porque se distingue perfectamente el relieve. Y con cualquier telescopio, aunque sea pequeño, es difícil de olvidar.

La Luna y la Tierra, en sus respectivos movimientos casi en el mismo plano, se interponen en ocasiones en los rayos del Sol que le llegan a su respectivo astro compañero, y producen los eclipses. Como la Luna es mucho más pequeña que la Tierra, los eclipses de Sol que produce se ven en una zona pequeña de la Tierra. Sin embargo, la sombra que la Tierra lanza hacia la Luna es mucho más grande, por lo que los eclipses de Luna se ven desde toda la Tierra y son más frecuentes.

ECLIPSES VISIBLES DESDE ESPAÑA	
27 septiembre 1996	Total de Luna
12 octubre 1996	Parcial de Sol
24 marzo 1997	Total de Luna
16 septiembre 1997	Total de Luna
11 agosto 1999	Parcial de Sol
21 enero 2000	Total de Luna
9 enero 2001	Total de Luna
16 mayo 2003	Total de Luna
31 mayo 2003	Anular de Sol
9 noviembre 2003	Total de Luna
28 octubre 2004	Total de Luna
3 octubre 2005	Anular de Sol
3 marzo de 2007	Total de Luna
21 febrero 2008	Total de Luna
16 agosto 2008	Total de Luna

El plano en el que la Luna gira está ligeramente inclinado respecto al plano en el que se mueve la Tierra alrededor del Sol. Por eso no se producen eclipses en cada vuelta de la Luna.

Por último, la influencia de la Luna sobre la Tierra sólo está demostrada en lo referente a las mareas: la Luna atrae a la masa de agua de los océanos que están frente a ella. Como la Tierra gira, en la superficie de los mares se produce una ligera elevación por atracción gravitatoria, que se nota especialmente en las costas. La combinación con las mareas que produce la atracción del Sol da lugar a las mareas altas y bajas de distinta intensidad que se producen en cada punto del litoral.

Pudiera ocurrir que ese fenómeno de *marea* se produjera también en la atmósfera terrestre, lo que explicaría la relación popular entre luna llena y cambios climáticos. De hecho, según un estudio publicado en 1995 tras quince años de registro de la temperatura de la Tierra desde satélites, se ha podido constatar un ligero aumento de la temperatura global en la Tierra las noches de Luna llena y una disminución las de Luna nueva. No hay que olvidar que cuando la Luna es llena, está en el lado opuesto al Sol, y cuando es Luna nueva, está al mismo lado que el Sol.

4.5 La Tierra

Nuestro planeta es, por muchos motivos muy especial. Si un extraterrestre se diera una vuelta por el Sistema Solar, probablemente la Tierra le parecería el más hermoso de todos —aunque sobre gustos no hay nada escrito, y menos tratándose de un extraterrestre—. Desde lejos lo vería de tonos azulados pero con zonas pardas, verdes, y un conjunto de rizadas y cambiantes nubes que cubren aproximadamente las dos terceras partes de su disco. Y en la zona no iluminada por el Sol, descubriría aquí y allá puntos luminosos que denotan una actividad que no hay en ningún otro.



La Tierra, vista desde el espacio.

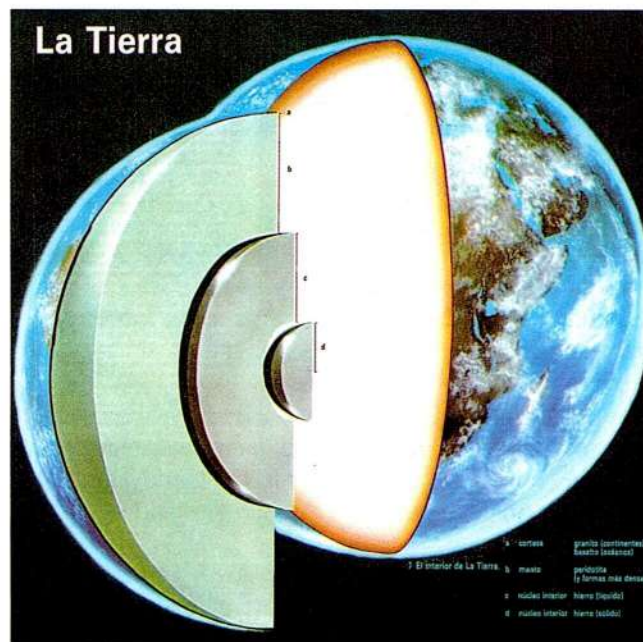
Por extraño que parezca, conocemos muy poco del interior de nuestro planeta de forma directa. Hemos conseguido mandar sondas espaciales más allá del Sistema Solar, pero no hemos llegado a profundizar más de 10 ó 15 Km en el interior de la Tierra, cifra ridícula frente a los 6.400 Km del radio terrestre. Tenemos que contentarnos con conocimientos indirectos, especialmente a través de las ondas sísmicas que atraviesan la Tierra de un extremo a otro.

Sabemos que la densidad media es de 5'5 toneladas por metro cúbico, la mayor de todo el Sistema Solar. Como la densidad del agua es 1 y la de las rocas superficiales es de 2'5, es lógico suponer que en el interior hay un **núcleo** de elementos pesados, seguramente metales como el hierro y níquel, no sabemos si en estado sólido o líquido.

Entre este núcleo metálico y la corteza rocosa está el **manto**, formado de metales, silicatos y sulfuros. Debe tener una consistencia viscosa y estar a altas temperaturas. De él procede el material que se expulsa en los volcanes y en las grietas suboceánicas.

Por último está la **litosfera**, la capa más delgada, que oscila entre 10 y 60 Km de espesor. Es más gruesa en los continentes y menos en los océanos. Es mucho más delgada que en cualquier otro cuerpo celeste, como en la Luna, Mercurio, Venus o Marte. Además posee una propiedad curiosa: la *isostasia*. Consiste en que donde la litosfera es más gruesa los materiales son más ligeros, y donde es más fina está formada por materiales más pesados. Así el peso en toda la superficie es más o menos igual, lo que le da una gran estabilidad.

También posee una propiedad única en los cuerpos conocidos: la *tectónica de placas*. La superficie de la litosfera está dividida en doce grandes placas que flotan sobre el manto. En algunas uniones emerge material y en otras se desliza una placa bajo la otra, todo esto con cósmica lentitud. En esas uniones hay inestabilidades de tipo sísmico y volcánico. También se produce una lenta deriva de los continentes y diversos plegamientos de la superficie.



Interior de la Tierra.

Esta portentosa maquinaria produce un reparto variado de continentes y océanos, de cordilleras y grandes depresiones. La erosión exterior acaba suavizando y modelando las formas. Así es como la Tierra ha llegado a ser el más variado, armonioso y bello de todos los planetas del Sistema Solar.

Si notable es la materia sólida, más notable aún es la líquida. Está formada por agua, cuerpo muy poco abundante en el Cosmos. De hecho, en estado líquido sólo la conocemos aquí. En otros cuerpos hay océanos de metano, de ácido sulfúrico, etc., pero no de agua.

Parece que proviene de los vapores que emitieron los volcanes hace millones de años. La mayor parte se condensó y formó los mares que cubren actualmente cerca del 80 % de la superficie.

La atmósfera admite cierta cantidad de agua en forma de vapor, pero sólo hasta un punto, a partir del cual se condensa en pequeñas gotitas, que constituyen las nubes. Si el

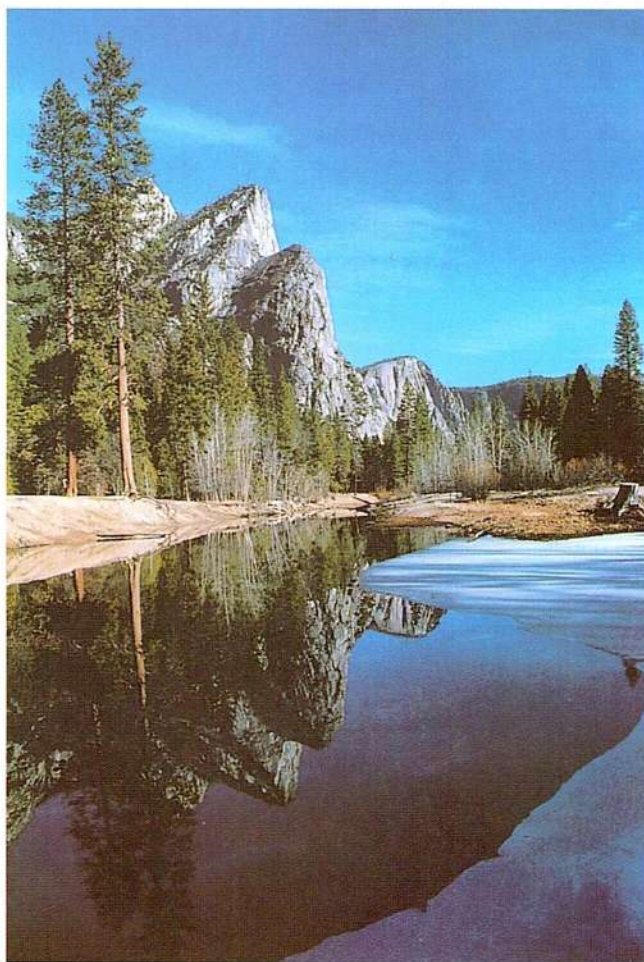


Pliegues en la corteza terrestre.

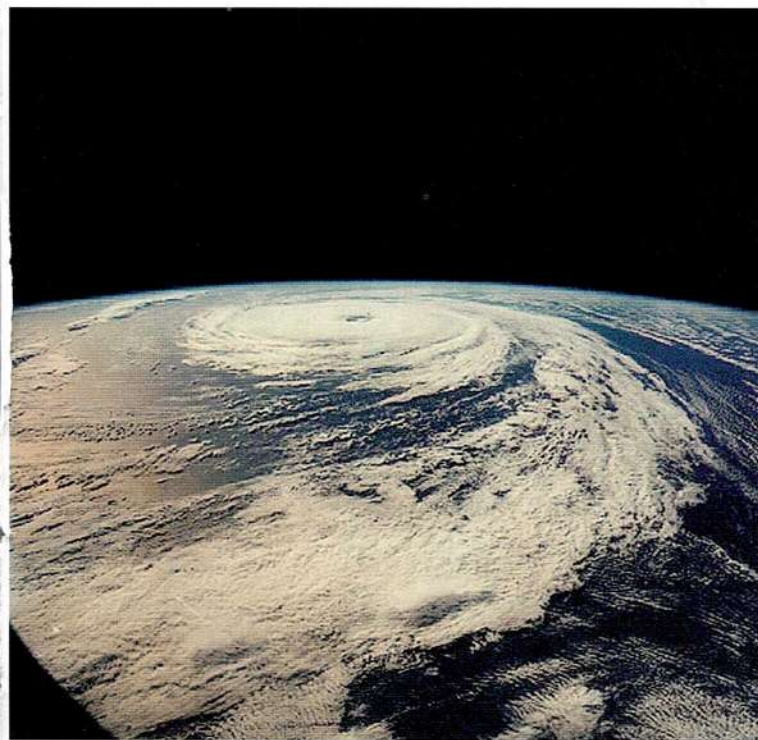
proceso de saturación continúa, las gotitas se hacen cada vez mayores, hasta que alcanzan cierto peso y caen en forma de lluvia. Ese agua caída vuelve a los mares empapando la Tierra, y vuelve a evaporarse, cerrando el ciclo una y otra vez. Así funciona la maquinaria del agua. Además las masas del mar tienen sus movimientos y corrientes, que refrescan costas calientes y calientan otras frías.

Por otra parte, el agua es un cuerpo muy extraño, único por muchas razones. Por ejemplo, tiene un altísimo calor específico, por lo que durante el día almacena gran cantidad de calor sin subir apenas de temperatura. Durante la noche lo suelta, constituyendo un termostato formidable de la temperatura ambiente. Gracias a eso, la Tierra es el planeta de clima más delicioso de cuantos se conocen. Recuérdese que en la Luna la temperatura diurna llega a los 150°C y la nocturna a -170°C , por no disponer de ese "termostato". Tiene un grado de capilaridad que le permite ascender muy bien por tubos finos. Gracias a él, empapa la tierra, moja, se filtra, llegando a todas partes. Su poder disolvente es enorme, y puede contener casi todas las sales. Transporta materiales disueltos en un lugar, abandonándolos en otro en forma de depósitos: así existe tan variada gama de yacimientos en lugares próximos entre sí.

Además el agua posee una cualidad excepcional: es, de todos los cuerpos, el único que pesa menos en estado sólido que en líquido. Gracias a que el hielo flota, el ambiente es templado. Imaginemos lo contrario, lo que "debería" ocurrir: que el hielo no flotara. Entonces cuando la temperatura ambiente llegara a 0°C , la superficie del mar se



El agua, un elemento con propiedades poco comunes.



Remolinos en la atmósfera, que producen las borrascas o anticiclones.

hellaría y caería una capa de hielo al fondo. Cada vez que se repitiese la helada, se repetiría el fenómeno. Esas capas no podrían ser calentadas, pues el calor del Sol no podría llegar al fondo. Los océanos se irían congelando y, como los cubitos de hielo en un vaso, acabarían refrigerando todo el planeta. La Tierra sería un perpetuo carámbano. Gracias a esta sorprendente *anomalía*, las cosas son como conviene que sean.

La atmósfera que rodea a la Tierra es también única. Contiene oxígeno libre (22%), necesario para la vida pero muy corrosivo a la vez. Por eso viene muy bien el nitrógeno (76%), gas inerte que suaviza el efecto del oxígeno. También hay un 1% de anhídrido carbónico (CO_2), vapor de agua y otros gases en muy pequeña proporción. Parte del oxígeno es ozono, que filtra el paso de los rayos ultravioletas, nocivos en altas dosis para los organismos.

El aire calentado en el ecuador asciende y es transportado hacia los polos por la parte alta. Sin embargo, por el efecto Coriolis, se retuerce en remolinos, cayendo a latitudes de 30° aproximadamente y regresando a la zona de origen a ras de suelo. Forma una *célula convectiva*. En los polos ocurre al revés: el aire frío va a ras de tierra hasta latitudes de 60° , y regresa por arriba cerrando otra *célula convectiva*. En latitudes intermedias ($30^\circ - 60^\circ$) se organiza una *célula* intermedia. Sin embargo, en todo esto intervienen una serie de efectos aleatorios que hace que el régimen de vientos no funcione de una forma demasiado rígida, y sople en todas las direcciones y con todas las intensidades, variedad que no existe en ningún otro planeta.

El viento es fundamental en la Tierra: renueva las masas de aire, permite la fecundación de las plantas, transporta las nubes y la lluvia a zonas secas. Esa lluvia fecun-

da la tierra disolviendo sales y sustancias, y regresando al mar o de nuevo a la atmósfera.

La atmósfera además nos sirve de escudo contra los meteoritos y contra los perjudiciales rayos cósmicos (rayos gamma, X, ultravioletas y viento solar), gracias a los cinturones *Van Allen* de nuestro campo magnético.

En su conjunto, la Tierra nos produce tres principales impresiones: parece una gigantesca máquina en pleno funcionamiento, cualidad que no hemos encontrado en ningún otro planeta cercano. Otra impresión es la gran armonía de unas cosas con otras: la Tierra, con sus continentes y sus mares, sus costas recortadas, sus llanuras fértiles, sus montañas abruptas, sus ríos caudalosos, sus bosques, sus lluvias, sus estaciones, sus paisajes verdes, y también, como contraste, sus desiertos, sus páramos helados o sus tempestades, nos parece el más variado, amable y acogedor de los planetas. Y una tercera impresión que no es posible eludir: es un planeta muy bien organizado, muy bien dispuesto para algo muy importante: la vida, que por si fuera poco, incluye a una curiosa especie de seres inteligentes que es capaz de comprender y estudiar el Universo. Todavía no sabemos si ese maravilloso privilegio es realmente único en todo el espacio cósmico.

Esta Tierra no la poseemos en propiedad. Tenemos la responsabilidad de entregarla a las siguientes generaciones en iguales o mejores condiciones que la hemos recibido. Por eso todos hemos de cuidarla, mantenerla y protegerla.

A nivel global, es preocupante el llamado *agujero de la capa de ozono* que se ha detectado en el Polo sur. Su



Agujero en la capa de ozono sobre el Polo sur.

4.6 Los Planetas

4.6.1 Mercurio

Es el más cercano al Sol. Dista de él cerca de 60 millones de Km, y tiene un diámetro de 4.900 Km, menos que la mitad del nuestro. Tarda en dar una vuelta al Sol 88 días y sobre sí mismo 59 días.

Como está tan cerca del Sol, desde la Tierra es difícil verle, pues se alza en el horizonte poco antes que el Sol y se pone cuando aún no ha empezado apenas a anochecer.

El aspecto de la superficie es similar a la Luna, llena de cráteres por todas partes y de un color gris. No hay atmósfera, ni plegamientos ni volcanes. Sólo la diferencia de temperatura entre el día (430°C) y la noche (-170°C) puede cuartear alguna zona de la gruesa superficie, levemente moldeada por el viento y radiación solar que cae a plomo. Sin embargo en sus polos, donde el Sol da muy de lado, la temperatura es más o menos constante y fría, y se ha llegado a detectar algo de hielo en alguna grieta.

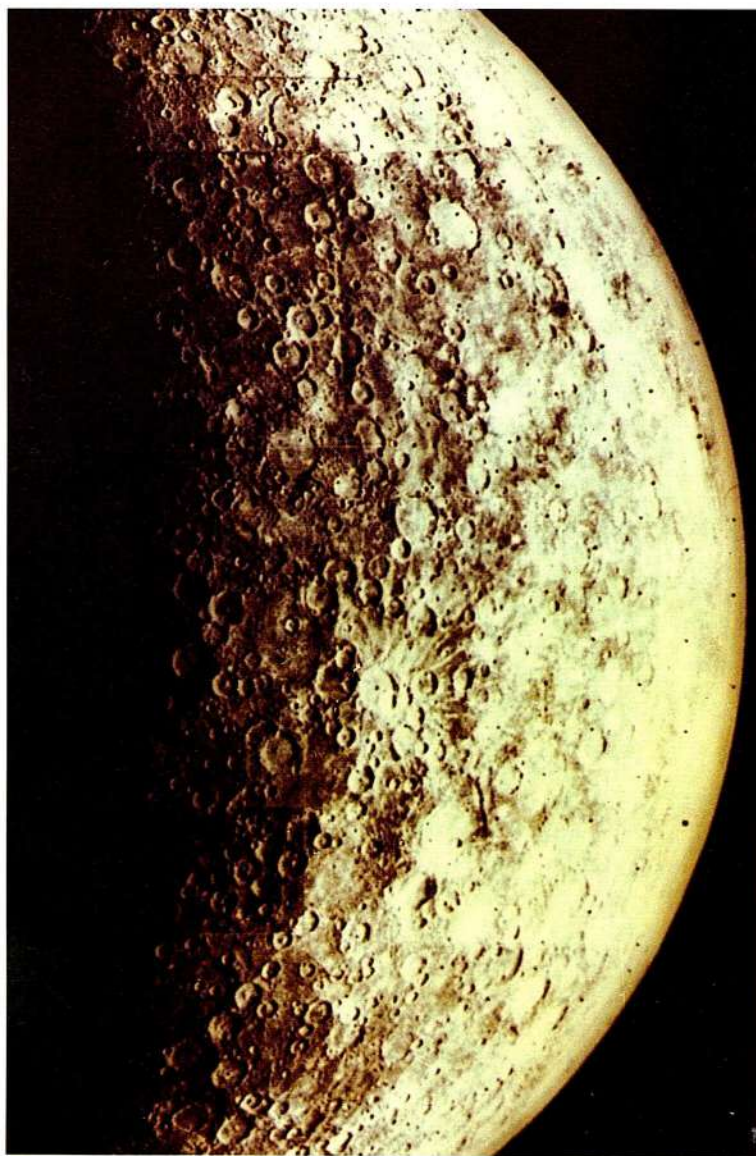


Europa de noche, vista desde el espacio.

tamaño varía según las estaciones, y aún no se sabe si esas variaciones son normales o producidas por el hombre. En previsión de esto último se están limitando ciertos vertidos a la atmósfera, como los gases CFC (cloro-flúor-carbonados), que rompen las moléculas de ozono.

Parece que las plantas, a lo largo de los millones de años, han ido bajando el nivel de CO_2 y aumentando el de oxígeno, hasta llegar a la situación de equilibrio actual. Por eso es tan importante mantener los bosques, verdaderos pulmones de la naturaleza. Por otra parte, si el nivel de CO_2 aumentase mucho, se produciría el *efecto invernadero*. Consiste en que este gas deja pasar el calor procedente del Sol, pero no el que produce la Tierra al calentarse. Esto puede aumentar considerablemente la temperatura, como ocurre con Venus, donde llega a los 480° . Los actuales vertidos de gases a la atmósfera por parte de las industrias necesitan ser controlados si no queremos que esto ocurra. Además puede producir la llamada *lluvia ácida*, un proceso químico complejo que se produce en la atmósfera y que puede acabar con la vegetación en amplias zonas.

Respetar y conservar la Naturaleza es en buena parte misión de los gobiernos de las naciones, pero todos podemos cooperar cuidando y respetando nuestro entorno y nuestro espacio vital.



Superficie de Mercurio, muy parecida a la de la Luna.

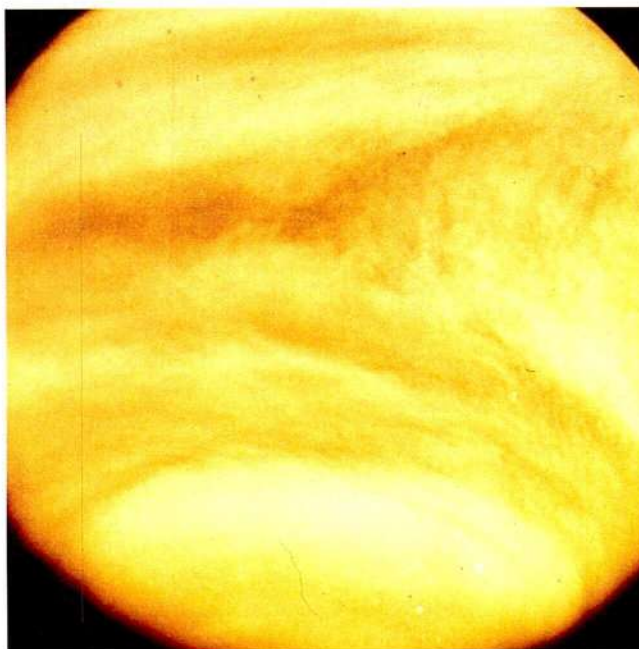
Se formó hace 4.500 millones de años, sufriendo entonces un fuerte bombardeo de meteoritos. Cuando parecía haber cesado, hace unos 3.900 millones de años, un cuerpo de gran tamaño impactó, formando una gigantesca depresión de 1.300 Km de diámetro, llamada *Fossa Caloris*, rodeada de formaciones circulares en forma de ondas. Incluso en las antípodas se aprecian grietas provocadas por las ondas sísmicas que produjo el impacto. Desde entonces no ha vuelto a haber ninguna actividad notable en el planeta. Quizá el acontecimiento más importante en los últimos 3.800 millones de años haya sido la llegada de un extraño turista, el *Mariner 10*, que ha merodeado por sus inmediaciones y se ha puesto a hacerle fotografías.

4.6.2 Venus

Es el planeta más espectacular visto a simple vista desde la Tierra. Es el lucero más luminoso del cielo, que se ve al amanecer o al atardecer, según esté a un lado o a otro del Sol. Por eso se le llama popularmente *estrella de la mañana*, *lucero vespertino*, etc.

Su brillo varía, ya que, al ser un planeta interior, tiene fases como la Luna. Cuando más cerca está de la Tierra, nos muestra su zona oscura, y cuando nos enseña la mayor parte de su cara iluminada es que está al otro lado del Sol, en su parte más alejada de nosotros. Una posición intermedia es la que nos ofrece más brillo.

Es el planeta más parecido a la Tierra en algunos aspectos: su diámetro, masa y densidad es sólo ligeramente inferior. Su año (tiempo que tarda en dar una vuelta al Sol) es 224 días. Es rocoso y tiene atmósfera. Sin embargo hay algunas diferencias que lo hacen terrible como posible lugar de asentamiento de los humanos. Por ejemplo, su atmósfera está compuesta en un 96% de anhídrido carbónico (CO_2), totalmente irrespirable para nosotros. El resto es nitrógeno, vapor de agua, anhídrido sulfuroso y otros gases muy poco apetecibles. Hay una densa capa de nubes entre los 50 y 70 Km de altura, que cubre todo el planeta. En ella hay tormentas eléctricas, fuertes huracanes y lluvia de ácido sulfúrico entre otras cosas.



Venus, con las nubes en forma de V.

Sin embargo, la superficie de Venus está libre de nubes, y los vientos no son fuertes, pero la presión registrada es de 100 atmósferas y la temperatura de 480°C , producida por un permanente efecto invernadero. Varios vehículos espaciales automáticos que han conseguido aterrizar han tenido una vida corta debido a estas condiciones realmente inhóspitas. La sonda Magallanes ha conseguido cartografiar la superficie desde las alturas, a base de señales de radar. El resultado es una superficie montañosa, con algunos volcanes desde donde se ha vertido lava, y ningún vestigio de materia líquida.

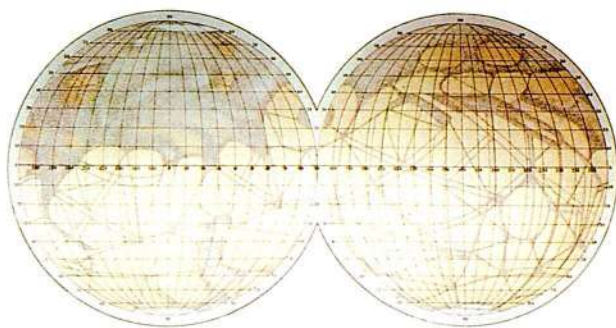
Venus gira sobre sí mismo en sentido contrario al de todos los demás planetas. Es como si hubiera volcado en algún momento de su vida. Es imposible que se formara al principio así, por lo que los científicos creen que debió recibir un fuerte impacto que lo tumbó.

La atmósfera gira más rápida en su ecuador que en los polos por un efecto llamado superrotación, por lo que las nubes muestran una apariencia de V en las fotos.

Desde luego, no parece el mejor sitio para irse de vacaciones. Sin embargo, hay planes, por ahora casi de ciencia ficción, que hablan de enviar a la atmósfera bacterias en suspensión para transformar el CO_2 de la atmósfera en oxígeno. Así la atmósfera se iría haciendo más respirable y sobre todo más transparente, por lo que el calor interior podría escapar y bajar la temperatura. Además habría que subsanar los *pequeños detalles* de la tremenda presión, del ácido sulfúrico..., pero en fin, hace años también era ciencia ficción que el hombre pisara la Luna.



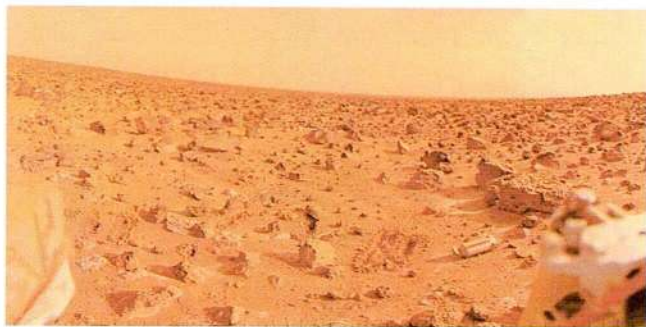
Superficie de Venus, según los datos enviados por la sonda Magallanes.



Mapa de Marte dibujado por Schiaparelli, con los famosos canales.

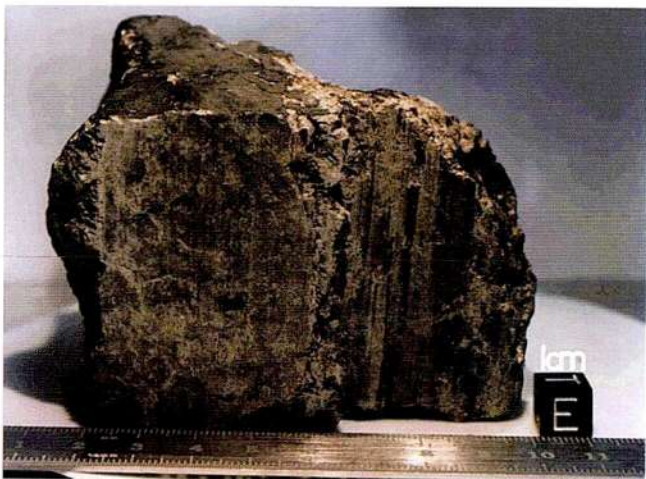
4.6.3 Marte

Para ciencia ficción nada comparable con Marte. ¿Quién no ha visto en el cine o leído una buena historia de marcianos? Su larga tradición en la imaginación humana empezó en 1877 en que el astrónomo italiano Schiaparelli descubrió en su superficie unas líneas oscuras que cruzaban el planeta y que denominó *canali*. En italiano no implica que sean fabricados artificialmente, pero al traducirlo a otras lenguas dio lugar a interpretaciones fantasiosas.



Superficie pedregosa de Marte desde el Viking.

Un americano, Percival Lowell, recogió la idea e hizo toda una teoría de supuestos marcianos que para sobrevivir habían hecho una red de gigantescas construcciones hidráulicas que transportaban agua desde los polos a los



Meteórito marciano AH84001, donde se han encontrado posibles fósiles de antiguos organismos similares a bacterias.

desiertos. Abundaron novelas sobre el tema, algunas con auténtica categoría literaria, como *La guerra de los mundos*, de H.G. Wells. Su versión radiofónica llegó a provocar el pánico en Nueva York. En 1938, con motivo de un acercamiento de las órbitas de Marte y la Tierra, en muchos sitios creyeron recibir mensajes radiofónicos de nuestros vecinos. Todavía después de la 2ª Guerra Mundial se observaba una sospechosa coincidencia entre las apariciones de ovnis y los máximos acercamientos de Marte.



Estos "gusanos" microscópicos podían ser antiquísimos fósiles de "micro-marcianos".

La realidad ha sido muy otra. Las sondas que han aterrizado en Marte nos han mostrado un mundo lleno de arena, como un gigantesco desierto, pero con cierta tonalidad rojiza. Por más que se ha analizado el suelo, no se ha encontrado ni el más leve vestigio de vida. Sin embargo, en un meteorito encontrado en la Antártida en 1984, y que nos llegó desde Marte hace miles de años, se han encontrado pequeñísimos fósiles que podían ser micro-bacterias que vivieron en Marte hace más de tres mil millones de años. Sólo saldremos de dudas cuando vayamos al planeta rojo y analicemos bien sus materiales.

Marte tiene un diámetro la mitad que el terrestre, una gravedad la tercera parte y una tenue atmósfera de CO₂ principalmente. En los polos se forman unos casquetes de hielo de agua y CO₂, que aumentan y disminuyen con las estaciones. Gira sobre su eje cada 24 horas, y su año es el



El Olympus Mons, de 700 Km de diámetro.

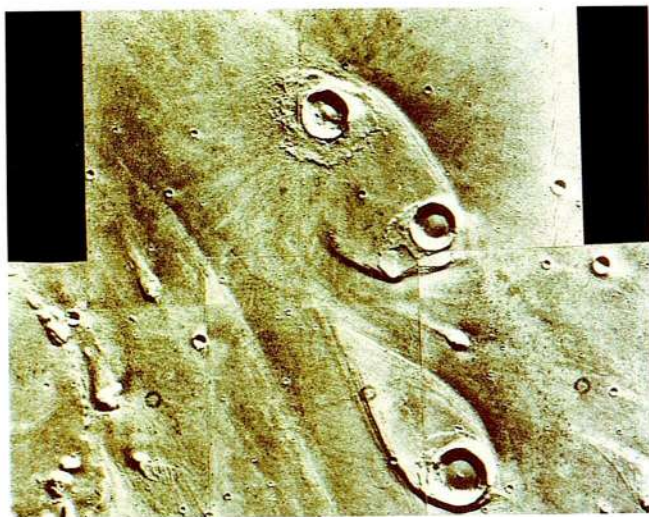


Valle Marineris. Tiene una longitud de 5.000 km.

doble que el nuestro. También hay fuertes tormentas de viento, que trasladan un polvo oscuro de una zona a otra, a veces rodeando todo el planeta. Esas cambiantes zonas oscuras son lo que formaban los *canales* y *cultivos* de Schiaparelli y Lowell.

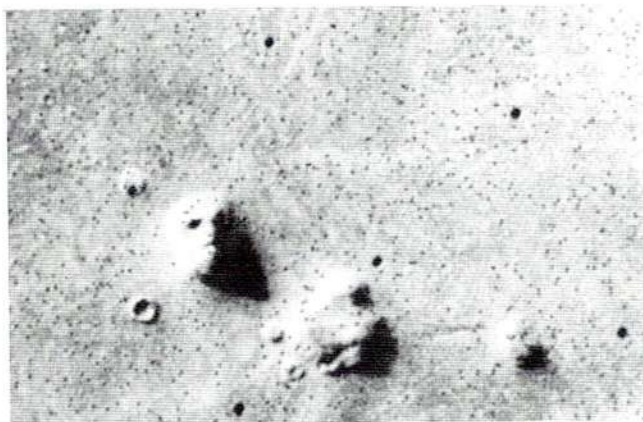
Esas tormentas de viento han erosionado los abundantes cráteres de impacto que con toda seguridad ha debido tener, suavizando sus formas como en la Tierra. Por tanto, hay pocos cráteres de impacto visibles. Sin embargo, sí abundan los cráteres volcánicos, como el *Olympus Mons*, de 27 Km de altura, ¡más de tres veces el Everest! Tiene nieves perpetuas de CO_2 . Su base mide 700 Km de diámetro y su cráter 34 Km de amplitud. Es difícil imaginarse esta inmensa mole vomitando fuego y lava en su época de actividad.

También existe una gigantesca cicatriz, el *Valle Marineris*. Es un cañón de 5.000 Km de longitud (como desde España a Moscú), 200 de anchura y seis o siete de profundidad. No se sabe si se formó por un hundimiento tectónico, por un meteorito que rozó Marte o por efecto de la ero-



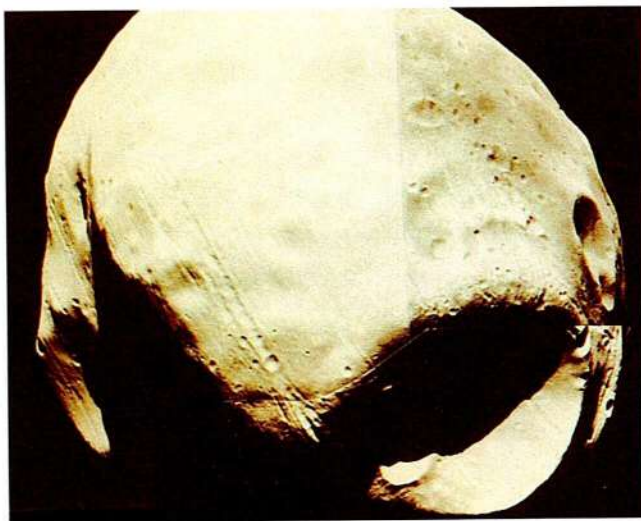
Huellas de que en el pasado hubo agua en Marte.

sión del agua. De hecho hay muchas huellas de corrientes de agua, lechos de ríos ahora secos que serpentean por aquí y por allá y que se juntan con afluentes. ¿Qué pasó con toda esa agua? La opinión mayoritaria es que una parte fue a los casquetes polares y otra reposa en el subsuelo en forma de hielo. Quizás en el futuro se pueda extraer para regar aquellos desiertos. Una pequeña parte está en la atmósfera, y a veces aparece una ligera escarcha en el suelo, al amanecer. Gracias a esa atmósfera, la temperatura oscila sólo entre -120° y algunos grados sobre cero.



Marsface: montaña en Marte con forma de cara. Algunos han querido mostrarla como vestigio de una antigua civilización marciana.

Como se ve, Marte no es tan agresivo como los demás planetas. Además contiene abundante oxígeno, no en la atmósfera sino en el suelo, en forma de óxidos que dan al planeta su característico tono pardo-rojizo. Una vegetación adecuada podría devolverlo a la atmósfera, lo que aumentaría también su presión.



Fobos, uno de las dos lunas de Marte. El cráter visible tiene unos 10 km de diámetro.

Marte es, sin duda, el planeta más amigable. Hacia él se dirigen los únicos proyectos de viajes interplanetarios tripulados que se estudian en las agencias espaciales. La duración sería de un año de ida y otro de vuelta, y su costo muy elevado, pero el hombre, para progresar, necesita metas difíciles.

Marte tiene dos pequeñas lunas: Fobos y Deimos (esos nombres significan en griego Pánico y Terror). La primera tiene 27 Km de longitud con un cráter de 10 Km, y la segunda 15. Son como dos grandes rocas que giran muy cerca de Marte. Fobos va a 9.000 Km de altura (a esa distancia van algunos de nuestros aviones) y Deimos a 23.000. Este último gira sobre Marte cada 30 horas, casi a la vez que Marte gira sobre sí mismo. El resultado es que se desplaza muy lentamente en el cielo marciano. Fobos tarda sólo 7 horas, por lo que va más rápido que Marte y desde allí se le ve salir por el Oeste y ponerse por el Este. En ambos casos, al ser tan pequeños aparecen como pequeñas estrellas.

4.6.4 Júpiter

Es el planeta gigante. Es más voluminoso que todos los demás juntos. Sin embargo, como está formado fundamentalmente por gases, su densidad es poco mayor que la del agua: 1.3 gr/cm^3 .

Visto desde la Tierra, sólo le gana en brillo Venus. Al contrario que éste, su luminosidad es bastante constante al no tener fases. Aparte de por su brillo, se le distingue de las estrellas cercanas porque su luz no parpadea, como les ocurre a todos los planetas, ya que la luz procede de un disco, pequeño a simple vista, pero mayor que la fuente puntual que son todas las estrellas.

A través de pequeños telescopios, su disco aparece surcado por unas líneas horizontales. Son nubes que, debido a la rápida rotación de Júpiter (10 horas), se disponen paralelamente, girando cada una a velocidad ligeramente distinta que las vecinas. Las franjas claras se llaman *zonas*, y las oscuras *bandas*. En las partes de contacto entre ellas se producen remolinos, como la *Gran Mancha Roja*, gigantesca tormenta tres veces más grande que la Tierra. Con pequeños telescopios es fácil distinguirla y poder así medir el período de rotación del planeta.

Júpiter tiene un núcleo rocoso de masa entre 10 ó 20 veces la terrestre. Sin embargo sólo es el 4% del total de su masa. El resto son gases similares a los del Sol: hidrógeno



Gran mancha roja, similar a las tormentas terrestres, pero de un tamaño superior a tres veces nuestro planeta.

(90%), helio como el de los globos (5%), metano como el gas natural de cocina (1%), amoníaco como en los productos de limpieza, etc. Eso nos hace pensar que la composición de la nebulosa primitiva de la que se formó todo el Sistema Solar debía ser bastante uniforme. La excepción somos los planetas rocosos cercanos al Sol, cuyos gases debieron ser barridos por el intenso viento solar.

Esos gases tienen una temperatura superficial de -150° , muy baja, pero más alta que los -200° que debería tener si sólo llegase allí el calor que proporciona el ya lejano Sol. Al principio se pensó que Júpiter podría ser una especie de estrella que, aunque no brillaba con luz propia, sí conseguía generar cierto calor en su interior. Sin embargo, los científicos actuales se inclinan por pensar que Júpiter es tan grande que después de 4.000 millones de años, aún no se ha terminado de enfriar y conserva parte del calor primitivo. De hecho, a 1.000 Km de profundidad reina una temperatura de 2.000° , bajo una presión de 5.600 atmósferas. A 3.000 Km, la temperatura debe ser 5.500° , a una presión de 90.000 atmósferas. Y a 25.000 Km (sólo hemos profundizado 1/3 del radio joviano) la temperatura debe ser 10.000° y la presión tres millones de atmósferas. En esas condiciones el hidrógeno se hace líquido, y adquiere una conductividad eléctrica propia de los metales. Se explica que esta propiedad, unida a la rápida rotación de Júpiter, generen un potente efecto dinamo, que depara al planeta un intenso campo magnético. Esa magnetosfera parece ser la causante de las ondas de radio que emite, y que pueden ser oídas desde la Tierra hasta con aparatos domésticos (ver actividad 2 de la unidad 3).

Otro detalle famoso de Júpiter son sus satélites, descubiertos por Galileo en 1610. Entonces vio los cuatro mayores: Io, Europa, Ganímedes y Calisto, de tamaños iguales o mayores que nuestra Luna. Después se han descubierto más, pero que apenas llegan a 100 Km de diámetro.

Esos satélites han prestado grandes servicios a la humanidad. Además de confirmar la teoría de Copérnico de que la Tierra no estaba en el centro del cosmos, han servido para fijar con exactitud los meridianos terrestres. Para esta precisa labor es necesario conocer la distancia angu-



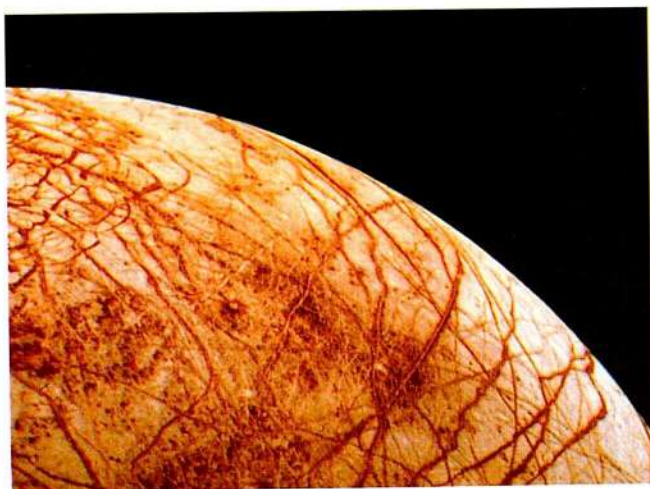
Júpiter, compuesto fundamentalmente de gas. Por delante pasa Io.

lar entre dos lugares, lo que se consigue observando un mismo suceso (la ocultación de una luna por Júpiter, por ejemplo) desde los dos puntos. Otro servicio que prestó fue la medida de la velocidad de la luz. En 1675, Olaf Römer calculó con gran precisión las efemérides de los satélites de Júpiter. Pero observó que cuando la Tierra, en su órbita alrededor del Sol, se acercaba al gran planeta, esos sucesos se adelantaban, y cuando nos alejábamos de él, se retrasaban. En general, cuando estamos lo más cerca posible de Júpiter (628 millones de Km), los eclipses y tránsitos de los satélites jovianos se producen 16'5 minutos (1.000 segundos aproximadamente) más temprano que cuando nos alejamos a la mayor distancia posible (928 millones de Km). El fenómeno sólo podría explicarse porque la luz tardara 16'5 minutos en recorrer esos 300 millones de Km de diferencia, lo que implica una velocidad de la luz de 300.000 Km/s, más o menos el valor admitido hoy.



Io, con un volcán activo en el borde.

Io es el satélite más cercano a Júpiter. Aunque es rocoso, la gravedad del planeta lo deforma continuamente y hace que salga a su superficie material interior a través de múltiples volcanes, muchos de los cuales están activos actualmente. El Voyager ha fotografiado a 8 en erupción. Aunque ha sufrido impactos de meteoritos, no quedan ni rastro de sus señales, tapados por la lava que con frecuen-



Europa, satélite de Júpiter con una superficie de hielo quebrado.

cia corre por la superficie. Por esos volcanes se está expulsando constantemente gases y polvo de materiales sulfurados que dan un fuerte color anaranjado al satélite. También deben ser los causantes de unos finísimos anillos que orbitan Júpiter más cerca que Io.

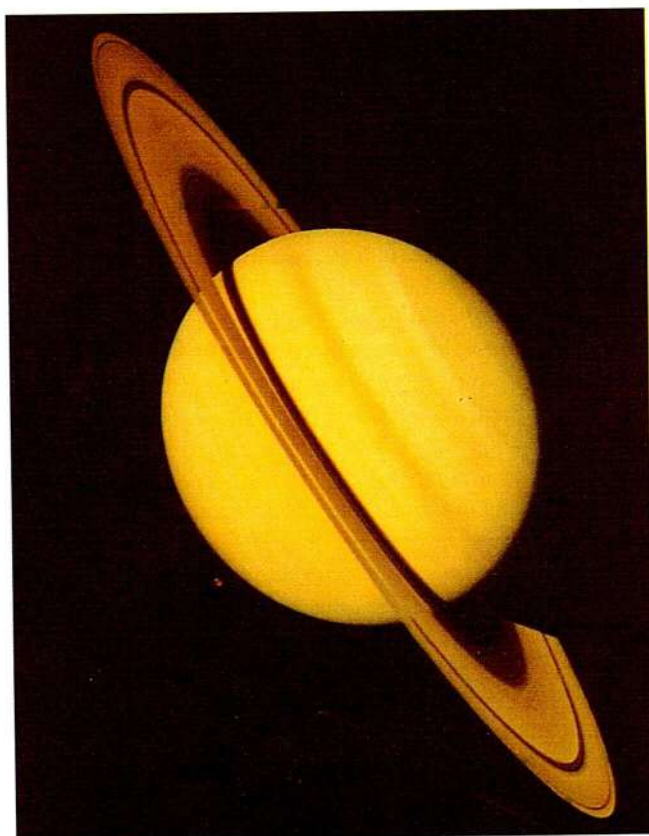
Europa es un mundo cubierto por una capa de hielo entre rosado y marrón, cuarteado por muchas grietas. También muestra señales de algunos impactos, parcialmente cubiertos por ese hielo, mezcla de polvo y agua. Tiene una ligerísima atmósfera, con algunos trazas de oxígeno. Esa presencia de agua helada y oxígeno, aunque en condiciones tan distintas a las de la Tierra, son las que le han hecho protagonista de más de una novela de ciencia ficción (por ejemplo, *2001, una odisea en el espacio*).

También hay hielo en **Ganímedes**, aunque no cubre toda la superficie como en Europa, sino que hay grandes vetas oscuras de rocas basálticas. Su superficie aparece llena de ramas y nervios, muchos de ellos debidos a contracciones y expansiones de la capa externa.

Calisto, sin embargo, es muy parecido a nuestra Luna o a Mercurio, aunque ofrece una extraña homogeneidad en sus cráteres, debido a lo que pudo ser una lluvia de cuerpos de tamaños similares hace 3.000 millones de años.

4.6.5 Saturno

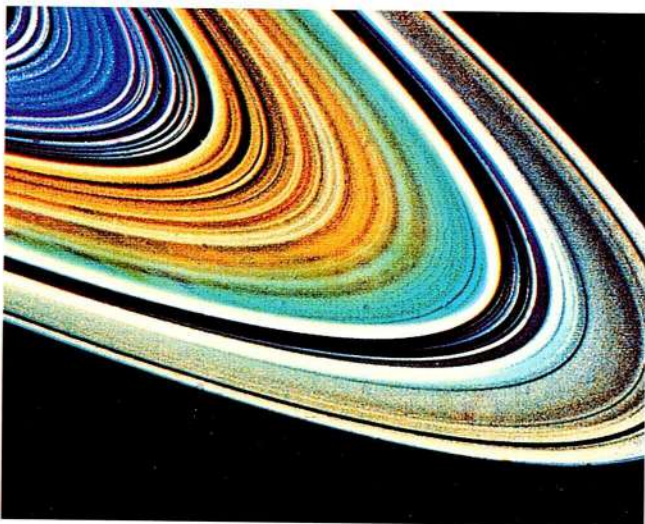
El siguiente planeta es Saturno, casi al doble de distancia del Sol que Júpiter. Su tamaño es un poco inferior que él, más achatado por los polos, y sobre todo menos denso: 0'7 gr/cm³, la más baja de todo el Sistema Solar. Significa que su materia flotaría en el agua.



Saturno, con sus anillos.

A simple vista gana en luminosidad a la mayoría de las estrellas (tiene magnitud 0), con una tonalidad amarilla. Se mueve por el cielo muy lentamente, y sólo al cabo de 30 años —lo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol— volvemos a verle en la misma posición respecto a las estrellas del fondo. Los hindúes le llamaban *el dios que se mueve lentamente*.

Observando con pequeños telescopios, se le distinguen claramente los anillos, tan brillantes como su disco. Como el eje de rotación está inclinado 27° , la elipse que forman se ve a veces bastante de frente, y a veces desaparece de nuestra visión al ponerse de canto cada 15 años. Esto ocurrió en 1995. Por el contrario, en el 2003 se verán con el mayor ancho posible.



Detalle de los anillos.

Galileo, el primero que los vio con su primitivo telescopio, pensó que dos planetas flanqueaban a Saturno a izquierda y derecha. Más tarde se creyó ver un planeta con dos asas, o incluso un huso con dos agujeros. Fue Huygens en 1659 quien los identificó con anillos que giraban alrededor del planeta. Posteriormente Cassini descubrió la división que lleva su nombre, aproximadamente en el centro. En el siglo XIX Enke descubrió otra división más fina. La sonda Voyager nos ha mostrado que realmente hay una multitud de anillos finos, que orbitan cada uno a una velocidad distinta: más rápidos los interiores y más lentos los exteriores. Están formados por partículas de hielo o de rocas que miden desde milímetros a pocos metros, separados entre sí también sólo algunos metros. Parece que su origen es un satélite que nunca llegó a formarse. La banda que forman los anillos tiene una anchura de 70.000 Km. El espesor sin embargo no pasa de 20 Km. Para hacernos una idea, si suponemos que los anillos son del espesor de una hoja de papel, su diámetro sería como de Madrid a Moscú, y su anchura como de Madrid a Alemania.

El globo de Saturno es también fundamentalmente gaseoso, con un 94% de hidrógeno, un 6% de helio y sólo trazas de oxígeno y amoníaco. La superficie es mucho más uniforme que en Júpiter, aunque se distinguen también algunos óvalos similares a la Gran Mancha Roja joviana. Se han detectado vientos mucho más fuertes que en Júpiter,

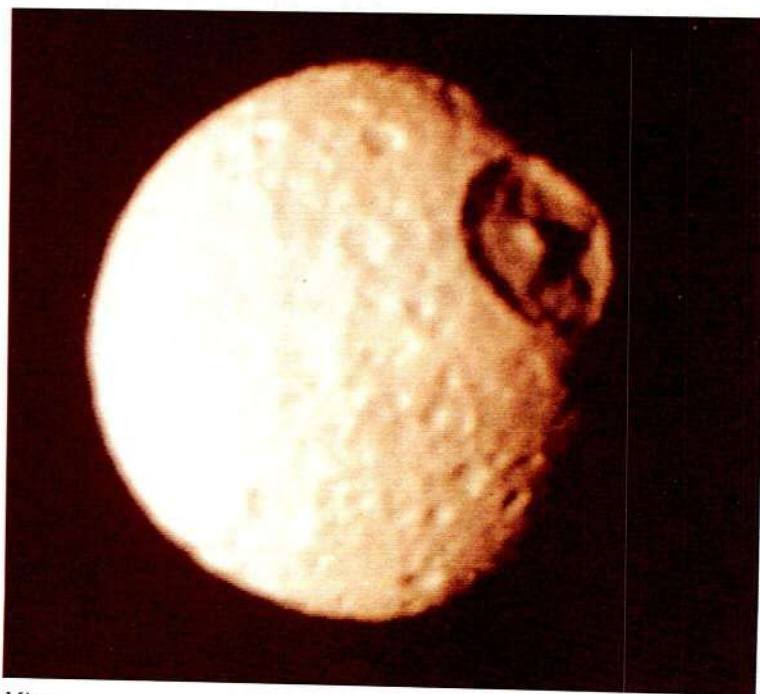


Los anillos están formados por pequeñas rocas

ter, del orden de 2.500 Km/h, que a veces forman manchas luminosas que ocupan gran parte de la superficie, especialmente en su ecuador.

Al igual que en Júpiter, Saturno emite más energía que recibe del Sol, es decir, tiene alguna fuente de calor interna. En este caso no parece que sea el calor inicial aún no enfriado, como ocurría en Júpiter, ya que tiene bastante menos masa y densidad, y se debería haber enfriado hace 2.000 millones de años. La explicación más verosímil para los científicos actuales es un proceso de precipitación del helio de las capas externas hacia el interior, en forma de lluvia fina, que generaría calor y una disminución del helio en las capas exteriores, cosa que ocurre comparando Saturno con Júpiter.

Saturno tiene más satélites que ningún otro planeta: más de veinte. La mayoría son pequeños. **Titán**, sin embargo, tiene 5.000 Km de diámetro, casi la mitad que la Tierra, y posee una atmósfera más densa que la terrestre, formada por nitrógeno en un 97% y el resto por hidrocarburos como metano. La superficie no resulta visible, pero parece que contiene un gigantesco océano de metano, en medio de temperaturas que no suben de 180° bajo cero.



Mimas.

Hay otros cuatro satélites de tamaños entre 1.000 y 1.500 Km de diámetro, que presentan formas parecidas: superficies heladas, con algunos cráteres. **Japeto** tiene además una "cara sucia", un casquete manchado de hollín en su parte delantera, según avanza en su órbita: parece que va barriendo restos de polvo desprendido de algún otro cuerpo. **Tetis**, **Dione** y **Rhea** tienen algunas fallas en la superficie, producidas por deformaciones de la capa externa. **Mimas** es más pequeño, de 400 Km de diámetro, pero presenta un cráter de 150 Km de longitud, con un perfecto saliente en su centro que lo hace inconfundible.

4.6.6 Urano

Con una magnitud de 5'5, apenas es visible a simple vista. Por eso no fue descubierto hasta 1781 por *William Herschel*. A través del telescopio presenta un ligero color verdoso, y tarda 84 años en dar una vuelta alrededor del Sol. Si el hombre viviera en Urano, pocos llegarían a cumplir un año de edad.

Su diámetro es la mitad que el de Saturno. Pero su peculiaridad más notable es que su eje de giro está tumbado 98°, es decir, coincide casi con el plano de su órbita en lugar de ser perpendicular a él, como es lo normal en el resto de los planetas. ¿Fue provocado por un impacto o por una anomalía dinámica interna? Hay versiones para todos los gustos, pero sea lo que fuere, debió ocurrir muy tempranamente, porque sus satélites le imitan y giran alrededor de su ecuador, es decir, en planos perpendiculares al plano del Sistema Solar. El campo magnético, sin embargo, se quedó a medio camino en el vuelco, y forma un extraño ángulo de 45° con el eje de rotación.

Las fotografías enviadas por el *Voyager 2* nos dan un mundo con muy pocos detalles. Gira con un período de unas 16 horas —ya se ve que los planetas gaseosos giran más rápidos que los rocosos—, y está formado por los gases que ya hemos visto en los otros planetas: hidrógeno en su mayoría, helio, amoníaco, metano, etc. Precisamente es el metano el que, al absorber la luz roja, da el color verdoso al planeta. En su interior debe haber un núcleo rocoso y quizá un manto de hielo acuoso.

El 10 de marzo de 1977 Urano, en su desplazamiento

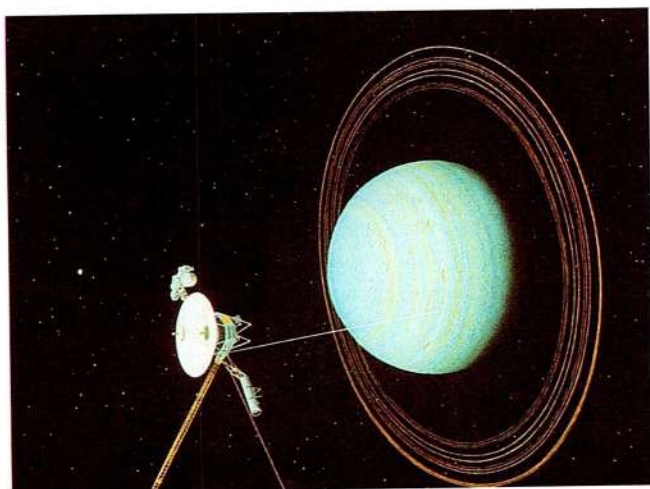


Miranda, con su extraña superficie.

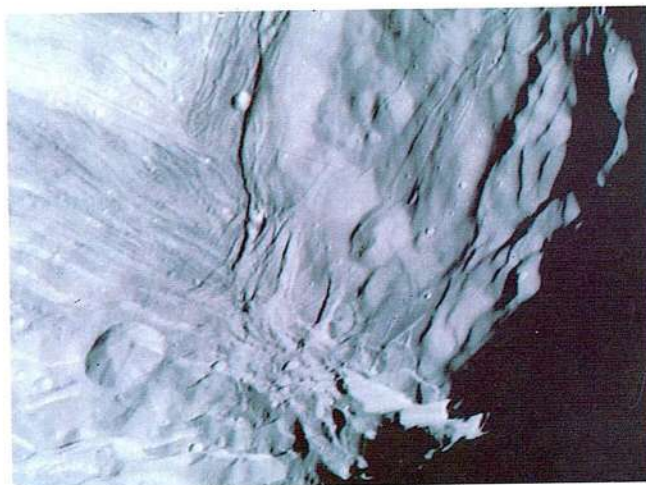
por el cielo, ocultó una estrella de 9ª magnitud. Varios astrónomos siguieron el fenómeno y observaron que antes de que se produjera el fenómeno, la estrella se debilitó en rápidas oscilaciones. Lo mismo ocurrió inmediatamente después del eclipse. El hecho sólo podía explicarse porque Urano estuviera rodeado por unos anillos, invisibles desde la Tierra por su pequeño espesor.

En efecto, el vuelo del *Voyager 2* en 1986 confirmó este punto, fotografiando hasta 10 anillos de unos cuantos Km de espesor cada uno, formados por materiales tan oscuros como el carbón. Su estrechez y aislamiento entre unos y otros son producidos por pequeños satélites *pastores*, que los mantienen en órbitas cercanas a las suyas por efectos gravitatorios.

Urano tiene cinco satélites de cierta importancia, y muchos otros muy pequeños. Son bastante oscuros, porque están recubiertos de hielo sucio. **Óberon** tiene una superficie bastante craterizada. **Ariel** y **Titania**, con menos cráteres, presentan grandes grietas y ranuras provocadas por hundimientos y dilataciones. **Umbriel** es un astro muy



El Voyager, acercándose a Urano.



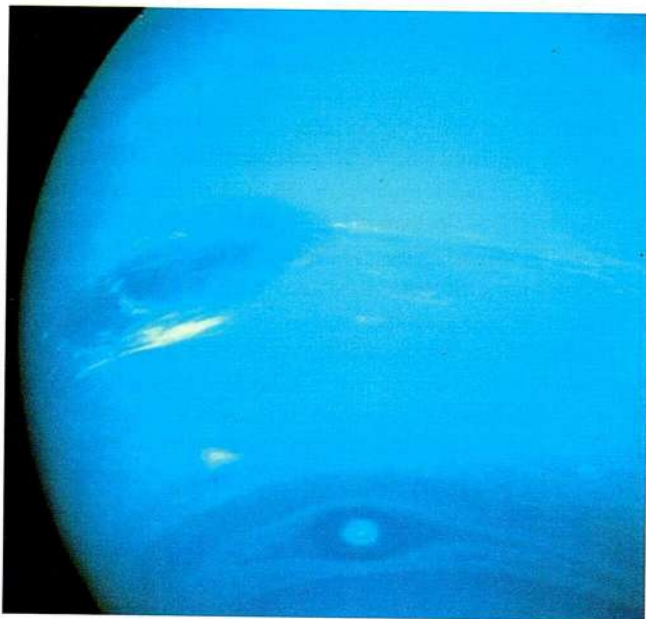
Acantilados de 15 Km de altura, en Miranda.

oscuro, con pocos detalles excepto un gran cráter. La mayor sorpresa la trajo el pequeño **Miranda**, con una superficie variadísima. Parece una bola de barro alisada por unas gigantescas manos. Los diferentes *parches* parecen provenir de varias fases en las que se ha roto y se ha vuelto a amalgamar, aunque no es fácil imaginar qué fuerzas han podido distorsionar así un planeta tan pequeño.

4.6.7 Neptuno

Es de un tamaño similar a Urano, pero está mucho más alejado de nosotros que él. Tarda 165 años en completar su órbita, y gira sobre su eje en algo menos que un día terrestre.

Desde la Tierra apenas aparece como un débil disco, sin que podamos distinguir detalles en su superficie. El *Voyager 2* lo visitó en 1989, y nos envió unas fotografías de un planeta gaseoso de un precioso color azul. En las partes más elevadas de su atmósfera se distinguen algunos jirones de nubes blancas, que proyectan su sombra 50 Km más abajo. También es claramente visible una gran mancha oscura, similar a la Gran Mancha Roja de Júpiter. Con la tenue iluminación que proporciona el distante Sol, también se observan algunas bandas horizontales en su superficie.



Neptuno, con su mancha oscura.

La composición de los gases de Neptuno es similar a sus compañeros: mayoría de hidrógeno, algo de helio y trazas de otros compuestos. En éstos últimos destaca el metano, que al absorber la luz roja le da el aspecto azulado que tiene. También tiene un núcleo rocoso.

Tiene dos satélites: **Tritón** y **Nereida**. El primero es del tamaño de nuestra Luna, y posee una superficie craterizada, atravesada por grietas que cuarteán la superficie. Tiene también una ligera atmósfera de nitrógeno.

Algo que sorprendió a los científicos de la NASA cuando vieron las fotografías que envió el *Voyager* de **Tritón** fueron penachos de material oscuro que en algún momen-



Tritón, visto desde el Voyager 2.

to salieron de algunos volcanes. A la fría temperatura de -235° que reina en la superficie, ¿qué podría estar líquido? Desde luego rocas en forma de lava no. Parece que pudo ser nitrógeno, calentado por emisiones radiactivas en el subsuelo. Así serían los volcanes más fríos que se conocen: de nitrógeno líquido, que rompe el nitrógeno sólido de la corteza y forma nubes de nitrógeno gaseoso en la atmósfera.

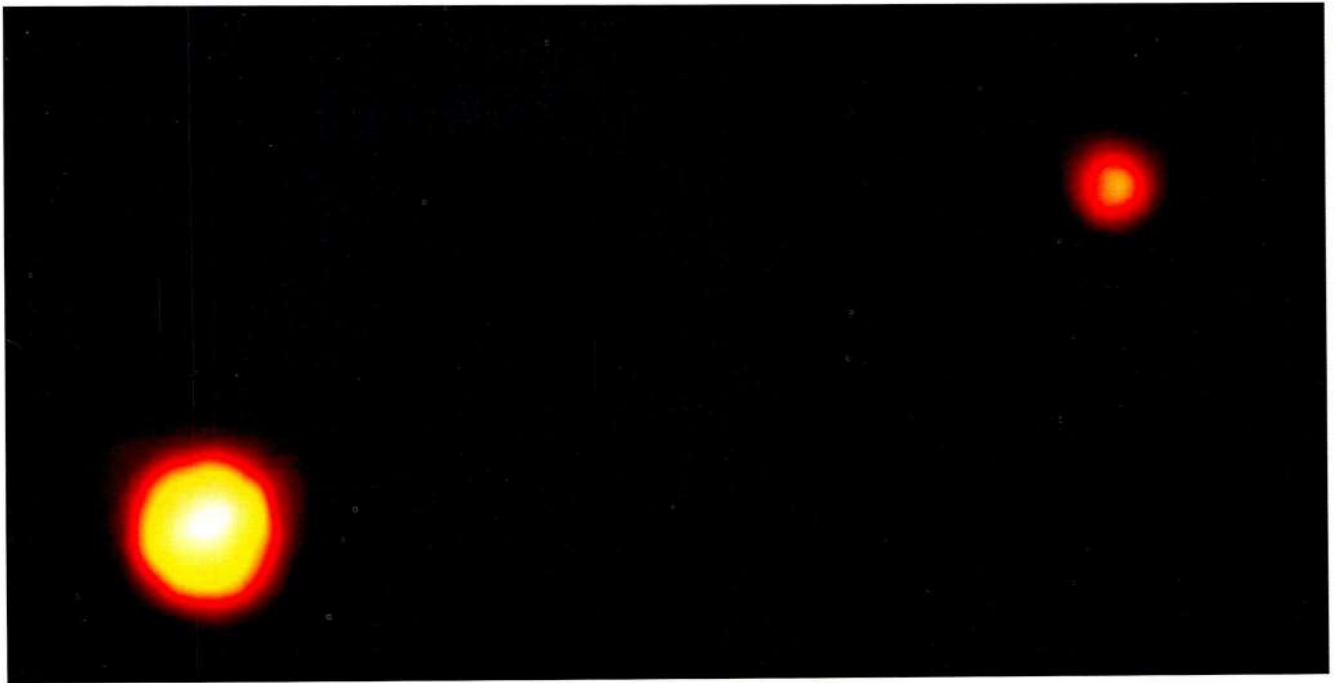
Tritón gira en sentido retrógrado respecto de Neptuno, y a una distancia similar a la Luna de nosotros. La razón de ese sentido de su movimiento es desconocida, pero provoca que el efecto marea vaya frenándolo lentamente, y acabará por caer hacia Neptuno, rompiéndose en millones de pedazos y formando un gigantesco anillo alrededor de Neptuno. Cálculos por ordenador estiman este suceso dentro de 1.000 millones de años. Es una lástima, pero parece que nos perderemos este espectacular fin de **Tritón**.

El otro satélite es **Nereida**, de 340 Km de diámetro. Gira en el sentido normal, pero en un plano inclinado 27° sobre el ecuador, cosa absolutamente inusual en el Sistema Solar. Además su órbita es muy alargada, variando su distancia a Neptuno entre 1'4 y 9'7 millones de Km. Todo parece indicar que es un cuerpo que llegó a las inmediaciones del Sistema Solar y fue capturado por Neptuno.

4.6.8 Plutón

Es el planeta ordinariamente más alejado del Sol. Durante la décima parte de su órbita está más cerca que Neptuno, concretamente en el período 1979 - 1998. El resto, hasta los 248 años que tarda su giro, está algo más lejos. Además su órbita está inclinada 17° respecto al plano del resto del Sistema Solar y tiene una fuerte excentricidad. Probablemente ha sido una captura externa de la gravedad solar la que le ha agregado a nuestro sistema.

Fue descubierto en 1931, basándose en pequeñas desviaciones que sufría Neptuno en su órbita, que hacían predecir un cuerpo en sus cercanías. Se encontró, pero no con las características que se pensaba. De hecho, aún se busca



Plutón y Caronte, fotografiados por el HST.

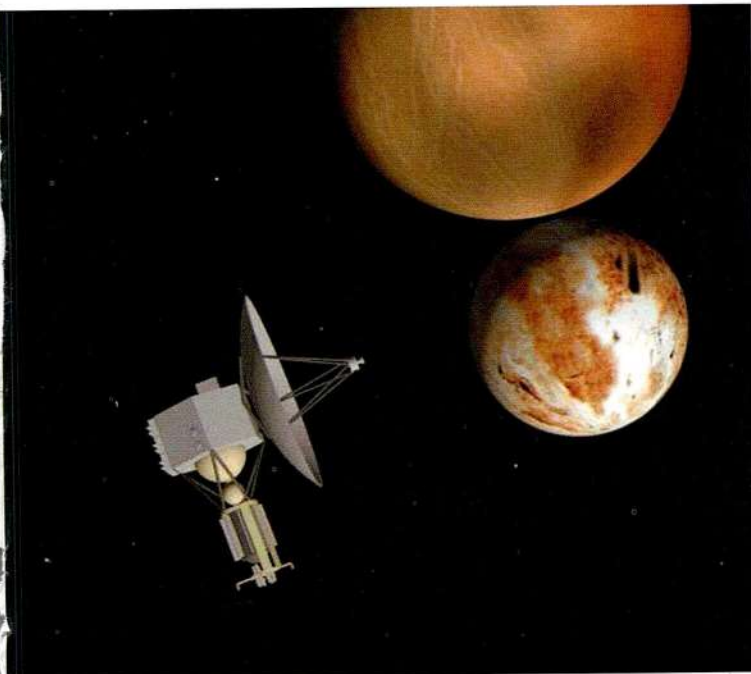
un décimo componente del Sistema Solar, el planeta X, más allá de Plutón.

Es el único planeta que no ha sido visitado por alguna sonda espacial. Como es el más alejado y pequeño, los datos que tenemos de él no son muchos. Sabemos que es sólido, quizá de hielo, de 2.300 Km de diámetro y con una fina atmósfera de metano. Tiene a 24.000 Km de distancia un satélite llamado **Caronte**, de 1.200 Km de diámetro, es decir, la mitad que Plutón, que gira perpendicularmente a su órbita alrededor del Sol. Giran los dos cada 6 días, mostrándose siempre la misma cara, en una eterna danza de enamorados congelados.

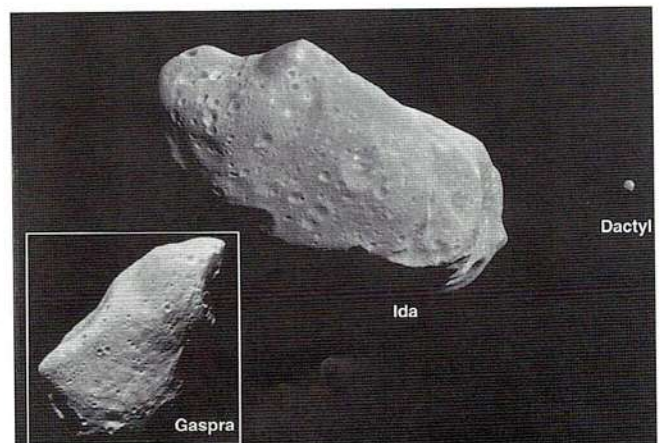
4.7. Asteroides y cometas

Entre las órbitas de Marte y Júpiter, justo a la distancia que predice la ley de Bode, encontramos un enjambre de pequeñas trozos rocosos llamados asteroides. El más grande de todos, **Ceres**, de 800 Km, fue descubierto el primer día del S. XIX, el 1 de enero de 1801, en Sicilia. Por eso recibió el nombre de la diosa de la isla. En los años siguientes se fueron descubriendo más: **Palas**, **Juno**, **Vesta**, etc. Hoy se conocen miles, y en Estados Unidos hay una oficina especial para registrar estos nuevos descubrimientos. Probablemente haya cerca de un millón con diámetros mayores de 1 Km. Sin embargo, reuniendo la masa de todos, no abultarían más que la centésima parte de la Luna. O allí la nube que formó los planetas tenía muy poca masa, o lo que es más probable, algo dispersó aquella zona, dejando sólo una parte.

Reina un cierto caos en ese cinturón de asteroides. Aunque la mayoría gira entre los 350 y 450 millones de



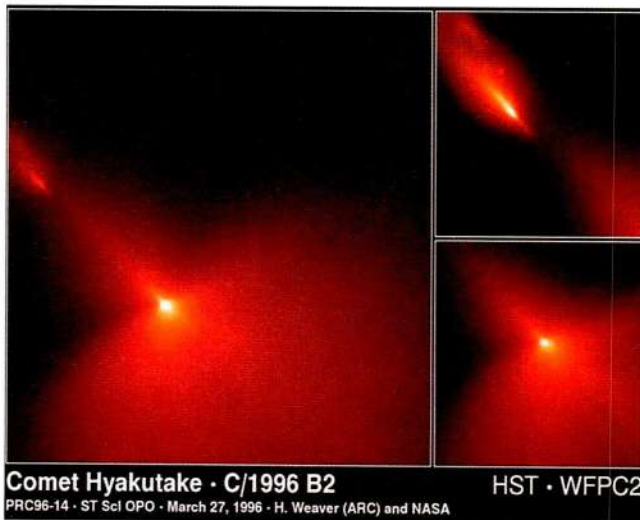
Dibujo de Plutón (al fondo) y su luna Caronte (en primer plano), con la proyectada sonda "Plutón-Express".



Asteroide Ida, de 56 km de diámetro, con su pequeño satélite Dactyl, de 1'5 km, a 100 km.



Cometa Halley.



Cometa Hyakutake, que pasó en 1996 a 15 millones de Km de la Tierra, fotografiado por el HST.

Km del Sol, hay muchas excepciones. Algunos se acercan al Sol más que Mercurio, y otros van más allá de Saturno. No han faltado los que han pasado cerca de la Tierra, como **Hermes**, que en 1937 pasó a sólo 600.000 Km de la Tierra, poco más lejos que la Luna, u otro pequeño, descubierto en 1984, que un año antes pasó a pocos miles de Km de la Tierra sin que nadie se diese cuenta, y que volverá casi a rozarnos el año 2040.

También hay un buen montón con órbitas fuera del plano del Sistema Solar, y los que tienen órbitas circulares son la excepción. Los hay que están formados por elementos metálicos, especialmente hierro y níquel. Otros están compuestos de silicatos, como Marte, de colores rojizos. Pero la mayoría son oscuros, con predo-



Comet Hale-Bopp

PRC95-41 · ST ScI OPO · October 5, 1995 · H. Weaver (ARC), P. Feldman (JHU), NASA

HST · WFPC2

Cometa Hale-Bopp, cuando aún estaba más allá de Marte.

minio de componentes carbonáceos. Una teoría dice que en los orígenes del Sistema Solar se empezó a formar un planeta, con núcleo metálico y corteza rocosa. Pero llegó un momento en que Júpiter, también en formación, adquirió tal masa que su gravedad empezó a interferir en su compañero, que acabó rompiéndose en miles de pedazos, interrumpiéndose la formación de ese planeta incipiente.

Otros cuerpos distintos, más pequeños pero mucho más espectaculares, son los **cometas**. Son pequeñas rocas, de pocos Km e incluso de metros, formados por cristales de hielo acuoso, hielo de metano y hielo de amoníaco. Parece que *vegetan* en la *nube de Oort*, mucho más allá de Plutón, donde el viento solar queda compensado con la leve radiación del resto del Universo. Según algunas teorías, allí ha ido a parar todo lo que el viento solar ha ido barriendo desde que se formó el Sol. Cuando algún cuerpo vagabundo pasa cerca, remueve esa nube y algunos caen hacia el Sol. En general, la órbita de caída resultante debe ser parabólica, siendo catapultado el cometa lejos del Sistema Solar. Pero si en su acercamiento es afectado por la gravedad de Júpiter o del resto de planetas, puede llegar a cerrarse en una elipse, convirtiéndose en un cometa periódico. Por ejemplo, el *Halley* nos visita cada 76 años, la última vez en 1986.

Según se va acercando al Sol, el viento solar convierte el hielo de la superficie del cometa en gas, que es arrastrado en dirección opuesta al Sol formando la cola del cometa, que se despliega en millones de Km. Hubo uno en 1843 cuya cola, vista desde la Tierra, ocupaba la mitad de la bóveda celeste. Cuando pasa cerca del Sol es cuando mayor es esa cola, pero también es cuando peor se ve desde la Tierra. Cuando traspasa ese punto, el cometa se va alejando, siempre con la cola opuesta al Sol, es decir, en ese caso, por delante de su avance.

Esa cola es por tanto materia que va perdiendo el cometa. Por eso, cada vez que pasa cerca del Sol, el cometa pier-

de parte de su materia, y acaban *muriendo*. También sufren a veces impactos con pequeños cuerpos que encuentran a su paso. Por ejemplo, el *Halley* en 1993, ya muy lejos del Sol y apenas perceptible con los telescopios, sufrió un imprevisto aumento de brillo, probablemente debido a una colisión con algo. En su próxima aparición en el año 2062 veremos qué daños ha sufrido.

Un caso bien conocido de la muerte de un cometa es el de *Biela*, que se dividió en dos en la noche del 28 de diciembre de 1845 ante los ojos asombrados de los astrónomos, que no esperaban semejante inocentada. En la siguiente aparición, en 1852, seguían existiendo los dos cometas paralelos, pero con débil aspecto. No se le volvió a ver en los años 1859 y 1866: se había esfumado por completo. Pero el 27 de noviembre de 1872 la Tierra debía cruzar la órbita del *Biela* por un punto que, si el cometa existiera, estaría muy cerca de él: ¡un choque con lo inexistente! Y en el momento en que se verificó el presunto encuentro, se produjo una de las más maravillosas lluvias de estrellas fugaces que jamás se han visto. El *Biela* había quedado reducido a polvo, que ardía al entrar en la atmósfera en una fantástica *fiesta de despedida*.

La mayoría de las llamadas *lluvias de estrellas* provienen del cruce de la Tierra con lo que fue la órbita de algún cometa. Las más conocidas son las *Perseidas*, el 10 de agosto, con una frecuencia de unas 5 por minuto, las *Cuadrántidas*, el 3 de enero, con una frecuencia de unas 3 al minuto, y las *Acuáridas*, el 5 de mayo, con unas 2 al minuto.

Otro caso de muerte de cometa es el *Shoemaker-Levy 9*. En 1993 pasó cerca de Júpiter y su fuerza gravitatoria le dio tal empujón que lo partió en 20 pedazos. Su órbita se modificó de tal forma que en julio de 1994 se precipitó en su atmósfera a 200.000 Km por hora, con una energía mayor que miles de bombas atómicas. El seguimiento en directo de este suceso llenó las páginas de las revistas científicas y de muchos diarios de todo el mundo.

Comet P/Shoemaker-Levy 9 (1993e) • May 1994



Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

Cometa Shoemaker Levi - 9, que se rompió al pasar cerca de Júpiter y acabó precipitándose sobre él.

Actividades

1 Medición del diámetro de la Luna en un eclipse

Objetivo: Medir el diámetro de la Luna en un eclipse lunar.

Material: - Fotografía múltiple de un eclipse.
- Regla.

Procedimiento:

1. En un eclipse lunar, nuestro satélite recorre la sombra que produce la Tierra. Como el Sol está mucho más lejos que la Luna, los rayos solares son casi paralelos y se puede considerar que la sombra que arroja la Tierra es del mismo tamaño que ella misma. Si se superponen varias fotografías se puede comparar el tamaño de la Luna y la Tierra.



2. En la fotografía, mide el diámetro de la sombra terrestre y el de la Luna. Si el terrestre es de 12.750 Km, ¿cuánto es el de la Luna?

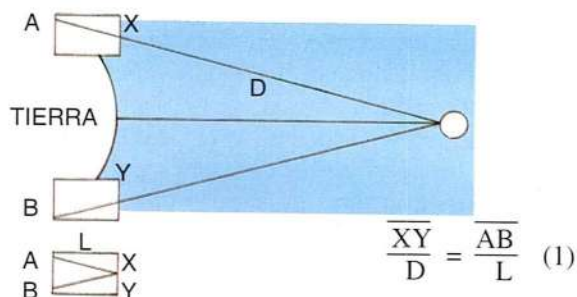
2 Cálculo de la distancia a la Luna por paralaje

Objetivo: Determinar la distancia Tierra-Luna por paralaje a partir de dos fotos de la Luna.

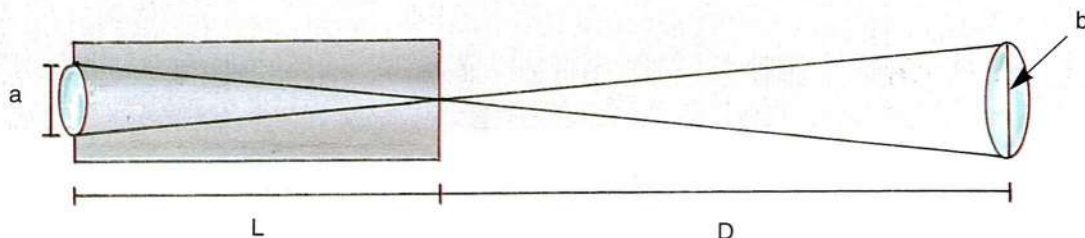
Material: - 2 fotografías.
- 1 hoja de papel semitransparente.
- Una regla.

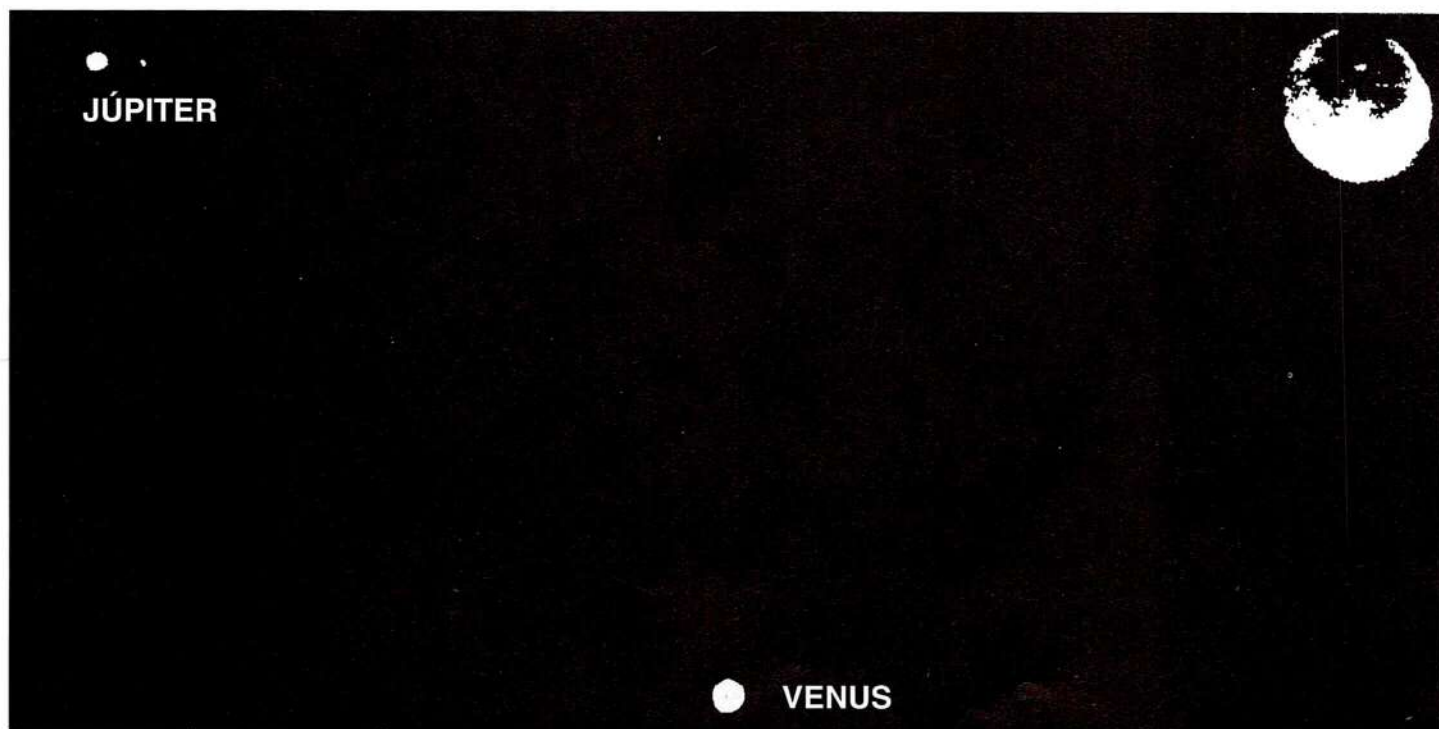
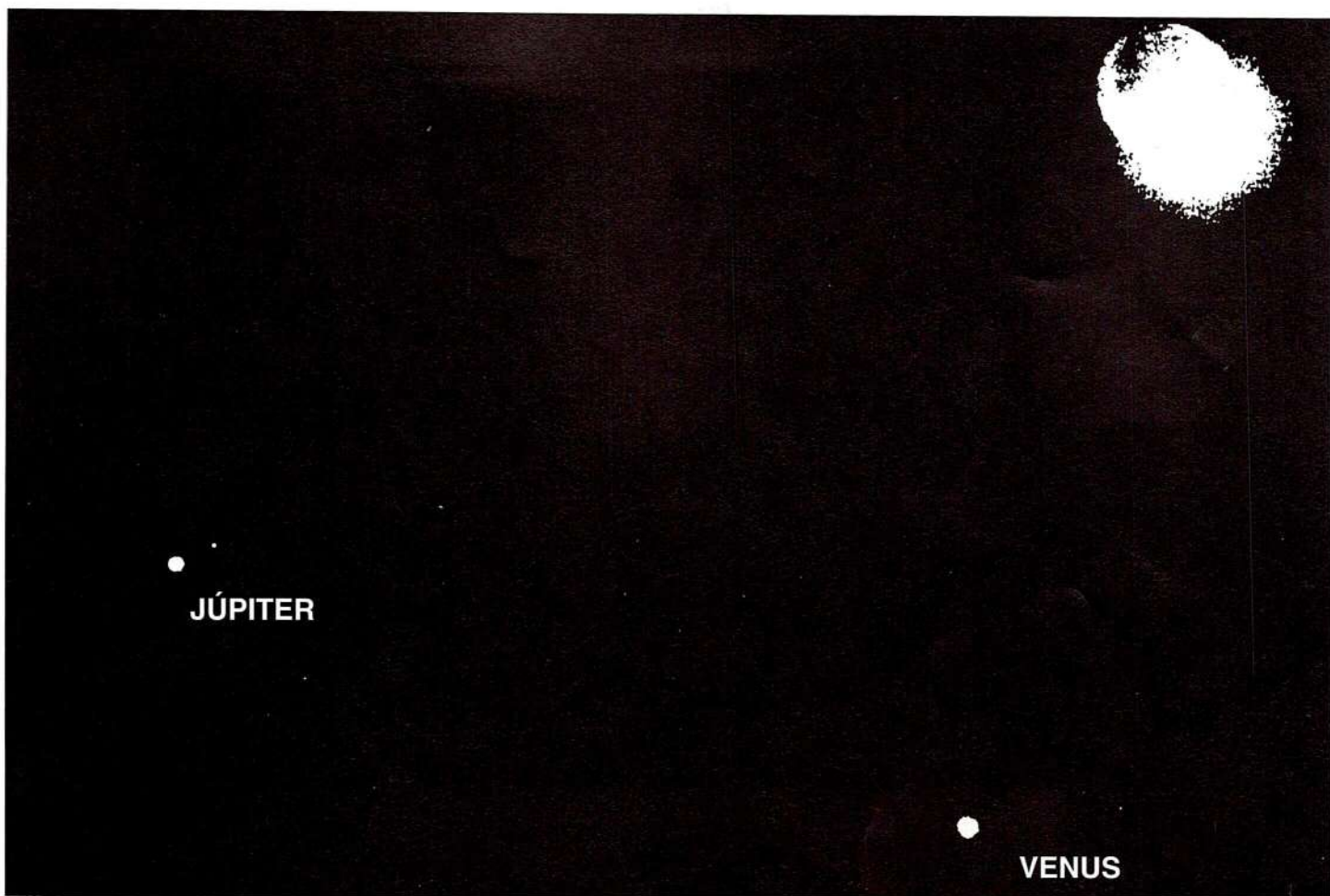
Procedimiento:

1. Si desde dos ciudades de la Tierra, suficientemente separadas, fotografiamos la Luna, ésta aparecerá ligeramente desplazada respecto a las estrellas del fondo.



2. Las dos fotos que tenemos aquí fueron tomadas a la misma hora, desde dos ciudades que distan 1.850 Km. La longitud focal de los telescopios era 210 cm, que es la longitud L de la fórmula (1).
3. Calca en un papel semitransparente la posición de Júpiter, Venus y la Luna en la primera fotografía. La Luna tiene un halo en la parte inferior por estar sobreexpuesta: dibuja sólo la parte superior del contorno de la Luna, que se distingue bien.
4. Lleva ese papel a la otra fotografía y haz coincidir Júpiter y Venus. Calca la nueva posición de la Luna. Mide el desplazamiento que tiene la imagen de la Luna, que será el segmento AB de la fórmula (1). Con estos datos, calcula la distancia D a la Luna.
5. Midiendo el diámetro de la imagen de la Luna en cualquiera de las 2 fotos, ¿sabrías calcular el diámetro de la Luna?





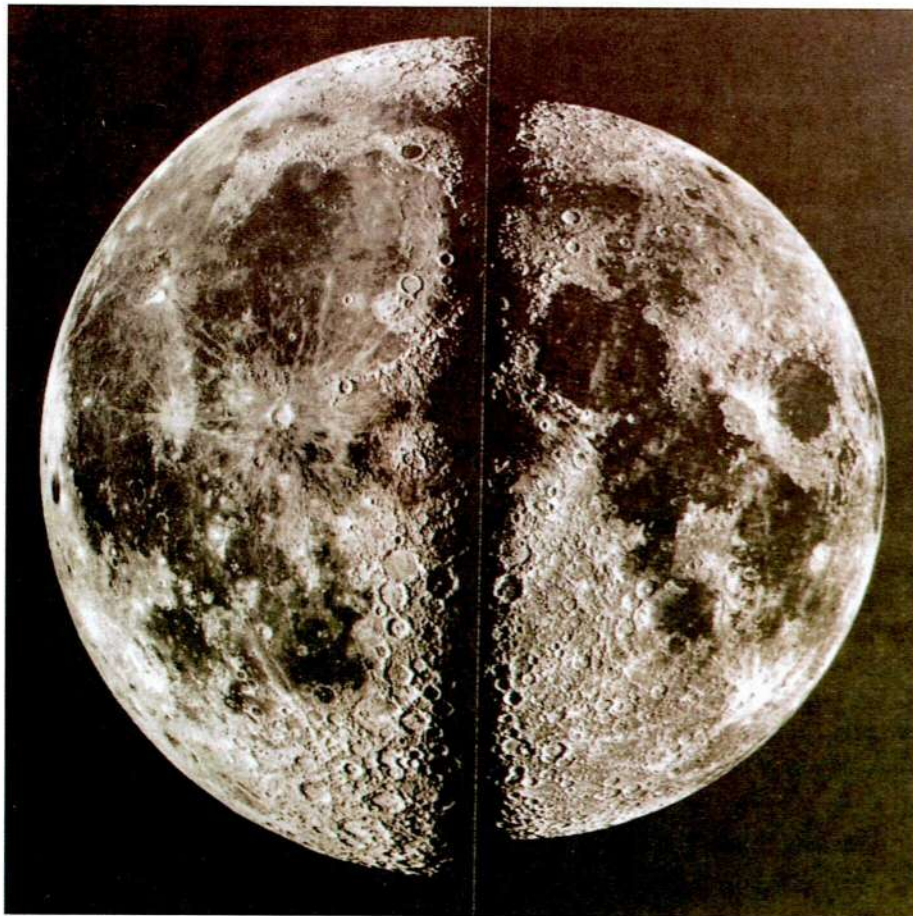
3 Máxima y mínima distancia de la Luna a la Tierra

Objetivo: Determinar la máxima y mínima distancia entre la Luna y la Tierra.

Material: - Foto.
- Regla.

Procedimiento:

1. La doble foto que ves está tomada con el mismo telescopio y en el mismo lugar. Se hicieron cuando la Luna estaba más cerca y más lejos de la Tierra.
2. Mide el diámetro aparente de la Luna en los dos casos. Calcula el diámetro medio. Sabiendo que la distancia media a la Luna son 385.000 Km, ¿podrías determinar cuál es la distancia cuando está más cerca y cuando está más lejos de la Tierra?



4 Modelo de las fases de la Luna

Objetivo: Identificar las fases de la Luna y ver porqué se producen.

Material: - Pelota de tenis o bola de papel de tamaño similar.
- Retroproyector o lámpara.
- Lápiz.

Procedimiento:

1. Sitúa el retroproyector a cierta distancia de ti, en una habitación que no tenga ninguna otra lámpara encendida. Toma la pelota de tenis en la mano y mantén extendido el brazo. Tu cabeza representa la Tierra, la pelota la Luna y el retroproyector el Sol.
2. Dirige el brazo extendido hacia el retroproyector y gira todo tu cuerpo hacia la izquierda, representando el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. Observa como va variando el aspecto de la pelota de tenis.
3. La Luna tarda 28 días en dar una vuelta alrededor de la Tierra. El día 0 la Luna no se ve: se llama Luna nueva. El día 7 presenta el primer cuarto creciente (en forma de "D"). El día 14 es Luna llena. El día 21 es cuarto menguante o decreciente (en forma de "C") y el 28 vuelve a Luna nueva. Representalo con tu modelo.

Cuestiones

1. Cuando la Luna es creciente, ¿está a la izquierda o a la derecha del Sol? ¿Y cuando es decreciente?
2. Por la tarde, después de la puesta de Sol, ¿la Luna siempre se ve en el cielo? ¿Y poco antes del amanecer?
3. Supón que ha atardecido hace un rato y todo el cielo está ya oscuro. Se ve a la Luna en fase creciente. ¿Cómo podrías orientarte con ella y saber dónde está el Oeste?
4. Si por el horizonte aparece la Luna llena, ¿dónde debes mirar para ver el Sol?
5. Un joven astrónomo desea sacar su telescopio después de cenar y no acostarse muy tarde. Si quiere observar la Luna, ¿en qué fase debe estar? Si quiere ver objetos débiles como nebulosas, galaxias, etc., le interesa una noche oscura, sin la Luna en el cielo. ¿En qué fase debe estar la Luna?



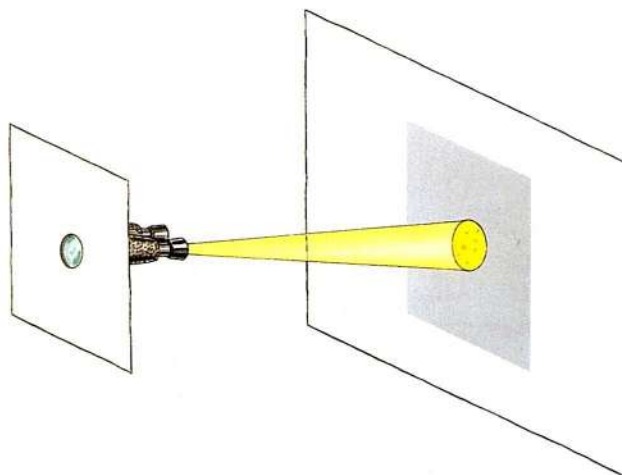
5 Observación de las manchas solares

Objetivo: Observar por proyección las manchas solares

Material: - Prismáticos.
- Hojas de papel.

Procedimiento:

1. **Nunca debes mirar directamente al Sol a través de unos prismáticos, telescopio, etc. Te quemarías la retina y probablemente te quedarías ciego.**
2. Por eso, al Sol hay que observarlo proyectando su imagen en un papel. Para ello no es necesario unos grandes aparatos: valen unos simples prismáticos. Alinéalos con el Sol, y proyecta la imagen sobre una pared o una hoja blanca. Cuanto más alejada la pongas, más grande verás la imagen, pero también más débil. Puedes mejorar el contraste con un cartón en el que hagas un orificio por el que quepan los prismáticos: proyectará una sombra sobre la que se ve mejor el Sol.



3. Intenta descubrir detalles en la superficie solar: manchas, fáculas, oscurecimiento del limbo, etc.
4. Si dibujas la posición de las manchas, y repites la observación varios días, puedes calcular la velocidad de rotación del Sol.

6 Cálculo del diámetro del Sol

Objetivo: Determinar el diámetro del Sol con una cámara oscura.

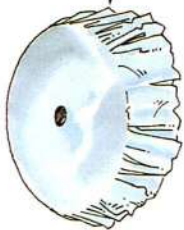
Material:

- Tubo de cartón.
- Papel semitransparente (vegetal o de seda).
- Papel de aluminio.
- Regla.

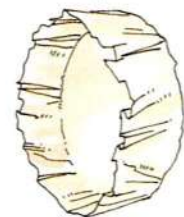
Procedimiento:

1. Pon el papel semitransparente en un extremo del tubo de cartón, sujetándolo con una goma elástica. En el otro, pon el papel de aluminio, con un pequeño agujero en su centro.

Papel de aluminio



Papel semitransparente



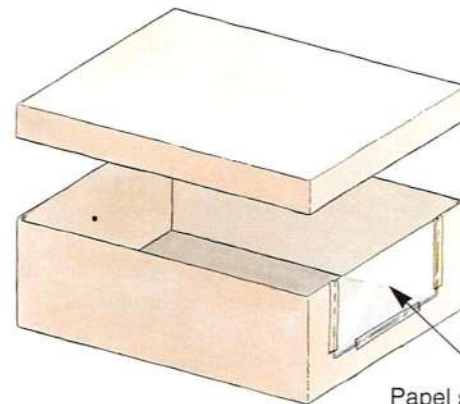
El tubo de cartón puedes sustituirlo por una caja de cartón en la que tienes que recortar un lado y sustituirlo por papel semitransparente. En el lado opuesto le haces un agujero pequeño.

2. Dirige el tubo hacia el Sol, con el papel de aluminio mirando hacia él. Si está bien alineado, en el papel semitransparente verás la figura del Sol. Mide con la regla el diámetro que tiene, así como la distancia entre el agujero del papel de aluminio y el papel semitransparente.

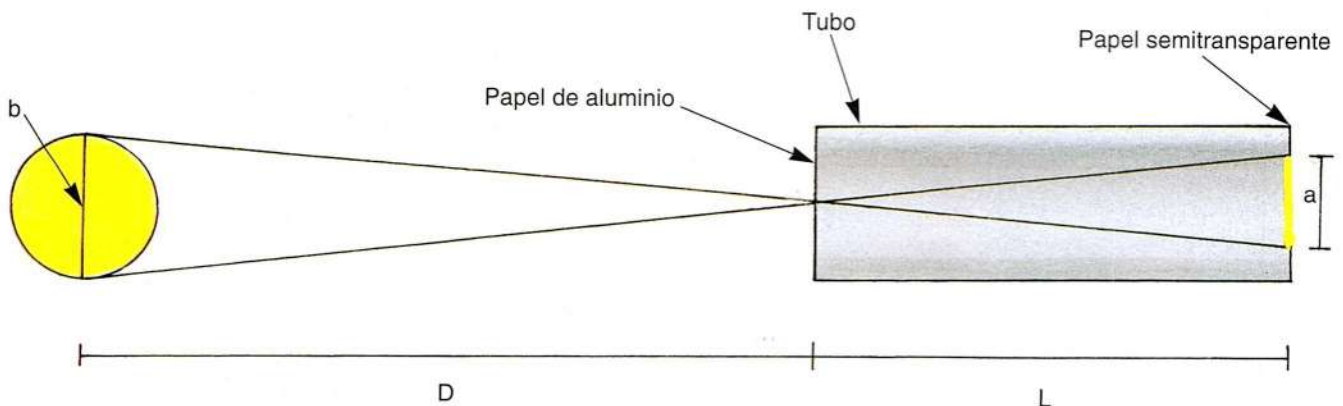
3. Los dos triángulos que se forman son semejantes, por tanto:

$$\frac{b}{D} = \frac{a}{L} \Rightarrow b = \frac{a \cdot D}{L}$$

4. Si sabemos que la distancia D entre el Sol y la Tierra es 150.000.000 Km, calcula el diámetro del Sol.
5. Puedes repetir el trabajo con la Luna. La distancia media de la Tierra a la Luna es 400.000 Km. ¿Cuál es su diámetro?



Papel semitransparente



7 Estimación de la luminosidad del Sol

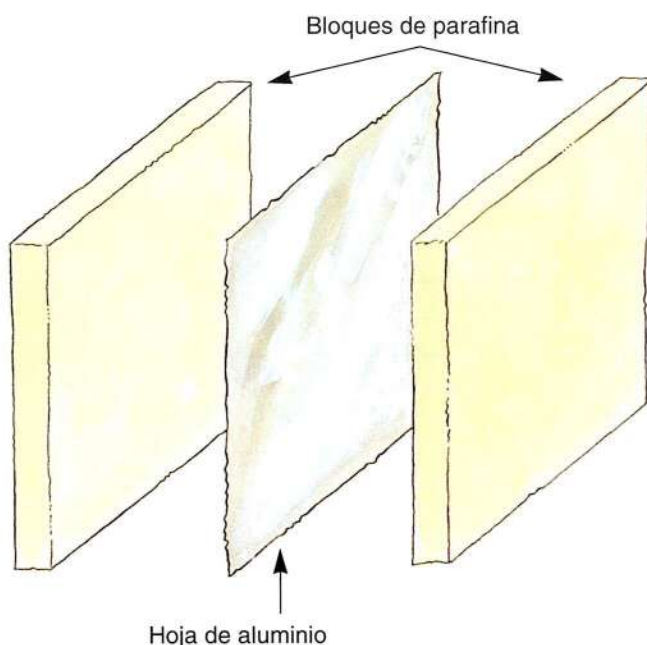
Objetivo: Comparar la luminosidad del Sol con la de una bombilla, y a partir de ahí estimar la potencia luminosa del Sol en vatios.

Material:

- Parafina.
- Un molde metálico (p.ej. para hacer flanes).
- Un trozo de papel de aluminio.
- 2 gomas elásticas.
- 1 bombilla de 100 w y otra de 60 w con casquillo o lámpara.
- 1 regla.

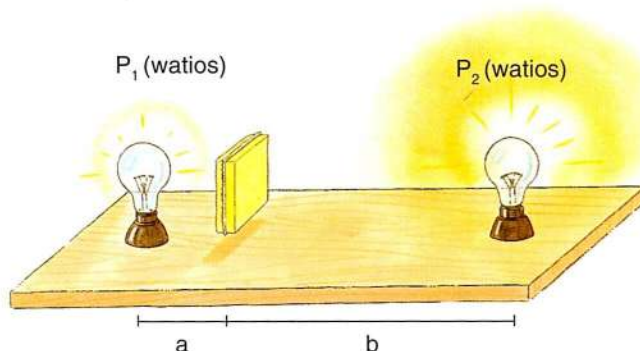
Procedimiento:

1. Vamos a construir un fotómetro que nos permita comparar la luminosidad de dos fuentes de luz. Para ello hacemos dos bloques de parafina de unos 5 cm de lado y 1'5 cm de grueso. Si la parafina la tenemos en bloques, podemos cortarla con un cuchillo caliente; si la tenemos en gránulos, tendremos que licuarla y usar algún molde.



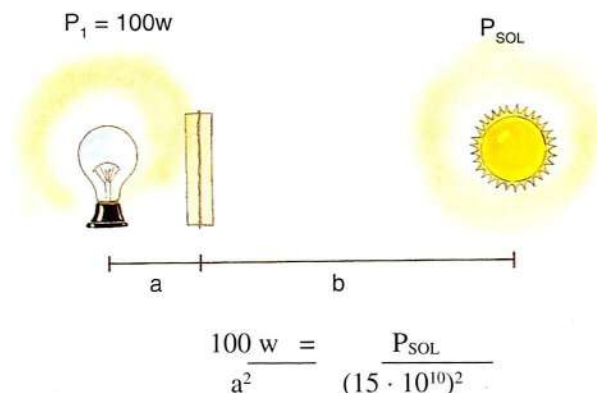
2. Cortamos un trozo de papel de aluminio del mismo tamaño que los bloques de parafina, y hacemos como un sandwich con ellos, sujetándolo con un par de gomas elásticas. Ése es nuestro fotómetro.
3. Acerca una cara ancha del fotómetro a una bombilla encendida, y obsérvalo de lado. Verás cómo cambia su brillo al acercarlo o alejarlo de la bombilla.
4. En una habitación a oscuras, sitúa una bombilla de 100 w y otra de 60 w a una distancia de 1'5 m aproximadamente. Pon el fotómetro entre ellos y muévelo hasta que

las dos partes del fotómetro aparezcan igualmente brillantes. Mide las distancias del fotómetro a cada bombilla y comprueba que:



$$\frac{P_1}{a^2} = \frac{P_2}{b^2}$$

5. En un día soleado, saca al aire libre el fotómetro y la bombilla de 100 w. Pon el fotómetro entre el Sol y la bombilla, a una distancia tal que los dos lados del fotómetro aparezcan igualmente brillantes. Mide la distancia **a**, en metros, del fotómetro a la bombilla. Usando la misma relación que en el punto anterior, y sabiendo que la distancia del Sol a la Tierra es aproximadamente **b** = 150.000.000 Km, calcula la potencia del Sol.



$$\frac{100 w}{a^2} = \frac{P_{SOL}}{(15 \cdot 10^{10})^2}$$

6. Esa potencia es la energía que el Sol emite en un segundo. Proviene de las reacciones nucleares que se producen en el interior del Sol, en las que una parte de la materia del Sol se convierte en energía. La relación entre una y otra es una famosa fórmula descubierta por Einstein: $E = m \cdot c^2$, donde **c** es la velocidad de la luz : 300.000 Km/s.

Por tanto, para calcular la cantidad de materia que el Sol convierte en energía cada segundo, sustituye en la siguiente fórmula **E** por la potencia del Sol que has calculado en el paso anterior.

$$m = \frac{E}{(3 \cdot 10^8)^2} \text{ Kg}$$

7. La masa del Sol es $2 \cdot 10^{30}$ Kg. Calcula el tiempo que le queda de vida si sigue a este ritmo ($1 \text{ año} = 3 \cdot 10^7 \text{ s}$).

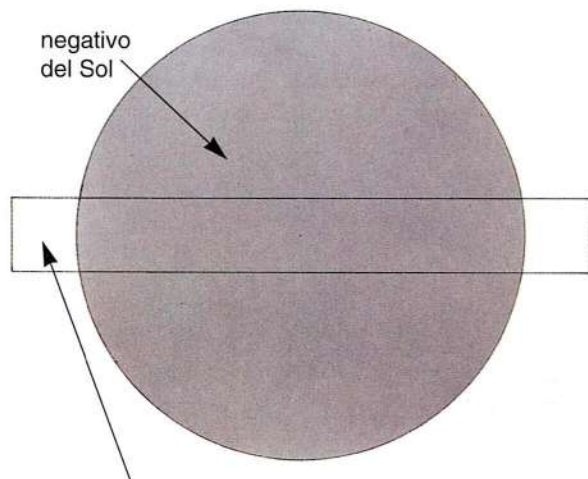
8 Distancia de la Tierra al Sol

Objetivo: Dibujar la órbita de la Tierra a partir de fotografías del Sol. Ver si las estaciones están motivadas por la distancia de la Tierra al Sol.

Material: - Regla.
- Calculadora.
- Lápiz.
- Fotocopia del gráfico 1.
- Foto de los diámetros del Sol.

Procedimiento:

Observa la foto de la página siguiente. Cada tira es una sección de una foto en negativo del Sol, justo por su centro. Cada foto fue tomada en la fecha indicada, a lo largo de un año. Si mides la longitud de cada tira, comprobarás que el diámetro con que se ve no es igual en todos los meses. La razón no es que el Sol se contraiga y se hinche, sino que la Tierra varía su distancia al Sol.



Tira representada en la foto

Para calcular esta distancia cada mes, basta aplicar la siguiente proporción:

$$\frac{D}{b} = \frac{L}{a} \Rightarrow D = \frac{L \cdot b}{a}$$

El diámetro del Sol es $b=1.400.000$ Km. La distancia L en el telescopio con el que se tomaron las fotos es $L=125$

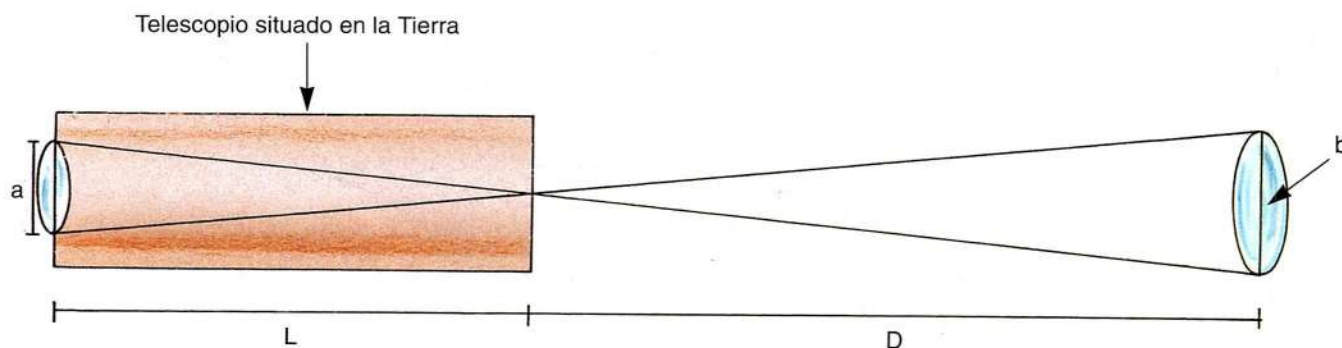
cm. Por tanto $L \cdot b = 1.750.000.000$ Km $\cdot$ cm. Si esa cantidad la dividimos por el diámetro a de cada foto, en cm, podemos calcular la distancia D entre la Tierra y el Sol cada mes, en Km. Rellena la tabla siguiente:

Fecha	Diámetro del Sol en cm a	Distancia Tierra - Sol en Km D
12 - Ene		
11 - Feb.		
26 - Mar		
10 - Abr.		
23 - May		
15 - Jun		
12 - Jul.		
17 - Ago		
14 - Sep.		
15 - Oct.		
15 - Nov.		
15 - Dic.		

Con estos datos, dibuja la órbita de la Tierra en una fotocopia del gráfico 1.

Cuestiones

1. ¿En qué mes la Tierra está más cerca del Sol?
2. ¿En qué mes la Tierra está más lejos del Sol?
3. ¿Influye esto en las estaciones?





12 ENERO



11 FEBRERO



26 MARZO



10 ABRIL



23 MAYO



15 JUNIO



12 JULIO



17 AGOSTO



14 SEPTIEMBRE



15 OCTUBRE



15 NOVIEMBRE



15 DICIEMBRE

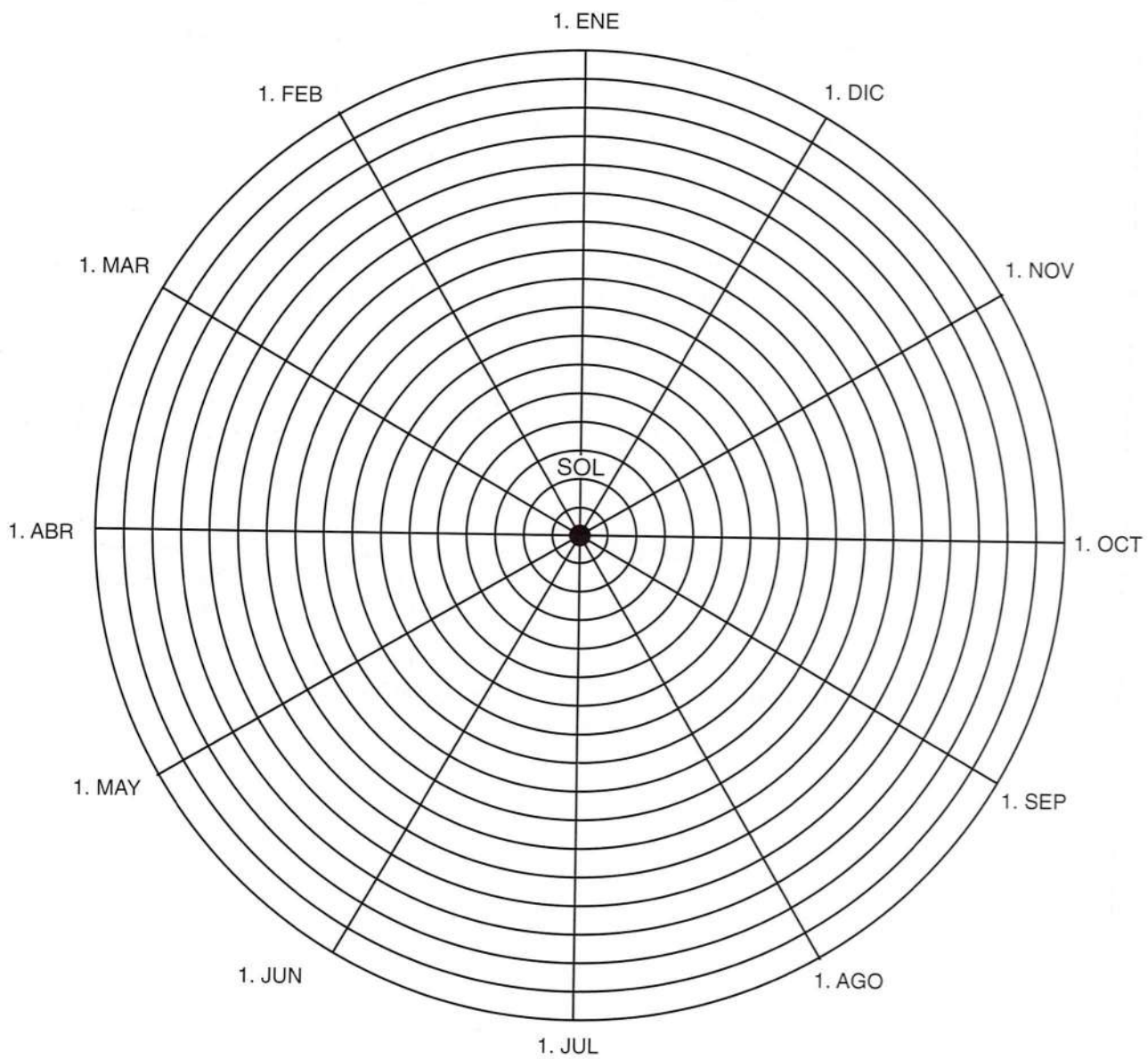


GRÁFICO 1

9 Modelo a escala de la Tierra, la Luna y el Sol

Objetivo: Construir modelos a escala del tamaño y distancias entre ellos de la Tierra, la Luna y el Sol.

Material: Diversas esferas de distintos tamaños (cuentas de collar, cabezas de alfiler, lentejas, guisantes, garbanzos, naranjas, sandías, canicas, pelotas de ping-pong, de tenis, de fútbol, de baloncesto, balones de playa, globos, etc.).

- Un metro.

- Un globo terráqueo de 30 ó 40 cm de diámetro.

Procedimiento:

1. La Tierra tiene unos 13.000 Km de diámetro. La Luna 3.500. Por tanto, el diámetro de la Tierra es unas cuatro veces el de la Luna. Escoge dos esferas que tengan una relación de tamaño similar (p.ej. una pelota de ping-pong y un garbanzo, o una pelota de tenis y una canica).
2. La distancia media entre la Tierra y la Luna es 400.000 Km. Calcula la distancia a que debes poner tus dos esferas para que representen la posición de la Tierra y la Luna, a esa escala. Puedes fijarte en que la distancia Tierra-Luna es unas 30 veces el diámetro de la Tierra, por lo que las dos esferas hay que situarlas a 30 veces el diámetro de la esfera que representa la Tierra. Si quieres hacerlo con más precisión, puedes usar una sencilla regla de tres: si los 13.000 Km de la Tierra se convierten en los 4 cm de la pelota de ping-pong, los 400.000 Km de distancia Tierra-Luna se convertirán en X cm. Sitúa a esa distancia las dos esferas.
3. Coge un globo terráqueo. A su escala, ¿cuál será el diámetro de la Luna? ¿Y la distancia entre la Tierra y la Luna?
4. Las naves espaciales que orbitan la Tierra (p.ej. el Space Shuttle, el telescopio espacial Hubble, la mayoría de los satélites, etc.) suelen hacerlo a unos 500 Km de la superficie de la Tierra. ¿A qué distancia podríamos representarlos en el modelo del globo terráqueo?
5. Los satélites para la TV (Astra, Hispasat) y los meteorológicos (Meteosat) están situados a 36.000 Km de altura, para que en su órbita tarden 24 horas en dar una vuelta. Por esta razón se llaman "geoestacionarios", es decir, que giran a la misma velocidad que la Tierra, y desde ésta parece que tienen una posición fija (a la que hay que orientar la antena parabólica para recibir su señal). ¿Podrías representar esa distancia en el globo terráqueo?
6. El Sol tiene un diámetro de 1.400.000 Km. Por tanto es unas 100 veces el de la Tierra. Escoge 2 esferas distintas de las de antes que tengan una relación de tamaño similar (p.ej. una naranja y una cabeza de alfiler, o un balón de basket y una lenteja).
7. La distancia entre la Tierra y el Sol es de 150.000.000 Km, es decir, unas 100 veces el diámetro del Sol. Sitúa las dos esferas del punto anterior a una distancia tal que represente la posición del Sol y la Tierra.
8. A esa escala, ¿cómo sería la Luna de grande?, ¿a qué distancia estaría de la Tierra?

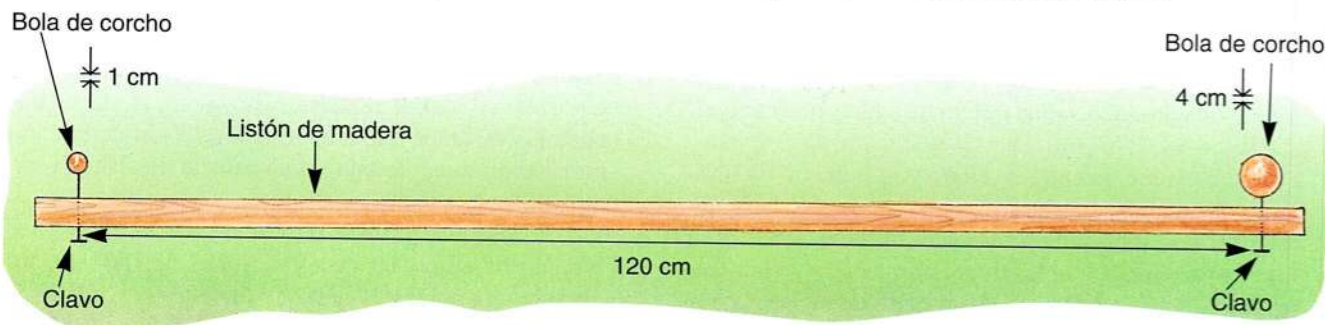
10 Modelo a escala de eclipses

Objetivo: Construir un modelo a escala del tamaño y distancia de la Tierra y la Luna para poder simular eclipses.

Material: - Listón de madera de 120 cm de longitud.
- Una bola de 4 cm de diámetro y otra de 1 cm, de corcho, papel, etc.
- Dos clavos que atraviesen el listón.

Procedimiento:

1. Pon un clavo en cada extremo del listón e inserta en ellos las dos bolas. Ése es un modelo de distancias y tamaños de la Tierra y la Luna. Sal con él al aire libre en un día soleado.
2. Para reproducir un eclipse de Luna, orienta el listón en dirección al Sol, con la bola que representa a la Tierra
3. Para simular un eclipse de Sol, da la vuelta al listón y pon la bola que representa a la Luna hacia el Sol. ¿Se ve desde toda la Tierra? ¿Hay zonas de eclipse parcial?
4. ¿Qué tipo de eclipse dura más? ¿Cuál debe ser más frecuente ver desde un determinado punto de la Tierra?
5. Apunta el listón hacia la Luna y mira a la bola que representa la Luna, desde el extremo del listón donde está la bola de la Tierra. ¿Coinciden las partes iluminadas de la Luna y de la bola?
6. ¿En qué fase debe estar la Luna cuando se produce un eclipse?
7. En cada vuelta de la Luna alrededor de la Tierra no siempre se producen eclipses. ¿Por qué?



11 Modelo a escala del Sistema Solar

Objetivo: Construir un modelo a escala del tamaño y distancia de los objetos que componen el sistema solar.

Material: - Una cinta métrica o una regla.
- Rollo de cuerda fina (de al menos 60 m).
- Papel celo.
- Plastilina.

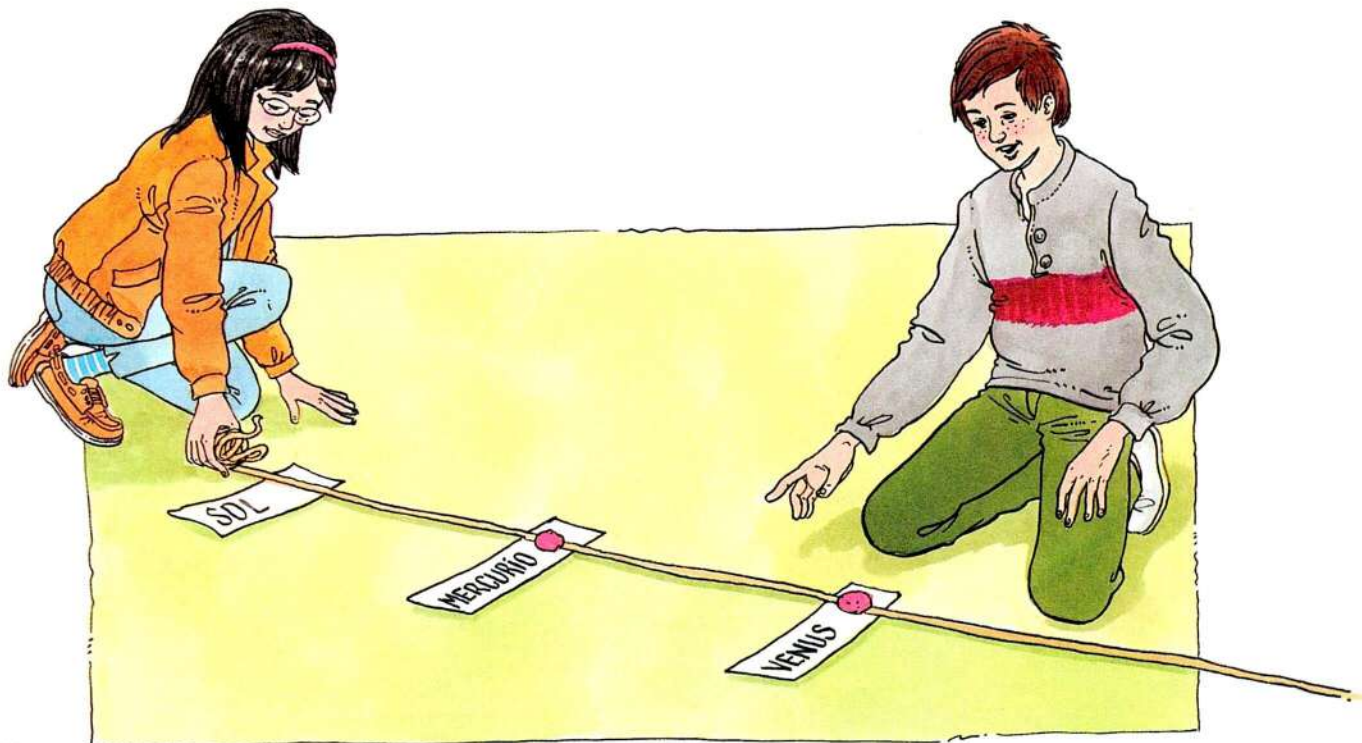
Procedimiento:

1. Con los datos de las Tablas 1 y 2 y un factor de escala $1 \text{ cm} = 1.000.000 \text{ Km}$, convierte las distancias reales en distancias a escala, completando las columnas de la derecha.
2. Toma una cuerda cuya longitud sea la distancia a escala entre el Sol y Plutón, más unos 30 cm. Con esos cm de más haz una esfera, cuyo diámetro sea el del Sol a escala, y pégala con celo. Corta el resto de los 30 cm. En la cuerda, cerca de esa esfera, pon una etiqueta que diga **SOL**.
3. A partir de ese **SOL**, marca con el metro la posición de cada planeta en la cuerda. Pega una etiqueta de unos 10 cm con el nombre del planeta. Si ese planeta tiene lunas, dibuja en la etiqueta, a escala, la distancia de la luna más exterior.
4. Intenta hacer con plastilina pequeñas esferas que representen a los planetas a esa escala. Pégalas a la etiqueta del planeta correspondiente. Con ello completarás el modelo del Sistema Solar a escala.
5. El modelo que has construido te sirve para apreciar las distancias y tamaños de las órbitas del Sistema Solar. Sin embargo, no debes sacar la conclusión de que los planetas están alineados, sino que cada uno sigue su órbita independiente de los otros. De hecho, en los viajes interplanetarios se recorren distancias mucho mayores que la que aquí se representa, aunque se aprovechan posiciones favorables de los planetas.

Cuestiones

Extiende tu modelo en el suelo (quizás tengas que salir al exterior). Camina a su lado a velocidad constante y mide los tiempos con un cronómetro.

1. ¿Cuánto tardarías en ir de la Tierra a la Luna? (El Apolo XI tardó tres días).
2. ¿Cuánto tardarías en ir a Marte? (El Viking tardó un año).
3. Camina ahora desde la Tierra a Júpiter. ¿Cuánto tardas? (El Voyager tardó 2 años).
4. ¿Cuánto crees que tardó el Voyager en llegar a Saturno? ¿Y a Urano y Neptuno?
5. Ninguna nave ha llegado a Plutón. Calcula aproximadamente cuánto se tardaría.
6. La estrella más cercana al Sol es Alfa-Centauro. Está 7.000 veces más distante que Plutón. ¿Cuánto tardarías tú en llegar usando tu modelo a escala? ¿Cuánto tiempo tardaría el Voyager?



PLANETA Luna	DISTANCIA DESDE EL PLANETA (Km)	DIÁMETRO (Km)	DISTANCIA A ESCALA (cm)	DIÁMETRO A ESCALA (cm)
TIERRA	-	12.800		
Luna	400.000	3.480		
MARTE	-	6.800		
Fobos	9.400	21		
Deimos	23.500	12		
JUPITER	-	142.800		
Anillo exterior	130.400	-		
Amaltea	180.000	170		
Io	422.000	3.630		
Europa	671.000	3.140		
Ganímedes	1.070.000	5.260		
Calisto	1.885.000	4.800		
SATURNO	-	120.000		
Anillo A	91.700 - 117.600	-		
Anillo B	121.900 - 136.300	-		
Mimas	187.000	390		
Encelado	238.000	500		
Tethis	295.000	1.060		
Dione	378.000	1.120		
Rhea	526.000	1.530		
Titán	1.221.000	5.150		
Hiperion	1.481.000	255		
Japeto	3.561.000	1.460		
URANO	-	51.200		
Anillo exterior	50.000	-		
Miranda	130.000	485		
Ariel	190.000	1.160		
Umbriel	266.000	1.190		
Titania	436.000	1.610		
Óberon	583.000	1.550		
NEPTUNO	-	48.600		
Anillo exterior	53.000	-		
Tritón	354.000	2.785		
Nereida	5.600.000	300		
PLUTÓN	-	2.300		
Caronte	20.000	1.200		

OBJETO	DISTANCIA AL SOL (Km)	DIÁMETRO (Km)	DISTANCIA A ESCALA (cm)	DIÁMETRO A ESCALA (cm)
SOL	-	1.390.000		
MERCURIO	58.000.000	4.880		
VENUS	108.000.000	12.100		
TIERRA	150.000.000	12.800		
MARTE	228.000.000	6.800		
CERES	420.000.000	1.000		
JÚPITER	780.000.000	143.000		
Diámetro del anillo exterior	-	261.000		
SATURNO	1.430.000.000	120.000		
Diámetro del anillo exterior	-	273.000		
URANO	2.870.000.000	51.000		
Diámetro del anillo exterior	-	100.000		
NEPTUNO	4.500.000.000	49.000		
Diámetro del anillo exterior	-	106.000		
PLUTÓN	5.900.000.000	2.300		

12 Dibujo de las órbitas de Venus y Mercurio a partir de observaciones desde la Tierra

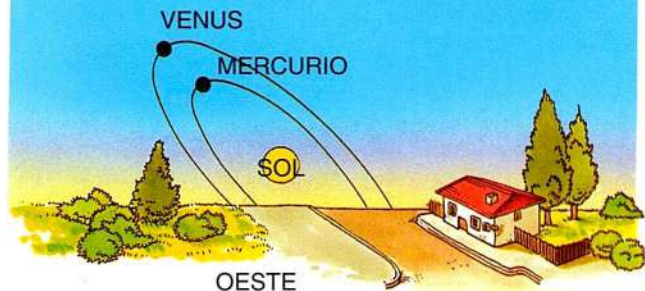
Objetivo: Dibujar las órbitas de Mercurio y Venus a partir de observaciones terrestres.

Material: - Regla.
- Transportador de ángulos.
- Lápiz de punta fina.
- Fotocopia del gráfico 1.

Procedimiento:

En el gráfico 1, la circunferencia exterior representa la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Las fechas indican la posición de la Tierra en su órbita el primer día de cada mes. Para nuestros efectos, todos los meses tienen 30 días. Como la circunferencia está dividida en 12 meses, cada mes es un sector de 30° , y cada día es 1° .

Como los planetas Venus y Mercurio giran más cerca del Sol que la Tierra, desde nuestra posición siempre les vemos próximos al Sol. Si están a la derecha del Sol, le preceden en la salida, y sólo son visibles al amanecer. Si están a la izquierda del Sol van después que él, y sólo son visibles al atardecer. En ambos casos nunca están muy alejados del Sol. La mayor distancia angular entre el Sol y esos planetas, vistos desde la Tierra, se llama "máxima elongación". Esos ángulos han sido medidos por los astrónomos y algunos de ellos aparecen en la siguiente tabla:



hacia la izquierda (Este). Para determinar la posición del planeta en esa línea, puedes hacer dos cosas: manteniendo la línea base del transportador en esa recta, deslizarlo hasta que la marca de 90° esté dirigida al Sol; la marca central del transportador te indicará la posición del planeta, en esa fecha; también puedes hacerlo con una escuadra o cartabón, moviéndolo hasta que un cateto pase por el Sol y el otro esté en la recta que has trazado con el transportador de ángulos. En cualquiera de los dos casos, marca con un

MERCURIO			VENUS		
FECHA	ESTE	OESTE	FECHA	ESTE	OESTE
8 Ene 89	19°		15 Jun 83	45°	
18 Feb 89		26°	4 Nov 83		47°
30 Abr 89	21°		21 Ene 85	47°	
18 Jun 89		23°	12 Jun 85		46°
28 Ago 89	27°		26 Ago 86	46°	
10 Oct 89		18°	15 Ene 87		47°
22 Dic 89	20°		2 Abr 88	46°	
1 Feb 90		25°	22 Ago 88		46°
13 Abr 90	20°		8 Nov 89	47°	
31 May 90		25°	30 Mar 90		46°
11 Ago 90	27°				
24 Sep 90		18°			
5 Dic 90	21°				

Para dibujar las órbitas, localiza la posición de la Tierra en su órbita en el gráfico 1, en la primera fecha (el año es indiferente, ya que está en esa misma posición cada año) de las máximas elongaciones de Venus. Une ese punto con el Sol. Como Venus se ve a 45° al este del Sol, con la ayuda de un transportador de ángulos, dibuja desde la posición de la Tierra una línea que forme ese ángulo con la anterior,

lápiz la posición del planeta.

Repite estos pasos para todos los valores de la tabla, y une los puntos con una curva, que debe salir bastante parecida a una circunferencia con centro en el Sol.

En el caso de Mercurio, el resultado es una elipse (circunferencia ligeramente achatada), con el Sol no en el centro, sino en un foco.

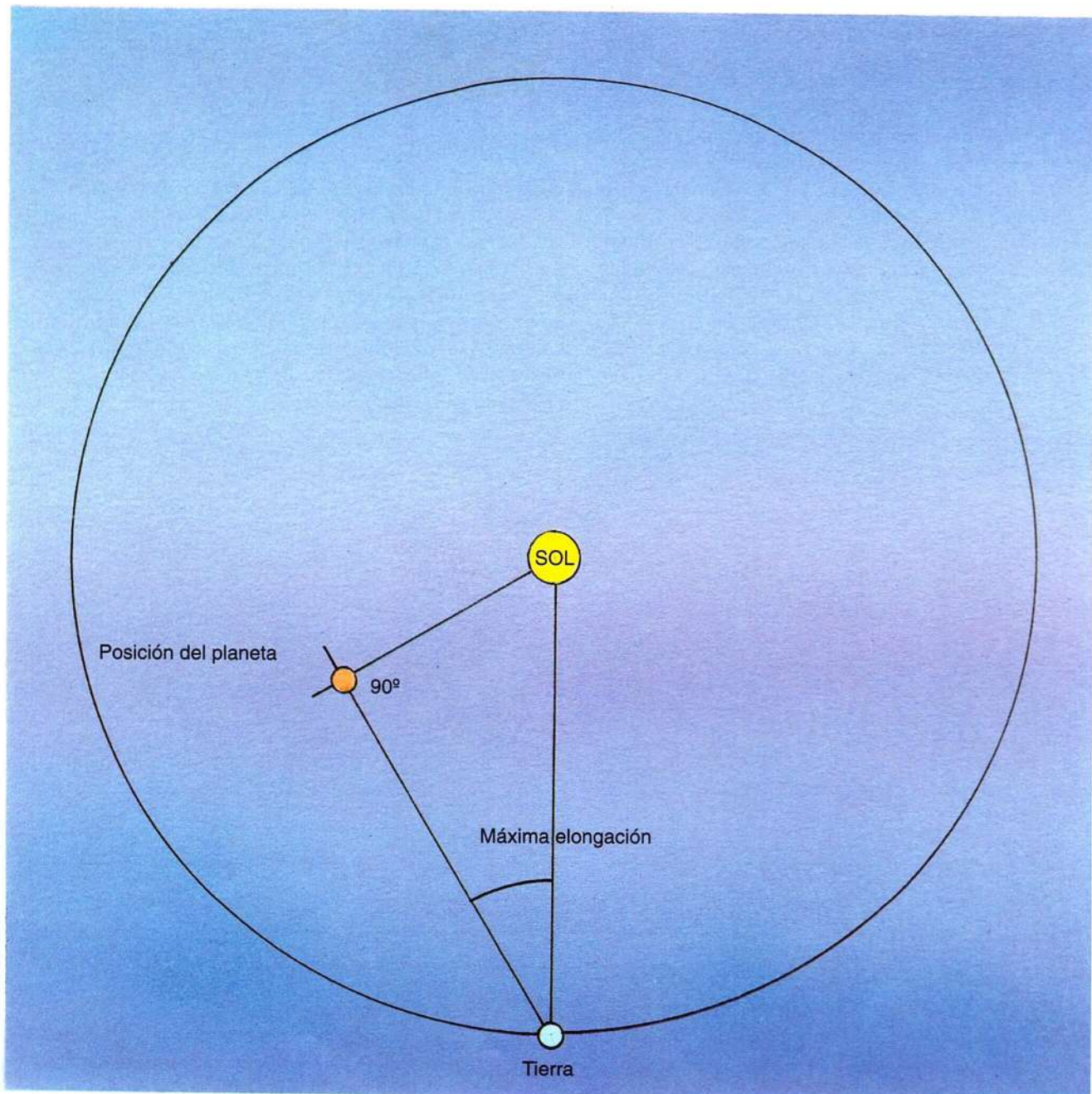
A principios del s. XVII, cuando aún no había telescopios, Kepler, usando las posiciones del planeta Marte que había registrado con gran precisión Tycho Brahe, consiguió dibujar su órbita siguiendo un proceso similar al que hemos hecho aquí. Y Kepler descubrió así su 2ª ley: los planetas describen elipses, con el Sol en un foco.

Cuestiones:

1. ¿Por qué las máximas elongaciones de Mercurio son ángulos más pequeños que los de Venus?

2. ¿Por qué las máximas elongaciones de Mercurio varían más (18° a 27°) que las de Venus (45° a 47°)?

3. Cuando Venus estaba más cerca de la Tierra, se le envió una señal de radar. El eco reflejado se detectó 140 segundos después de enviar la señal. Sabiendo que las emisiones de radar viajan a la velocidad de la luz (300.000 Km/s), ¿podrías calcular la distancia de la Tierra a Venus en ese momento? Y con el dibujo hecho de las órbitas, ¿cuál es la distancia media de la Tierra, Venus y Mercurio al Sol?



13 Modelo de cráteres de impacto

Objetivo: Simular la formación de cráteres de impacto como los que hay en la Luna, Mercurio, etc.

Material: - 1 kg. de harina.
- Una bandeja.
- Una regla.

Procedimiento:

1. Extiende papeles viejos por el suelo, para evitar mancharlo con la harina.
2. Pon la harina en la bandeja, con un espesor de unos 2 ó 3 cm. Alisa la superficie con la regla.
3. Coge un poco de harina con una cucharilla y déjala caer sobre la bandeja desde una altura de unos 2 metros. El impacto produce señales similares a los cráteres de impacto.
5. Prueba variando la altura, la cantidad de masa del "meteorito" que impacta, etc.



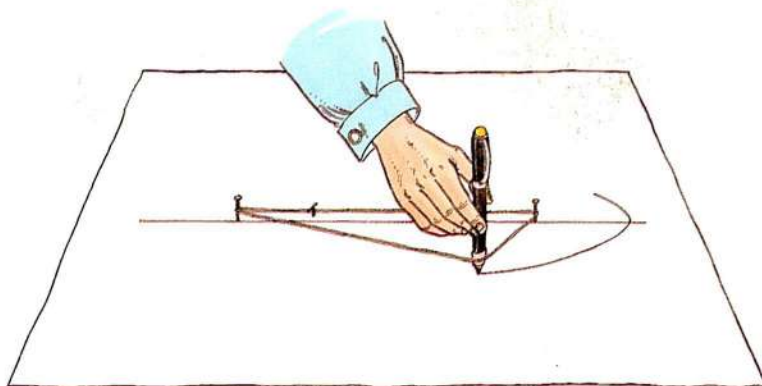
14 Dibujo de la órbita del cometa Halley

Objetivo: Dibujar a escala la órbita elíptica de este cometa.

Material: - Cartulina blanca de 50 x 70 cm.
- Compás.
- Dos clavos.
- Cuerda (1 metro aproximadamente).
- Rotulador.
- Tablero de madera o corcho de las mismas dimensiones que la cartulina.
- Regla de 40 cm.

Procedimiento:

1. Coloca la cartulina sobre el tablero, de forma apaisada. Dibuja una recta horizontal en el centro, y sobre ella marca dos puntos separados 34'7 cm, que serán los focos de la elipse.
2. Usando el compás o una cuerda, y con centro en un foco, dibuja las órbitas circulares de los planetas, con los siguientes radios en cm: Mercurio 0'4, Venus 0'7, la Tierra 1, Marte 1'5, Júpiter 5'2, Saturno 9'6, Urano 19'2, Neptuno 30'1 y Plutón 39'5. No importa si alguna circunferencia se sale de la cartulina.
3. Clava dos clavos en los focos, dejando que sobresalgan bastante.
4. Coloca una cuerda cerrada (anudada) en torno a los dos clavos. La cuerda debe medir en total 70'6 cm, es decir, anudada debe medir la mitad, 35'3 cm. Coloca el rotulador en el interior de la cuerda y, manteniendo ésta tensa, dibuja una elipse, ésta representa la órbita del cometa Halley.



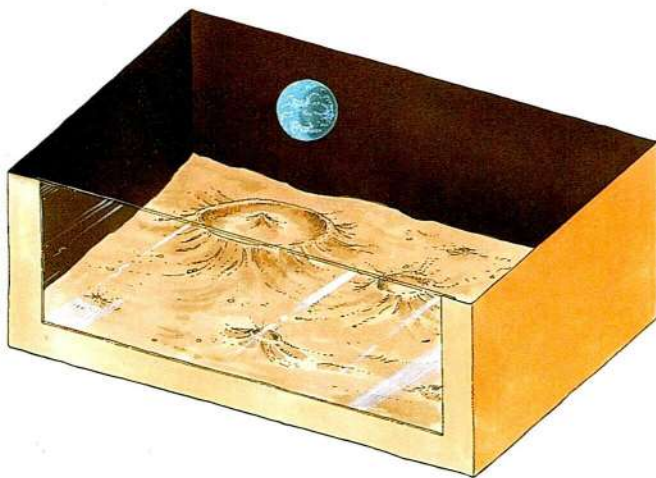
15 Dioramas planetarios

Objetivo: Construir maquetas de paisajes (dioramas) de algunos planetas y lunas.

Material: - Caja de cartón.
- Arcilla, arena, plastilina, etc.
- Pintura.

Procedimiento:

1. Escoge el cuerpo del sistema solar que quieras reproducir. Son más indicados los que tienen una superficie sólida, no gaseosa. Busca fotos de su superficie.
2. Coge una caja de cartón. Recorta una cara lateral, a través de la cual se podrá observar el diorama. Sobre la cara que será el suelo, intenta reproducir parte del terreno o algún accidente del planeta o luna: por ejemplo, si escoges Marte, puedes imitar su terreno arenoso rojizo, lleno de piedras, o puedes reproducir el Olympus Mons o el Valle Marineris. Si escoges nuestra Luna, deberás imitar los cráteres y los "mares", de color gris-ceniza. Si te decides por la luna joviana Io, deberás hacer los anaranjados cráteres, con su coladas de lava serpenteando.
3. Pinta las caras laterales de la caja del color que se ve el cielo en ese planeta o luna: en Marte rosa; en la Luna negro y quizá con la Tierra en cuarto creciente al fondo; en Io también negro, pero puedes adornarlo pintando en el horizonte algún volcán en erupción y con Júpiter gigante en otra parte del horizonte, etc.
4. Puedes acabarlo a tu gusto: añadiéndole una luz interior, pintando el exterior, poniéndole un cristal en la ventana, etc.



Meteorito grande, con sus aristas redondeadas por el calor de la entrada en la atmósfera.

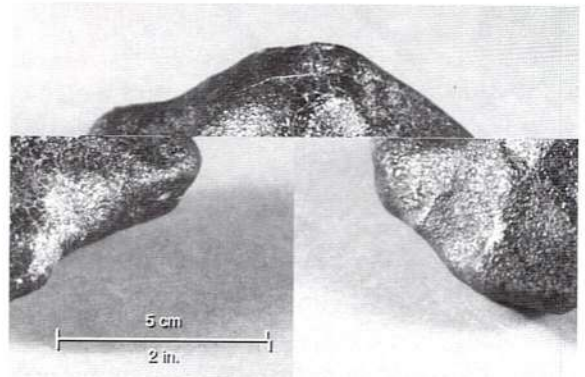
16 Observación de micrometeoritos

Objetivo: Recoger y observar residuos de meteoros (estrellas fugaces).

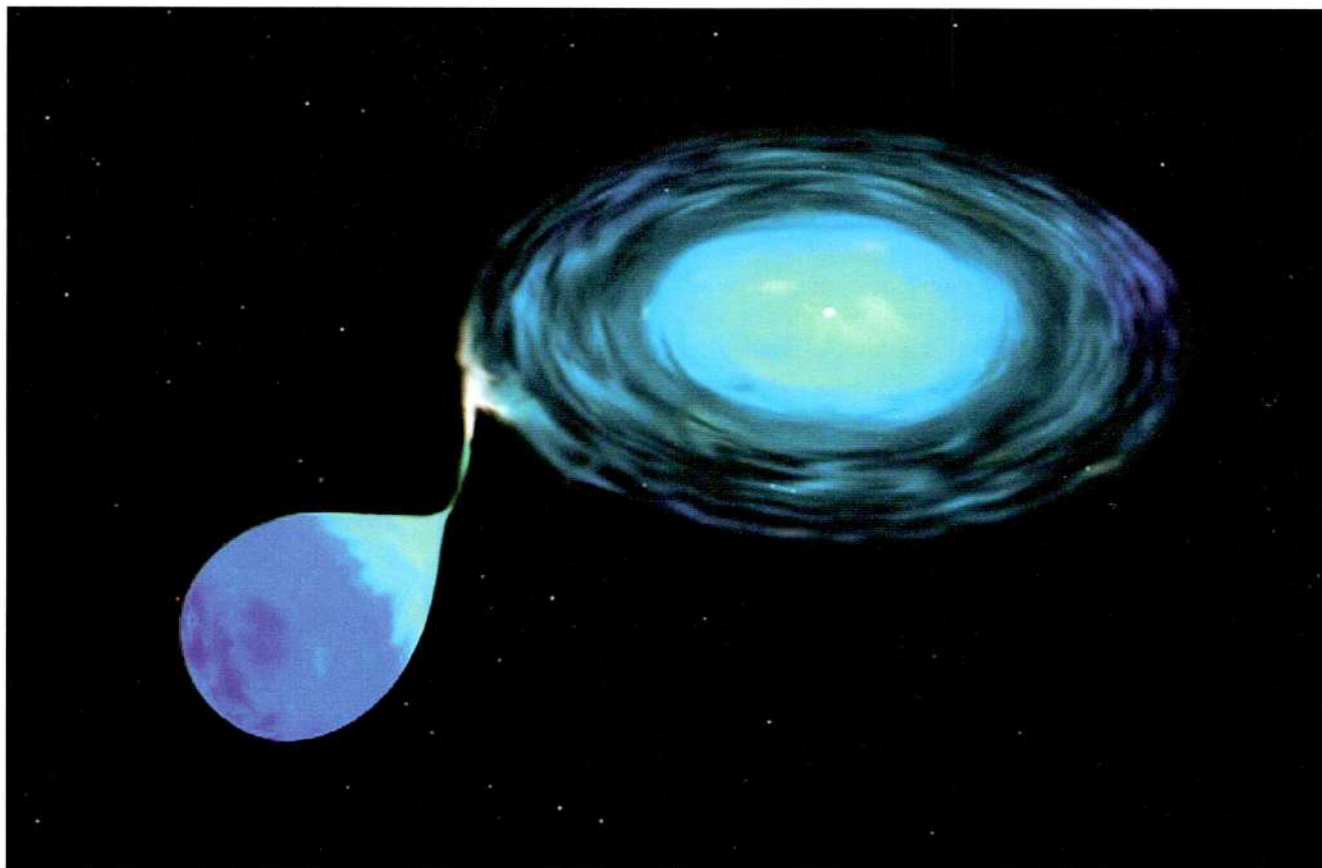
Material: - Imán.
- Microscopio de 100 aumentos o más.

Procedimiento:

1. Cuando un meteorito cae sobre la Tierra, a decenas de miles de kilómetros por hora, normalmente se volatiliza antes de llegar al suelo, por rozamiento con la atmósfera. Ese fenómeno suele ser visible por la noche, y se llama "estrella fugaz". Después de quemarse, las cenizas van cayendo lentamente sobre el suelo. La Tierra incrementa su masa varias toneladas al día por este procedimiento.
2. Esas partículas se depositan en tejados, carreteras, etc. Cuando llueve, el agua las arrastra, por lo que un buen sitio para recoger micrometeoritos es en las canaletas de desagüe de los tejados y en las cunetas de las carreteras, una vez que están secas.
3. La mayor parte de esos meteoritos tienen una composición rocosa, pero otros están formados de hierro y níquel, y pueden ser separados del resto de partículas del terreno con un imán.
4. Recoge en una hoja de papel un poco de arena que encuentres en una canaleta de desagüe de un tejado o en una cuneta, que estén secas. Pon el imán debajo de la hoja y vuelca el papel. Toda la arena se caerá, excepto algunas partículas finas oscuras, que quedarán atraídas por el campo magnético.
5. Retira el imán y pon el papel con las partículas en el microscopio. En las que son restos de meteoritos se observan señales de su anterior fusión, formas redondeadas e incluso algunas estrías longitudinales.
6. Esos meteoritos proceden directamente de la materia que dio origen al Sistema Solar. Tienen una edad por tanto de unos 4.500 millones de años.



5 LAS ESTRELLAS



5.1 Distancias, luminosidad, magnitud

¿Y esos puntitos brillantes que tachonan el cielo por la noche, especialmente lejos de las ciudades? ¿Cómo se ven a través de un telescopio? La respuesta es un tanto decepcionante para el aficionado que empieza: se siguen viendo como puntos, aun en los mayores telescopios. La razón es que están mucho más lejos que los planetas, a tales distancias que hay que medirlas en otras unidades distintas al Km. Por eso se usa el año-luz (a.l.) que es la distancia que recorre la luz en un año, viajando a 300.000 Km por segundo. Un año luz es 10^{13} Km aproximadamente, una distancia difícil de imaginar. En los ambientes científicos se suele usar más el **parsec**, que equivale a 3'3 años luz. La estrella más cercana a nosotros es Alfa Centauro, a 4'3 años luz, visible sólo en el Hemisferio Sur. Desde el Hemisferio Norte, la más cercana es Sirio, a 8'7 años luz, la más brillante de todo el firmamento.

A simple vista, en un lugar oscuro y en una noche sin Luna, se pueden contar unas 3.000 estrellas. No todas aparecen igualmente brillantes, ni están uniformemente distribuidas. ¿Las más brillantes son las más cercanas? En

unos casos sí y en otros no. Hay estrellas muy cercanas que apenas se ven y otras que brillando mucho, son muy lejanas pero gigantes. Tampoco tienen todas el mismo color, aunque las diferencias son sutiles. Unas son rojizas, otras amarillentas, blancas o incluso verdosas o azuladas. A través de prismáticos, y desenfocándolos levemente, se aprecian mejor. Para un observador avezado del cielo, un placer indefinible es ir distinguiendo esas suavísimas diferencias de tono.

Una bombilla de 100 watios luce más que una de 25, tiene más "potencia", irradia más luz a su alrededor. Lo mismo pasa con las estrellas: unas irradian más luz a su alrededor que otras, son más "potentes" que otras. Esa cualidad se mide en watios, y se llama luminosidad.

Si una bombilla de 100 w la ponemos lejos, y otra igual la ponemos a nuestro lado, ésta nos da más luz, la vemos más brillante aunque realmente tengan la misma luminosidad, los mismos watios. Si dos estrellas tienen la misma luminosidad, es decir, son igual de potentes, pero una está al doble de distancia de nosotros, la vemos brillar más débil.

Hiparco de Samos, en el siglo II a.C., hizo el primer catálogo de estrellas. Las más brillantes decía que eran de 1ª magnitud y las más débiles, que eran de 6ª. Así inventó

un sistema de división de brillos de las estrellas que aún está vigente hoy, aunque ligeramente retocado con medidas más precisas basadas en fotómetros. Una estrella de magnitud 2 es más brillante que otra de magnitud 3. Las hay incluso de magnitud 0 y de magnitud negativa (Sirio tiene magnitud -1'5). Prolongando la escala, Venus llega a adquirir magnitud -4, la Luna llena -13, y el Sol -26'7.

La relación entre magnitudes y luminosidad es una fórmula un tanto complicada¹, pero se puede sustituir por el **nomograma M-D-L** de la página 133, que relaciona magnitud aparente, distancia y luminosidad. Aproximadamente, una estrella de magnitud 1 es 2'5 veces más luminosa que otra de magnitud 2, ésta 2'5 veces más que otra de magnitud 3, etc. Esto hace que una diferencia de 5 magnitudes sea equivalente a 100 veces más brillo.

A simple vista y en sitios oscuros, se puede llegar a ver estrellas de magnitud 6. Con unos buenos prismáticos se llega a la 9ª ó 10ª. Con telescopios de aficionados se ven estrellas de magnitud 12 ó 14, y en grandes telescopios, de magnitud 20. Con placas fotográficas y varias horas de exposición, que van acumulando la luz, se llega hasta la magnitud 25. Con el Telescopio Espacial Hubble se ha llegado hasta la magnitud 29.

Pero, como hemos visto, una cosa es el brillo aparente, visto desde la Tierra, y otra el brillo real de la estrella. Por ejemplo, Canopus emite 50.000 veces más luz que Sirio, y sin embargo, al estar mucho más lejos, la vemos la mitad de brillante. La estrella *S de Dorado* es quizá la más brillante que se conoce y sin embargo no se ve a sim-



El cielo en la región de Sagitario, visto desde la Tierra.

ple vista. Para poder comparar el brillo de unas y otras estrellas, se ha inventado el concepto de *magnitud absoluta*, que es la que tendría si estuviera separada de nosotros 10 parsecs (32'6 años luz). He aquí las magnitudes absolutas y relativas de las estrellas más brillantes de nuestro hemisferio.

$$^1\text{La fórmula es } m_1 - m_2 = 2.5 \cdot \log \frac{L_2 / 4\pi d_2^2}{L_1 / 4\pi d_1^2},$$

y la que relaciona la magnitud aparente con la absoluta es

$$m_{ap} = M_{abs} + 5 \cdot \log \frac{d(a.l.)}{32.6}$$

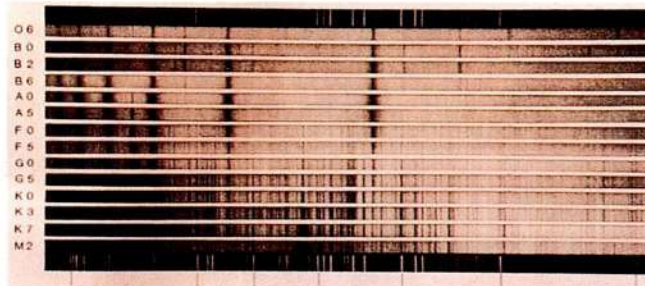
LAS ESTRELLAS MÁS BRILLANTES

Nombre	Magnitud aparente	Magnitud absoluta	Temperatura °K	Luminosidad (Sol = 1)	Radio (Sol = 1)	Masa (Sol=1)
SOL	-25'7	4'8	5.800	1	1	1
Sirio	-1'52	1'4	11.200	26	1'8	2'5
Canopus	-0'86	-7'4	8.000	80.000	210	25
(Centauro	-0'33	4'7	6.000	1'1	1	1'1
Vega	0'14	0'6	11.200	50	2'4	3
Capella	0'21	-0'6	5.500	150	12	4'2
Arturo	0'24	-0'2	4.500	100	30	4
Rigel	0'34	-5'8	12.500	18.000	42	17
Proción	0'53	2'8	6.500	5'4	2	1'1
Altair	0'89	2'4	8.600	9	1'3	1'5
Aldebarán	1'06	-0'1	3.300	90	60	4
Pollux	1'21	1'2	4.200	28	16	2
Antares	1'23	-4'0	3.100	3.100	480	30
Deneb	1'33	-5'2	10.000	10.000	42	15

5.2 Colores y espectros

Las estrellas emiten luz en toda la gama del espectro, es decir, en todos los colores, sin embargo suelen tener un máximo en alguna zona, siendo ese color el dominante. Cuando calentamos un hierro y se empieza a poner brillante, lo hace con un color rojo. Si aumentamos la temperatura, pasa al amarillo, luego al blanco y por último al blanco-azulado. Lo mismo ocurre con las estrellas: las que tienen poca temperatura superficial dan un tono rojo; las que son más calientes emiten luz preferentemente amarilla, blanca o incluso llegan al blanco-azulado.

Si hacemos pasar esa luz por un prisma de cristal, se descompone en los colores del arco iris. Usando aparatos de gran precisión llamados *espectrógrafos*, se observan unas líneas oscuras en determinadas posiciones que forman el espectro de esa luz. Esas posiciones corresponden a los elementos que contiene la estrella. Se ha observado que las estrellas de colores similares tienen espectros similares, es decir, están compuestos de elementos químicos parecidos. Así se han establecido tipos similares de estrellas, en función de sus espectros, y por tanto, de su color y temperatura superficial. Esos tipos se nombraron con las letras del alfabeto, en orden lógico. Sin embargo, según se ha ido aumentando el conocimiento de las estrellas, se han agrupado letras, se han colocado de otra forma, etc., teniendo en la actualidad un orden que para recordarlo hay que acudir a reglas nemotécnicas. Del azul al rojo, los tipos son: O, B, A, F, G, K, M. Algunos forman la frase: *Oh, Buen Astrónomo, Favorece Grandes Kausas Médicas*. Los ingleses recurren a *¡Oh, Be A Fine Girl (o Guy), Kiss Me!*



Espectros de estrellas tipo.

Las características de esos tipos espectrales son:

TIPOS ESPECTRALES DE ESTRELLAS			
Tipo	Temperatura	Color	Espectro
O	>25.000	Muy azul	Rayas de helio ionizado
B	11.000-25.000	Azul	Rayas de helio neutro
A	7.500-11.000	Blanco	Rayas del Hidrógeno fuertes
F	6.000-7.500	Blanco-amarillo	Rayas de metales ionizados
G	5.000-6.000	Amarillo	Rayas de metales neutros
K	3.500-5.000	Anaranjado	Bandas moleculares
M	<3.500	Rojo	

Además para afinar más, cada tipo se divide en diez sub-tipos, con números del 0 al 9. Así una B₉ es casi igual que una A₀. El Sol, por ejemplo, es una G₂.

También hay otra clasificación en función del tamaño, usando los conceptos de **gigantes**, **normales** y **enanas**. A veces después del tipo espectral se añade un número romano, que indica:

- I supergigante
- II gigante
- III subgigante
- IV normal
- V enana
- VI subenana

Por ejemplo una G₂ - II es una estrella del tipo del Sol pero gigante.

5.3 Diagrama H-R

Para poner un poco de orden en estas clasificaciones estelares, **Hertzsprung** y **Russell**, a principio de siglo, representaron las estrellas en un diagrama que tomó su nombre (o para abreviar H-R), representando en el eje horizontal la temperatura (o, lo que es lo mismo, la clase espectral) y en el vertical, su luminosidad (o magnitud absoluta). Fueron midiendo estos dos datos de cada estrella, y colocando un punto en su diagrama. La cosa quedó con una cierta regularidad, con una línea más o menos diagonal, llamada **secuencia principal**, y algunas ramas que pertenecían a tipos concretos de estrellas.

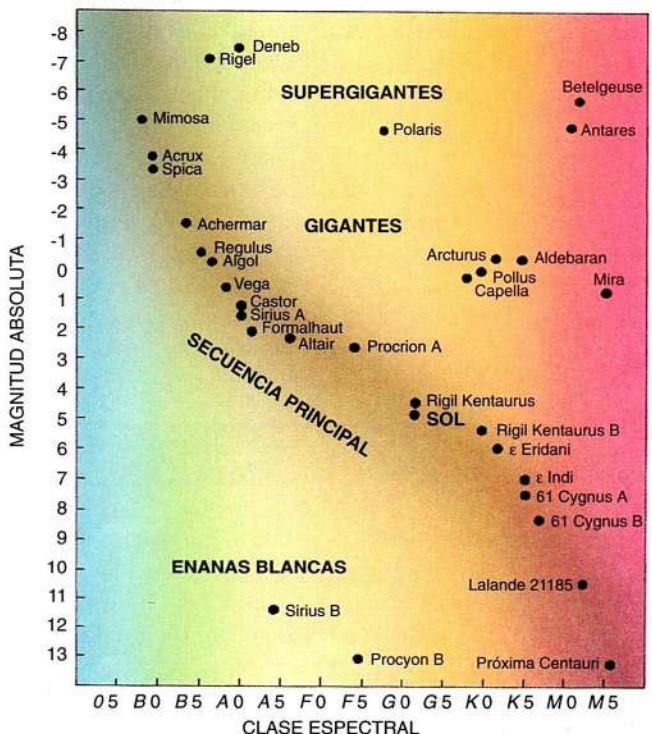


Diagrama de H-R. Las estrellas normales recorren durante su vida la "Secuencia principal". El Sol está en un punto intermedio.

La mayor parte de las estrellas se sitúan en esa secuencia principal. La parte superior izquierda de ella corresponde a estrellas gigantes azules. La zona central a estrellas normales blancas o amarillas. Las de abajo a la derecha son enanas rojas. El Sol, como buena estrella media, se sitúa en una discreta posición intermedia.

Las estrellas, a lo largo de su vida, van modificando su luminosidad y composición. Es como si se moviera por esas ramas del diagrama H-R. Pero eso lo veremos mejor en el punto siguiente.

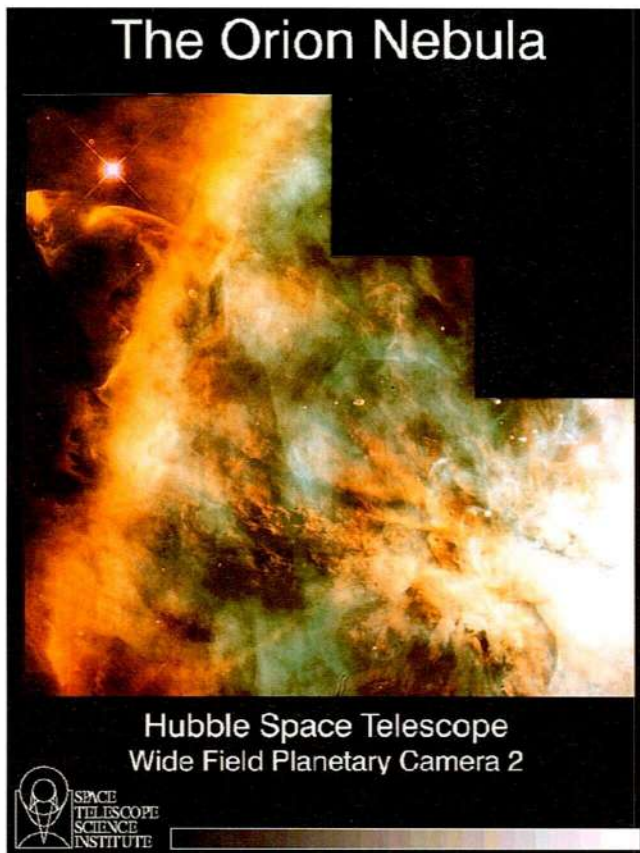
Sin embargo, había algunas, no muchas, que se salían de esa banda. Eran bastante rojas, y por tanto frías, pero muy luminosas. Se situaban arriba a la derecha del diagrama. ¿Cómo es posible que estando tan apagadas puedan brillar como las que están mucho más calientes? Eso sólo puede ocurrir si tienen mucha más superficie, si son de un volumen monstruosamente mayor que las otras. Así se llegó al concepto de **gigantes rojas**, muy importante en la teoría sobre la evolución que sufre una estrella a lo largo de su vida.

Otro grupo que se salía de la normalidad eran muy calientes pero muy poco luminosas. Tenían una masa considerable, y su poco brillo sólo se podía explicar con un tamaño muy pequeño. Así se la dio el nombre de **enanas blancas**. La más famosa quizá sea Sirio B, una compañera de la más brillante estrella del firmamento. Es diez mil veces menos brillante que Sirio A, por lo que tardó en ser descubierta. Sin embargo, produce tales tirones gravitacionales a su gran compañera que debe tener cerca de la mitad de su masa. Del tamaño de la Tierra, contiene tanta materia como el Sol, por lo que un ladrillo hecho de ella pesaría más que una locomotora.

Los astrónomos han estudiado la distribución en el Universo de las estrellas de los diversos tipos. En los brazos espirales de nuestra galaxia abundan las gigantes azules, lo contrario que en el bulbo central donde hay más abundancia de **enanas rojas**. Esto mismo ocurre a nuestro alrededor: de las 20 estrellas más cercanas a nosotros, 12 son enanas rojas. En general se piensa, que aproximadamente la mitad de las estrellas que existen en el Universo son de ese tipo, o incluso de otro aún más pequeño, las **enanas marrones**, que sólo consiguen emitir en el infrarrojo, como un rescoldo que está enfriándose. Por cada estrella más brillante que el Sol, hay diez menos brillantes. ¡No podemos quejarnos de nuestra estrella!

5.4 Nacimiento, vida y muerte de las estrellas

Según se iba conociendo mejor la composición de las estrellas, sus tamaños, etc., se fueron haciendo teorías sobre su nacimiento y evolución. Nuevos descubrimientos confirmaban unas y desautorizaban otras. En la actualidad hay cierto consenso en diversos puntos, que son los que aquí se exponen, aunque como en cualquier otro conocimiento científico, no haya que tomarlo de forma definitiva sino provisional, hasta que nuevos descubrimientos queden sin explicación y precisen de nuevas teorías.



Nebulosa de Orión, desde el HST. Se observan grumos de gas y puntos oscuros que deben ser glóbulos de Bok.

Las estrellas nacen de gigantescas nebulosas de gas, principalmente hidrógeno, que se va concentrando por efecto giratorio. Se forman unos glóbulos llamados **de Bok**, rodeados de un caparazón de polvo oscuro, visibles con frecuencia con telescopios como pequeños puntos negros contra el fondo luminoso de una nebulosa brillan-



Glóbulos protoestelares en la nebulosa de Orión. En su interior se está formando una estrella y quizá un sistema planetario.



Las Pléyades, conjunto de jóvenes estrellas que se formaron hace 60 millones de años. Todavía se distingue restos de la nebulosa original.

te. Con mucha frecuencia se engendran varias estrellas de la misma masa original y forman estrellas dobles, triples, etc. orbitando unas alrededor de las otras, o bien formándose pequeños cúmulos que después se van dispersando por su propia radiación, como ocurre en las Pléyades, conglomerado muy joven. Parece que estos conjuntos de estrellas son más frecuentes que las estrellas individuales. Sus interferencias gravitacionales hacen imposible que se formen planetas a su alrededor. Ese *añadido* planetario sólo es posible en estrellas individuales.

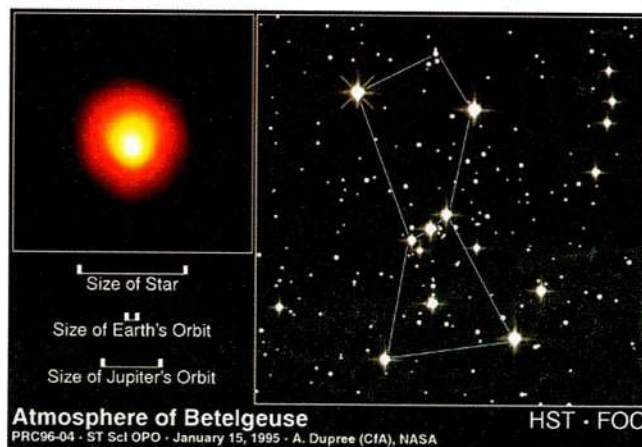
En cualquier caso, en un tiempo *cósmicamente* corto, del orden de varios millones de años, el núcleo central, al contraerse, se calienta a temperaturas altísimas. Si la masa final es menor que 0'07 veces la del Sol, se queda en una esfera caliente que emite sólo en el infrarrojo: se convierte en una **enana marrón**. Si es mayor que esa cifra, el centro llega a los 10 millones de grados. A esa temperatura los núcleos atómicos del hidrógeno (protones) adquieren tal velocidad que chocan entre ellos fundiéndose y formando átomos de helio en una reacción nuclear que desprende gran cantidad de energía: la estrella se enciende. Si la temperatura es aún mayor, otras reacciones nucleares más complejas se producen, desprendiendo aún mayor energía.

Si se dan las condiciones necesarias, se forma a su alrededor un **disco de acreción**, compuesto de gas y polvo, que queda en órbita, facilitando la formación de posibles planetas. En algunas estrellas, como en Beta Pictoris, se

han detectado ese tipo de discos. La joven estrella tarda un cierto tiempo en adecuarse a su estado, y pasa por un estadio de contracciones irregulares, en el que emite un flujo de partículas miles de veces más potente que el viento solar normal, que aleja los gases ligeros de su alrededor. Si ese flujo de partículas durara mucho, la estrella acabaría agotándose en pocos millones de años, pero afortunadamente sólo está en esa fase, llamada **T-Tauri** (nombre de una estrella variable prototipo de ese estado), unos cientos de miles de años, hasta que se estabiliza.

Según su masa, la joven estrella se sitúa en el diagrama H-R en algún punto de la secuencia principal. La duración de una estrella depende de esa masa, pero en contra de lo que pudiera parecer, en razón inversa. Las poco masivas, las **enanas rojas**, pueden vivir diez mil millones de años, casi tanto como la edad del Universo. Las gigantes azules se queman a gran velocidad, viviendo unos treinta millones de años de promedio. Supergigantes como **Rigel** o **Deneb** nacieron, todo lo más, cuando los dinosaurios se arrastraban sobre la Tierra. Incluso hay algunas estrellas en la nebulosa de Orión más jóvenes que el género humano. Ésta es una de las razones de que haya más enanas rojas: como duran más, hay más.

La estrella permanece en la secuencia principal mientras quema hidrógeno en su núcleo, aproximadamente el 90% de su vida. Su evolución depende de nuevo de su masa. Si es menor que la mitad de nuestro Sol, al terminar el hidrógeno se contrae sin que pueda llegar a temperaturas que puedan volver a encenderla. Nada puede evitar la caída sobre sí misma, rompiéndose la corteza electrónica de los átomos al aplastarse unos contra otros. El estado final de la materia se llama *degenerado*, compuesto por una *sopa* de electrones libres que vagabundean entre los núcleos. La temperatura es alta por la contracción, y la densidad muy alta. Se ha convertido en una **enana blanca**, que terminará enfriándose poco a poco. Si la estrella tiene una masa mayor que 0'5 soles (por ejemplo, nuestro Sol), al agotar su reserva de hidrógeno en el núcleo que ha convertido totalmente en helio, se produce un momento de indecisión y la estrella se contrae por gravedad hasta que nuevas masas de hidrógeno entran en fusión. Ese nuevo

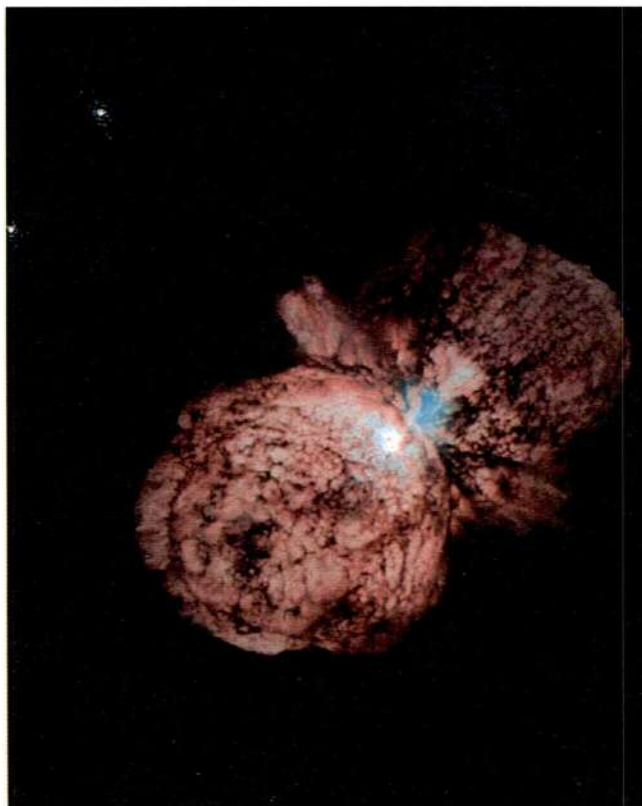


Betelgeuse, una supergigante roja en Orión, desde el Telescopio Espacial Hubble. Observa la comparación entre el tamaño de la estrella, el tamaño de la órbita de la Tierra y de la de Júpiter.

calor la hace hincharse monstruosamente hasta hacerse miles de veces más voluminosa de lo que era. Como la energía tiene mucha más superficie por la que salir, ésta se vuelve más fría y se convierte en una **gigante roja**, abandonando la secuencia principal: ha entrado en su *tercera edad*.

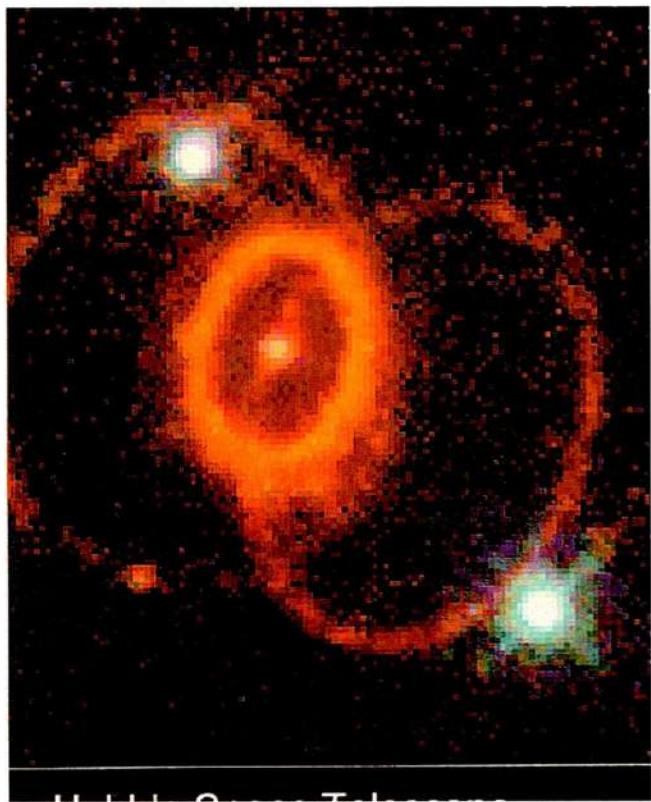
A partir de aquí, de nuevo hay varias historias de estrellas viejas, en función de su masa. Si está entre 0.5 y 6 masas solares (de nuevo es el caso de nuestro Sol), al concentrarse, el núcleo llega a 100 millones de grados y empieza a *quemarse* el helio, produciendo más energía, que la hinchan aún más. Se convierte en **supergigante roja**, tal vez millones de veces más voluminosa que en sus comienzos. En el caso de nuestro Sol, se tragará literalmente a la Tierra. Así está unos cientos de millones de años, hasta que empieza a faltar helio. La estrella se contrae y empieza a jadear en celestes estertores, hasta que exhala en un formidable suspiro final toda su corteza exterior, que pasa a formar una nebulosa planetaria similar a un gigantesco aro de humo. Su núcleo se colapsa en el centro convirtiéndose en una **enana blanca** hasta su extinción definitiva. Si la masa es mayor de 2.2 masas solares, antes del estallido final pasa por fases de *estrella variable* del tipo *cefeida* o *irregular*. En el colapso final, el cadáver que queda es tan masivo que los electrones se incrustan en los protones del núcleo, formando un montón de neutrones apilados, con una densidad increíble. Un simple dedal de esta materia pesaría millones de toneladas. Se ha formado una **estrella de neutrones**, de tamaño no superior a la Tierra.

Las estrellas más masivas que 6 soles pasan por más etapas. Al terminar de quemar el helio se contraen más, lle-



Eta Carinae, estrella que ha explotado al final de su vida.

gando a iniciarse la combustión del carbono a 700 millones de grados. De nuevo se hincha consiguiendo tamaños mayores que las supergigantes. Su color es rojo profundo, y su temperatura externa alcanza sólo los 2.000°. Son llamadas **estrellas de carbono**, que son todo un espectáculo en los telescopios. Si tienen suficiente masa pueden llegar a arrancar la combustión del oxígeno a 2.000 millones de grados, del silicio y del azufre a 3.500 millones de grados, hasta llegar al hierro. La fusión de núcleos de hierro no es posible, porque en lugar de expulsar energía tendría que absorberla. La estrella adopta una estructura de capas de esos diferentes elementos, llamada *estructura de cebolla*. Cuando sólo hay hierro en el centro, se produce un último colapso sobre sí misma, pero sin posibilidad de encender ya nada. En esa caída se van juntando cada vez más los núcleos y los electrones, hasta formar una estrella de neutrones. En ese momento toda la materia consiste en neutrones en contacto unos con otros. Ya no puede contraerse más y la caída a velocidades del orden de la cuarta parte de la de la luz se detiene de golpe, produciendo un rebote hacia atrás en forma de onda de choque que es el proceso más energético que se conoce en el Universo. La estrella explota convirtiéndose en una brillantísima **supernova**. Su luz aumenta millones de veces, a veces más que la que emite toda la galaxia a la que pertenece. La estrella salta en pedazos, formándose elementos pesados, como uranio, plomo, oro, etc. que no se han podido formar en su interior. En el centro de la explosión queda una estrella de neutrones que gira rapidísimamente (en un segundo da varias vueltas, a veces miles), llamada **púlsar**. Si la estrella originaria tenía una masa mayor que diez veces la solar, este núcleo se colapsa gravitacionalmente sobre sí mismo,



Anillos de gas en expansión, procedente de la supernova SN 1987.

formándose un **agujero negro**, del que hablaremos en la sección siguiente.

Por último hablaremos de las poblaciones de estrellas. El Sol, y también la mayoría de las estrellas vecinas, están formadas fundamentalmente por hidrógeno y helio, pero tiene una pequeña cantidad de elementos pesados como el carbono, hierro, plomo o uranio. Los elementos más pesados que el hierro no pueden ser sintetizados en la combustión ordinaria dentro de las estrellas, por lo que si están ahí es porque en la nebulosa originaria de la estrella había restos de supernovas. Por tanto, son estrellas *hijas* de otras previas. Como fueron las primeras que se descubrieron, se las designó como **población I**. Por tanto, son relativamente jóvenes y se suelen concentrar en los brazos de las galaxias. Posteriormente se descubrieron otras que apenas contenían esos elementos pesados. Eran en general rojizas y muy longevas, casi de la edad del Universo. Se suelen concentrar en los cúmulos globulares y en el bulbo central de las galaxias. Se les llamó **población II**, aunque sean realmente más antiguas que las de la población I. Por tanto, en general, la población I son estrellas modernas y blanco-azules y las de la población II son antiguas y rojizas.

5.5 Tipos de estrellas

5.5.1 Estrellas dobles

Como ya hemos dicho, con frecuencia las estrellas nacen de dos en dos, en un sistema en el que una gira alrededor de la otra, o más propiamente, las dos giran alrededor del centro de gravedad común. Suelen tardar varios años en dar una vuelta completa y a veces cientos o miles de años.

Una doble visible a simple vista es **Mizar y Alcor**, en la *Osa Mayor*. Sin embargo, en este caso es una doble visual, es decir, desde nuestra posición se ven juntas, pero

están muy alejadas entre sí, de tal forma que su gravedad no se interfiere. Con unos prismáticos o con un telescopio pequeño sí se pueden distinguir con frecuencia dos estrellas en donde parecía haber sólo una. En la mayoría de los casos, cuando dos estrellas se ven juntas es porque están juntas.

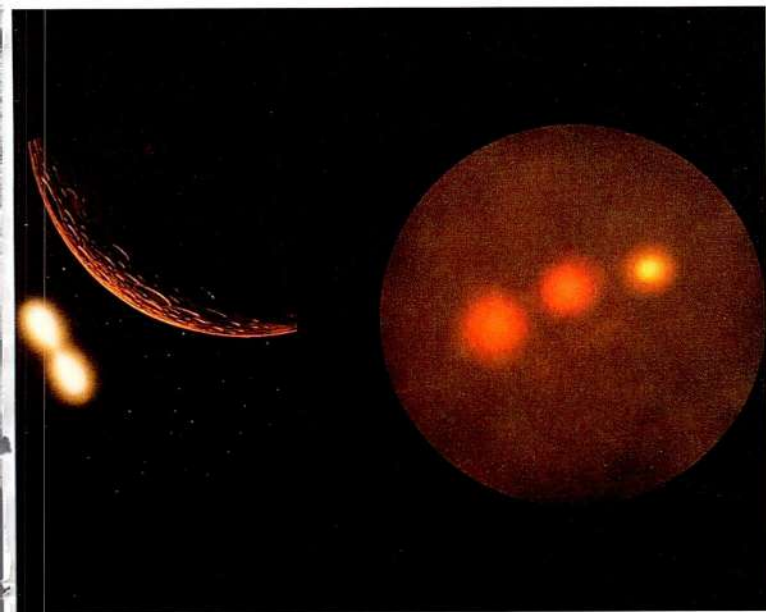
Al principio de siglo se pensaba que los sistemas dobles eran excepcionales, pero con la mejora de los telescopios se han ido descubriendo cada vez más. En un radio de 20 *parsecs* (64 a.l.) de nosotros hemos detectado 690 estrellas simples y 350 dobles, es decir, un 40% tienen compañera. En un radio la mitad, la proporción es del 53%, y si disminuimos aún más nos encontramos con que la mayoría son dobles. Probablemente no es que haya más en nuestras cercanías, es que las detectamos mejor. No hay que olvidar que muchas compañeras son muy pequeñas o están muy juntas entre sí. Casi parece que lo excepcional es que una estrella no tenga compañera, como ocurre con el Sol.

Para un astrónomo aficionado, una tarea gratificante es la observación de algunas de estas estrellas dobles y detectar los delicados contrastes de color entre la pareja. Se pueden ver conjuntos muy bellos, como **Albireo**, de color oro viejo y azul o ϵ **Bootes**, amarilla y azul verdosa. En la siguiente tabla aparecen las estrellas dobles mejores para ser vistas con pequeños instrumentos:

ESTRELLAS DOBLES				
Nombre	Magnitudes		Separación	Colores
η Cas	3'7	7'3	12"	Amarillo-Rojo
γ And	2'2	5'0	10"	Naranja - Blanco
ζ UMa (Mizar)	2'1	4'2	14"	Blanco - Verdosa
ϵ Boo	2'7	5'1	3"	Amarillo - Verdosa
α Her	3'1	5'5	5"	Naranja - Verde
β Cyg (Albireo)	3'3	5'5	34"	Naranja - Azul
γ Del	4'1	5'1	10"	Rosa - Verde
61 Cyg	5'2	6'0	29"	Roja - Muy Roja
γ Vir	3'7	3'7	3"	Amarillo - Verde

5.5.2 Estrellas variables

Ya desde antiguo nuestros antepasados observaron que algunas estrellas tienen un comportamiento que se sale de lo ordinario, y les pusieron nombres como *Mira*, la Maravillosa, o *Algol*, que en árabe significa Demonio. Por ejemplo, *Mira* llega a ser la estrella más brillante de la constelación de *Cetus* (la Ballena), de un color rojo fuerte y de magnitud 3. Sin embargo, según pasan los meses, va debilitándose hasta perderse de vista y tomar la magnitud 9. El proceso se repite cada 331 días. El caso de *Algol* es distinto: brilla normalmente, con magnitud 2'2, en la constelación de *Perseo*. Una vez cada 2'87 días desfallece de pronto y se transforma al cabo de 4 horas en una estrella rojiza más débil de magnitud 3'5. Al cabo de otras 4 horas recobra su brillo normal.



Dibujo de lo que podría ser una estrella múltiple.



Estrellas variables eclipsantes.

Hoy se conocen muchas estrellas que varían su luminosidad. Los científicos se esfuerzan en explicar cómo funcionan y cuáles son las razones de su comportamiento. De hecho, la observación de estas estrellas exige una asidua dedicación de muchos astrónomos profesionales y aficionados, siendo una auténtica especialidad dentro de la Astronomía.

La mayoría de las estrellas variables se pueden clasificar en dos tipos: las eclipsantes y las variables intrínsecas.

-Variables eclipsantes: se trata de dos estrellas que giran una alrededor de otra, en un plano que contiene a la Tierra. De esta forma, al pasar una estrella por delante de la otra se produce un eclipse, y la luminosidad total baja. Supongamos que la estrella A es más luminosa que la B. Mientras no hay eclipse, la luminosidad total es la suma de las dos. Cuando B pasa por detrás de A, la luminosidad total es la de A. Cuando B pasa por delante de A, la luminosidad total es menor que la de A. Así en la curva de luminosidad hay dos mínimos, uno más profundo que otro. Es el caso de *Algol* β de Perseo que oscila entre las magnitudes 2'2 y 3'4 en 2'9 días, o β de Lira, que lo hace cada 13 días entre las magnitudes 3'3 y 4'1. En este caso las estrellas están tan cerca, que forman una pera. Al girar presentan más o menos superficie emisora, y por tanto la curva de luz cambia continuamente.

-Variables intrínsecas: son estrellas que palpitan, normalmente por estar en un período crítico de su vida. Las más famosas son las *cefeidas*, por ser su prototipo δ de Cefeo. Son muy importantes en Astronomía porque sirven para calcular distancias en el Universo. Tienen períodos que van de pocos días a pocos meses. *Henrietta Leavitt*, a principios de siglo, estudió las cefeidas en las *Nubes de Magallanes*, pequeñas galaxias muy cerca de la nuestra. Todas esas cefeidas están de nosotros a una distancia similar, y observó que cuanto más luminosas, mayor era el período de variación. Por tanto, conocido el período de oscilación de una cefeida, se puede saber su luminosidad real. Como también se puede medir con un fotómetro la luminosidad tal como se ve desde la Tierra, se puede determinar la distancia a la que está la estrella. En la actividad 2 de la unidad 6 se usan estas estrellas para calcular distancias en el Universo.

Unas primas hermanas de las cefeidas son las *RR Lyrae*. Son más rojas y grandes, con períodos de horas. Tienen su propia relación período-luminosidad, distinto de las cefeidas.

También son famosas las del tipo *Mira*, cuya estrella prototipo lleva ese nombre. Tienen períodos mucho más largos, entre 100 y 600 días, y la oscilación de magnitudes es mucho mayor. Por ejemplo, *Mira* lo hace entre las magnitudes 2 y 9 en 331 días. A veces es una de las estrellas

más luminosas del cielo de otoño, y a veces no la vemos siquiera. Son supergigantes rojas que están cercanas a su muerte.

Por último, también hay variables que lo hacen sin período fijo. Se las llama lógicamente **irregulares**. En general, son estrellas en sus últimas etapas de vida, y por tanto supergigantes. Por ejemplo, la estrella μ Cephei, llamada *Granate*, que es una de las más rojas del firmamento, tiene un radio ¡como la órbita de Urano! Oscila entre las magnitudes 3'6 y 5'1. Por su color rojo profundo impresiona incluso al observador menos interesado.

En realidad, es rara la estrella que no varía su luz, aunque sea muy lentamente. En los tiempos de los fenicios α Draconis era la más brillante de esa constelación, y hoy ocupa el sexto lugar. *Hiparco* clasificó a α Hidrae entre las de 1ª magnitud, cuando hoy no se puede comparar con ellas. En otro tiempo α Ophiuci y α de Hércules tenían el mismo brillo y ahora una es cuatro veces más brillante que la otra. Esos cielos que parecen inmutables están, sin embargo, en perpetuo cambio...



Variable tipo Mira

5.5.3 Novas

De vez en cuando aparecen estrellas *nuevas* en el firmamento, que tras unos días de gran brillo se apagan y no se las vuelve a ver a simple vista. Estas estrellas que aumentan así su brillo no son realmente nuevas, sino más bien estrellas dobles en su período final.

Estas estrellas proceden de un sistema compuesto de una enana blanca y otra compañera, en general una gigante roja, orbitando entre sí a poca distancia. Como la enana es muy densa, consigue arrancar materia de su gran compañera, que va cayendo en espiral. Ese hidrógeno se deposita en la superficie de la enana, que por su gravedad elevada lo comprime. Cuando hay suficiente la presión consigue iniciar la combustión del hidrógeno, pero no en el núcleo como es habitual, sino en la superficie de la enana. Se produce como un estallido que dura sólo horas, pero cuyos efectos duran días, lo que dura la nova. Ese fenómeno puede repetirse de vez en cuando en la misma pareja, como de hecho se ha observado en varias de ellas.

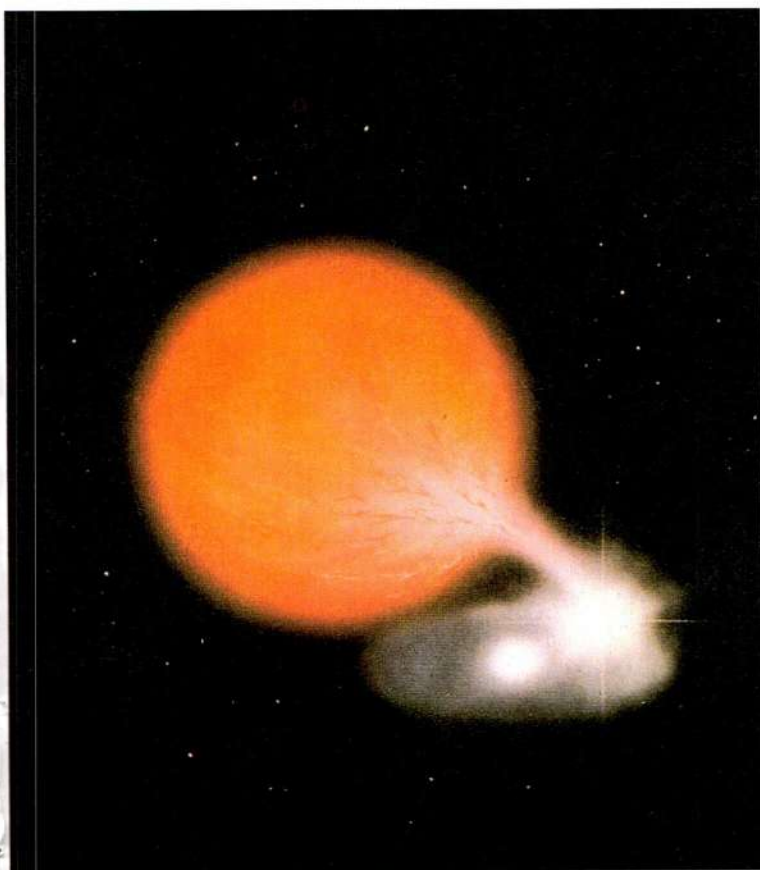


M1, nebulosa del cangrejo. Restos de una supernova que explotó en 1054. En su centro hay un púlsar, remanente de la estrella original.

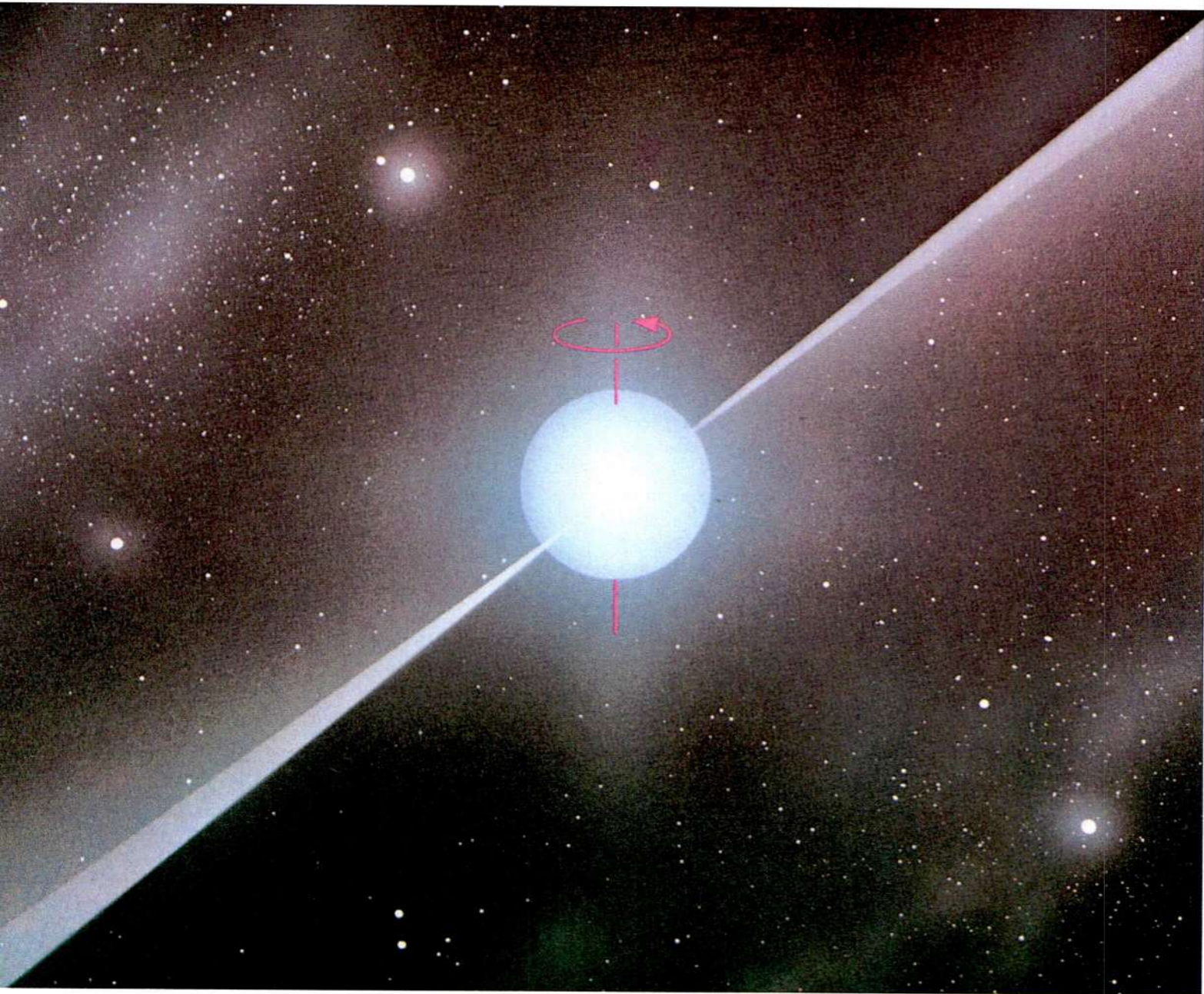
5.5.3 Supernovas

Ya hemos hablado de ellas como la fase final de estrellas muy masivas. Su funcionamiento es totalmente distinto a las *novas*: se producen en estrellas individuales, y su aumento de brillo es por una onda de choque final de la materia cayendo hacia el núcleo, que se hace sólido de repente. Es un fenómeno mucho más energético que las *novas*, y también mucho más infrecuente. La más antigua que se conoce es la nebulosa del *Cangrejo*, en Tauro. Los anales chinos cuentan que allí surgió una brillante estrella en el año 1054, que brillaba tanto como la Luna en cuarto creciente. Hoy quedan sus restos: un *púlsar* en su centro y un conjunto de gases que se separan de él a consecuencia de la explosión.

Una estrella que en cualquier momento puede explotar como supernova es *Betelgeuse*, en *Orión*. Tiene lentas convulsiones que la delatan como una supergigante en los últimos estadios de su vida. Uno de esos *suspiros* será el último.



Dibujo de una estrella nova.



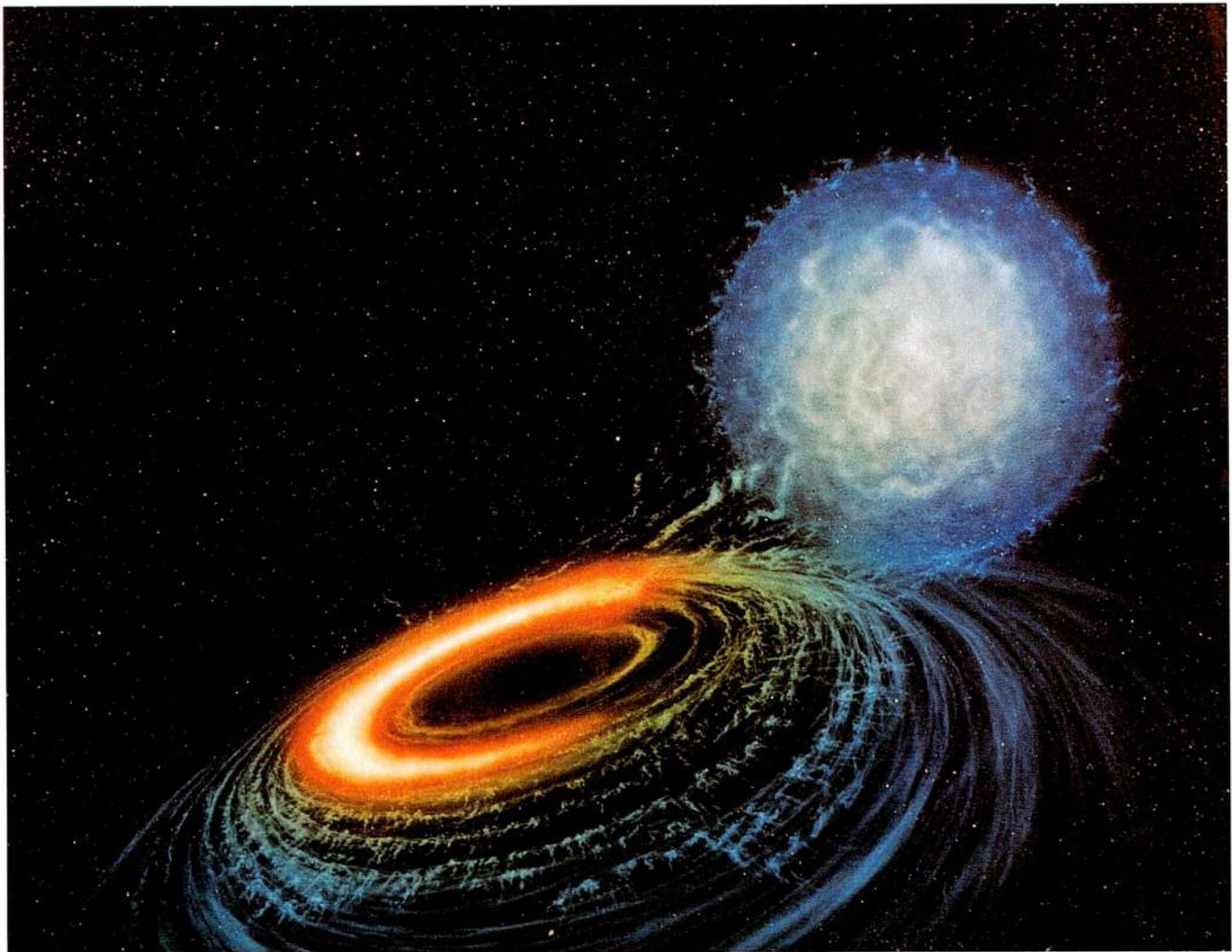
Dibujo de un púlsar. Su radiación actúa como un faro.

5.5.5 Púlsares

También hemos hablado de ellos en la evolución de las estrellas. Son estrellas de neutrones que giran a extraordinaria rapidez, producto de explosiones de estrellas masivas. La materia, al concentrarse aumenta su velocidad de giro, igual que un patinador que recoge sus brazos. El campo magnético de la estrella crea unas corrientes eléctricas y magnéticas en esa materia que la hace lanzar emisiones electromagnéticas por sus polos. Como el campo magnético no suele coincidir con el eje de giro —igual que pasa en la Tierra— esa emisión gira como un gigantesco faro cósmico. Si el chorro de emisión barre la Tierra, detectamos unas pulsaciones a un ritmo muy regular. En 1967 *Hewish* y *Bell* descubrieron el primero, en un punto donde no se observaba nada en el campo visible. Lo llamativo era la rápida repetición de impulsos, varias veces

por segundo, con una precisión asombrosa. Durante un tiempo se pensó que eran señales de extraterrestres inteligentes. Luego se descubrieron más radiofuentes pulsantes, entre otras la del centro de la nebulosa del Cangrejo, producida por una supernova, y se pudo explicar su procedencia.

El más rápido conocido gira más de 600 veces por segundo. Tiene 5 Km de diámetro y si girase sólo un 10% más rápido, se rompería por la fuerza centrífuga. Otro muy interesante es binario, llamado PSR 1913±16, en la constelación de *Águila*. El movimiento orbital mutuo en unos campos gravitatorios tan intensos producen unos pequeños retrasos en las emisiones que recibimos. *Hulse* y *Taylor* los han estudiado y confirman muchos postulados de la teoría de la relatividad, entre otros la emisión de ondas gravitacionales. Estos dos americanos recibieron el Premio Nobel en 1993 por esos estudios.



Agujero negro con una estrella en órbita.

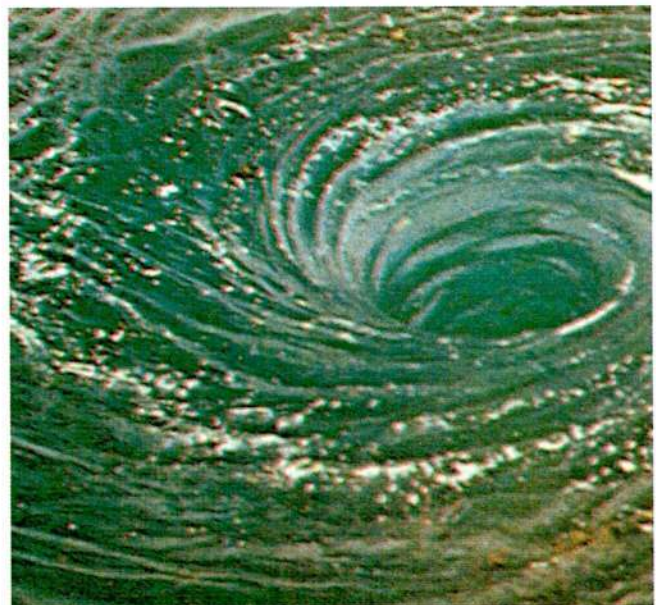
5.5.6 Agujeros negros

Si lanzamos una piedra hacia arriba, la fuerza de la gravedad va frenándola hasta que regresa de nuevo a nosotros. Si la velocidad con la que la lanzamos es mayor, conseguimos alturas elevadas, y si es de 11 Km/s, *velocidad de escape* de nuestro planeta, conseguiríamos que no volviera a caer.

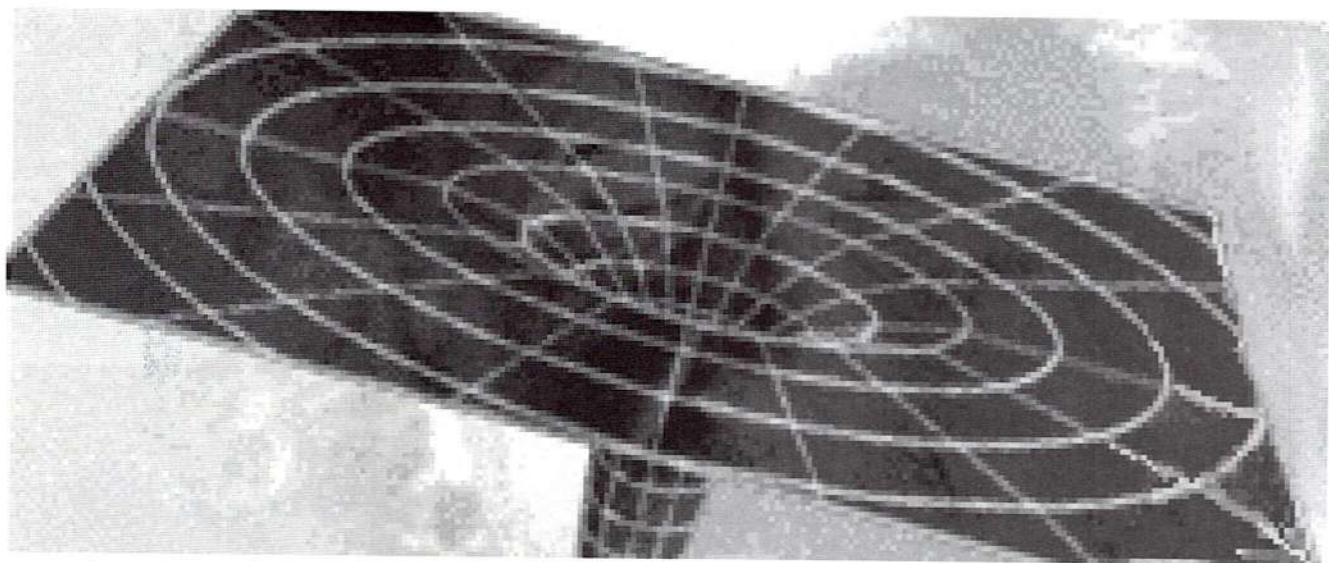
Si la Tierra se contrajera manteniendo su masa, la velocidad de escape sería mayor, ya que estaríamos más cerca del centro de la Tierra. Si se concentrara hasta un radio de 1 cm, la velocidad de escape sería algo mayor que la de la luz. Como nada puede sobrepasar esa velocidad, nada escaparía de su superficie, ni siquiera la luz. Se habría convertido en un pequeño agujero negro.

Desde un punto de vista teórico, puede haber agujeros negros de masas muy diferentes, y ni siquiera es necesario que ésta sea muy grande. Lo que sí que debe tener es una densidad suficiente para conseguir una velocidad de escape igual a la de la luz. Si tiene un radio menor que 3 Km multiplicado por su masa expresada en *masas solares*, lo consigue. Ese radio se llama *límite de Schwarzschild*, en honor del científico que lo calculó por primera vez. En el caso del Sol, lógicamente tiene 1 masa solar. Por tanto, si se contrajera hasta tener 3 Km de radio, se convertiría en

agujero negro. Sirio tiene 2'5 masas solares, por lo que necesitaría 7'5 Km de radio para convertirse en agujero negro. Antares, de 30 masas solares, se podría convertir en un agujero negro de 90 Km de radio.



Los agujeros negros son como sumideros de materia.



Como decíamos antes, teóricamente puede haber agujeros negros de masas muy pequeñas. Sin embargo sólo conocemos un mecanismo para que la masa se concentre tanto: el colapso gravitatorio, para lo que se necesitan masas muy grandes. Ya hemos visto la formación de estrellas de neutrones como cadáveres de estrellas de hasta 6 masas solares, pero si la estrella originaria es aún mayor, la gravedad es tal que su interior se colapsa sobre sí misma disminuyendo aún más su volumen y transformándose en agujeros negros. Por eso, en la práctica, los agujeros negros conocidos tienen masas mayores que varias veces nuestro Sol.

La densidad que tiene un agujero negro de varias masas solares es impresionante. Una canica hecha de su materia pesaría al menos como toda la Tierra. Es mucho mayor que la del núcleo atómico, donde las partículas están unas junto

a otras sin espacio entre ellas. Entonces, ¿cómo se puede producir? La respuesta es que en su interior la materia ya no es como la nuestra, formada básicamente de protones, electrones y neutrones. Y, según la teoría de la relatividad, no es sólo que la materia quede alterada, sino también el espacio y el tiempo. Lo que ocurre en su interior sólo podemos aventurarlo desde un punto de vista matemático, sin que podamos comprobar apenas nada, ya que prácticamente nada emerge de él para poder verlo.

Imaginemos una red de las que usan por seguridad los trapezistas, y sobre ella unas cuantas pelotas de goma. Si el trapezista pisa en el centro, deforma la red y hace que todas las pelotas vayan hacia él. De igual forma Einstein postuló que la masa deforma el espacio-tiempo a su alrededor, y esa deformación es la que produce que otros cuerpos sean atraídos por ella.



Corazón de la galaxia NGC 4261, en Virgo. En el centro hay un agujero negro que emite chorros de radiación.

En el caso del agujero negro, de densidad prácticamente infinita, la deformación que se produce es como un pozo sin fondo: un cuerpo que caiga en él es imposible que salga.

Como hemos visto antes, la Tierra se podría convertir en un agujero negro si se contrajera hasta un radio de 1 cm. En ese caso, la Luna no se enteraría, ya que la masa de la Tierra no ha aumentado: seguiría dando vueltas en órbita al minúsculo agujero negro. Sin embargo, si algo la frenara y cayera sobre la Tierra, ni el más gigantesco cohete que pudiésemos imaginar conseguiría levantarla un milímetro o ponerla de nuevo en órbita.

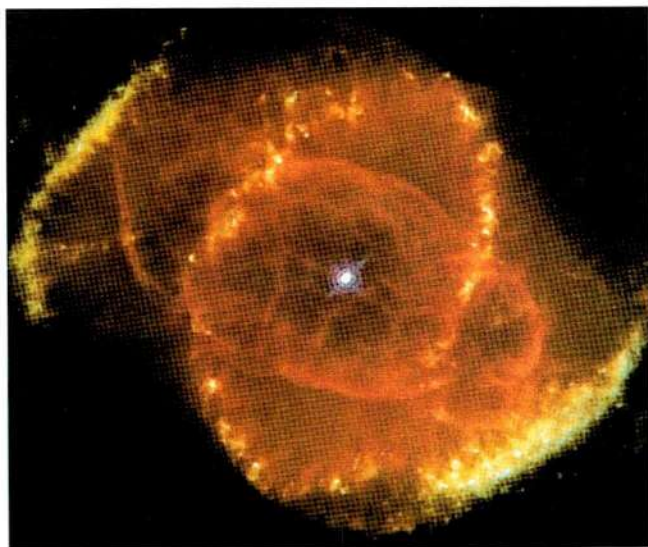
Por tanto, los agujeros negros no son monstruos que se vayan a tragar todo el Universo. Puede haber objetos en órbita, estrellas, gases, etc. Sin embargo, es frecuente que por el rozamiento, vaya tragando poco a poco lo que está en órbita, que va cayendo en espirales cada vez más cerradas y cada vez a velocidades mayores. Precisamente, si se han detectado diversos agujeros negros en el Universo ha sido a través de otros objetos visibles que giran en su órbita. Así se supone que en la mayoría de los centros de las galaxias hay enormes agujeros negros.

Justo en el centro de la nuestra no vemos nada, pero sí detectamos un anillo de gases que giran a su alrededor a velocidades de 120 Km/s e incluso mayores en su interior. Ello necesita en su centro una masa de tres o cuatro millones de soles, que sólo puede ser un agujero negro de radio algo mayor que nuestro Sol.

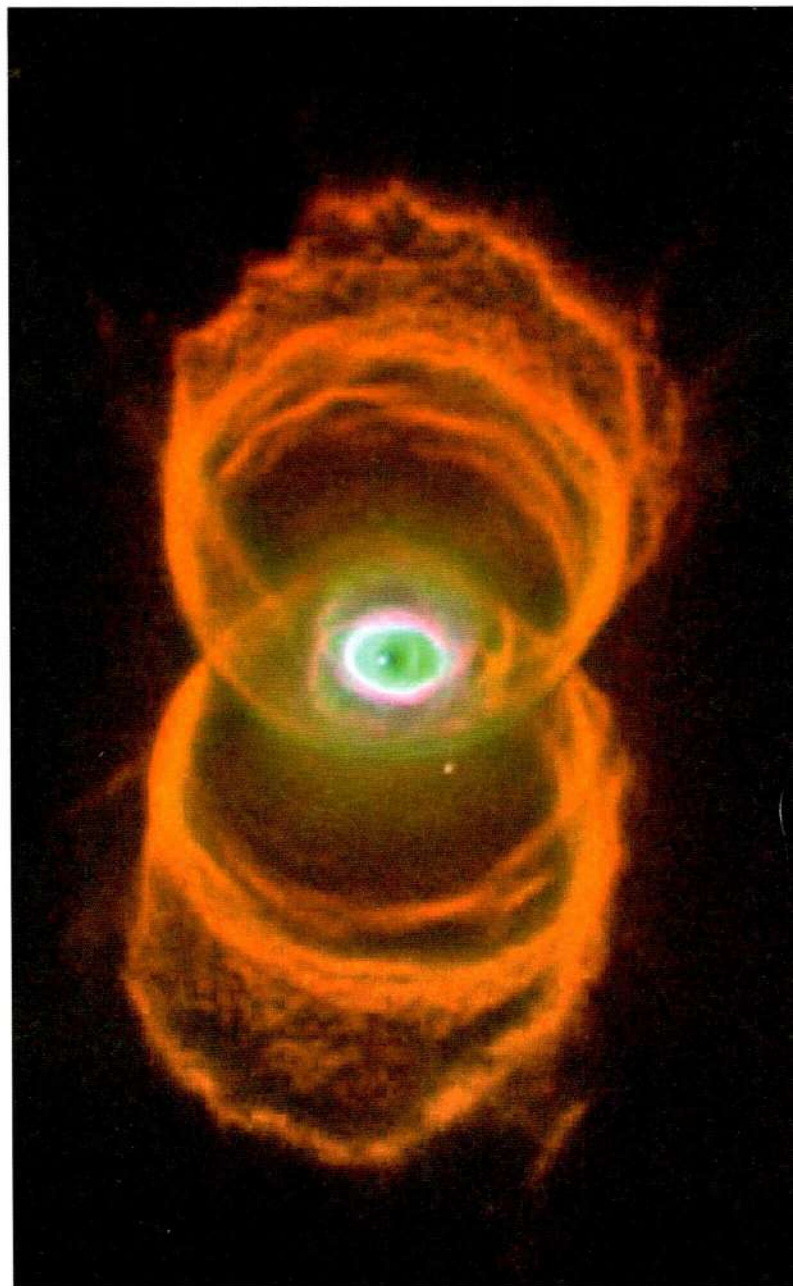
Esos gases que van cayendo en espiral hacia el agujero negro se van acelerando, llegando a tales velocidades que emiten la llamada *radiación sincrotrón*. Esa especie de *grito de espanto* de los gases que caen es lo único que podemos detectar desde la Tierra, antes de sumergirse en el *silencio* absoluto del invisible monstruo cósmico.

5.5.7 Nebulosas planetarias

El final de las estrellas medias como nuestro Sol será hincharse hasta convertirse en una supergigante roja, palpitara varias veces y desprender su capa gaseosa externa al



Nebulosa planetaria *Ojo de gato*, fotografiada desde el telescopio espacial Hubble.



Nebulosa planetaria "*Reloj de Arena*".

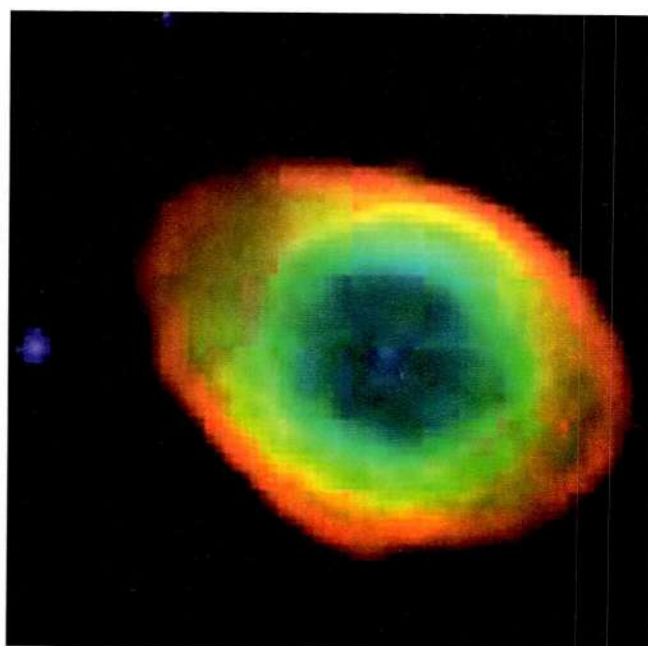
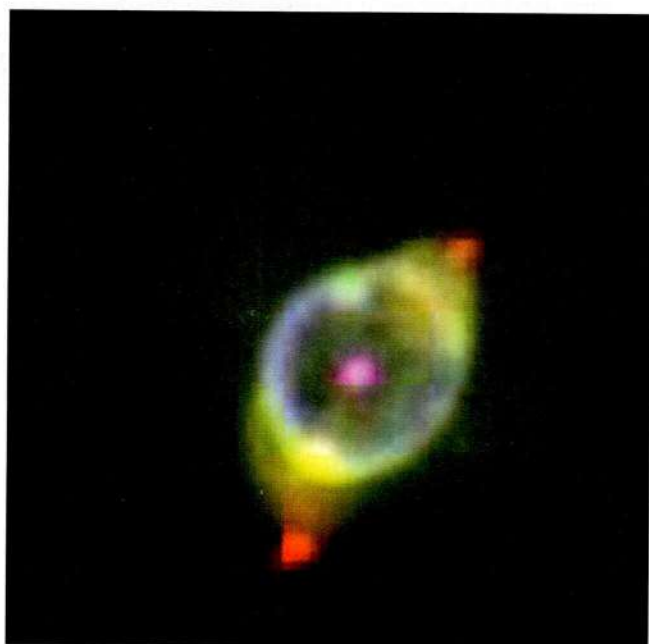
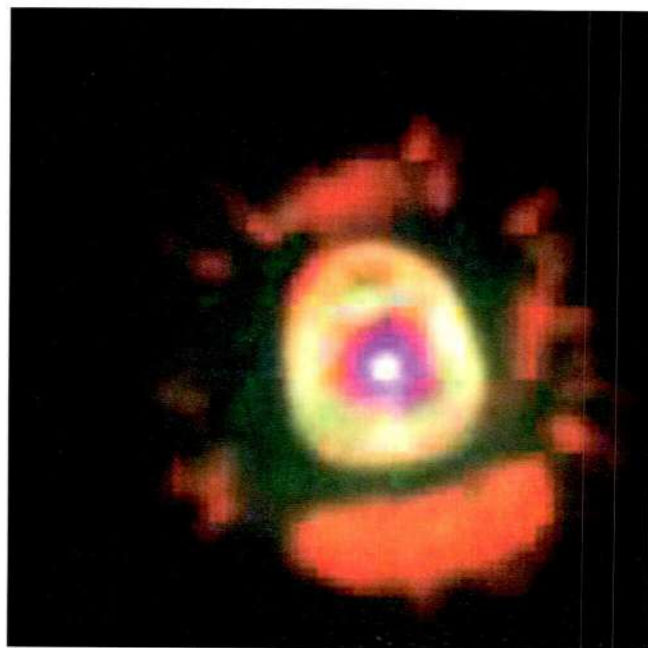
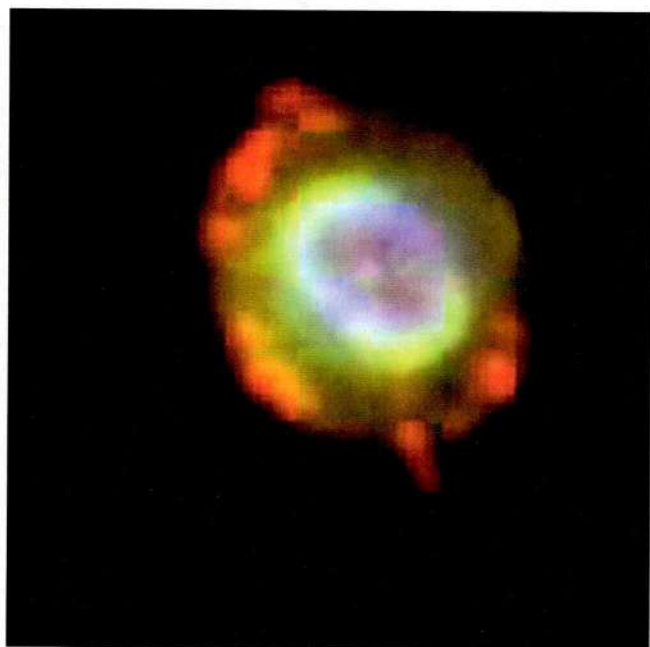
exhalar su último suspiro. En su centro quedará una enana blanca o un púlsar.

Con telescopios pequeños e incluso desde ciudades con mucha polución luminosa es fácil ver varias estrellas en este estadio final. Su aspecto es el de una pompa gaseosa, especialmente visible en su borde como un anillo, con una diminuta estrella en su centro. Se les llama *nebulosas planetarias*, con un nombre que realmente despista sobre su origen.

Con telescopios profesionales se consiguen fotografías de nebulosas planetarias realmente espectaculares. Con telescopios de aficionado lógicamente la visión no es ni mucho menos tan espectacular, pero sí lo suficiente como para ser uno de los objetivos preferidos por muchos. En la siguiente tabla se dan los datos de las principales nebulosas planetarias visibles con telescopios de aficionado:

NEBULOSAS PLANETARIAS

Objeto	Nombre	Constelación	Asc. Recta	δ	Diámetro	Magnitud
NGC 650	Pequeña Dumbell	Perseo	1h 40'	51° 28'	60"	11'3
NGC 1952	Cangrejo	Taurus	5h 32'	21° 59'	240"	8'4
NGC 2392	Esquimal	Gemini	7h 30'	20° 55'	15"	9'1
NGC 3242	Fantasma de Júpiter	Hidra	10h 25'	-18° 38'	16"	7'7
NGC 6543	Ojo de gato	Draco	17h 59'	66° 38'	18"	8'1
NGC 6720	Anular	Lyra	18h 52'	32° 58'	83"	9'3
NGC 6853	Dumbell	Vulpecula	19h 57'	22° 35'	480"	7'6
NGC 7009	Nebulosa Saturno	Acuario	21h 04'	-11° 22'	25"	8'0
NGC 7293	Hélice	Acuario	22h 30'	-20° 48'	769"	7'3
NGC 7662	Bola de nieve	Andrómeda	23h 26'	42° 33'	12"	8'3



Nebulosas planetarias NGC 7662, NGC 2392, NGC 3242 y NGC 6720.

Actividades

1 Medición de la distancia a la estrella de Barnard por paralaje

Objetivo: Ver como se puede hallar la distancia a la estrella de Barnard, situada en la constelación de Ophiucus.

Material: - Fotografía.
- Regla graduada en mm.

Procedimiento:

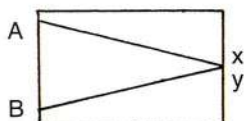
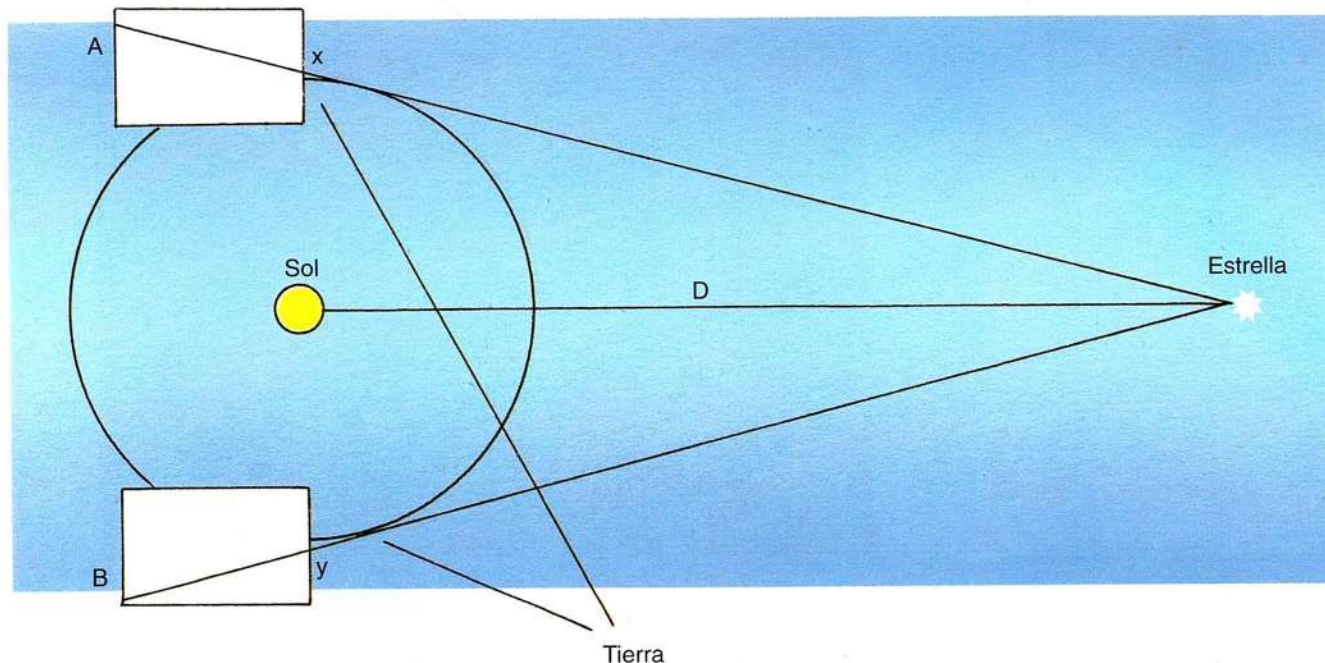
1. Los astrónomos usan el paralaje para determinar distancias a objetos dentro del Sistema Solar, tomando fotos simultáneas desde dos puntos de la Tierra suficientemente alejados. Sin embargo, el mismo método no puede ser usado al trabajar con estrellas, ya que dos telescopios situados en puntos opuestos de la Tierra no están separados suficientemente como para mostrar paralajes medibles. En su lugar, los astrónomos toman fotos desde el mismo observatorio pero en puntos opuestos de la órbita terrestre alrededor del Sol, es decir, distanciando las fotos 6 meses.

2. La fotografía de la página siguiente es realmente una superposición de 3, tomadas a intervalos de 6 meses. Está ampliada 10 veces. Todas las estrellas coinciden, excepto la estrella de Barnard, que son los tres puntos blancos que aparecen arriba a la izquierda.

3. El paralaje, debido al cambio de posición de la Tierra, es el corrimiento en la dirección O-E (izq-dcha). El movimiento vertical N-S es causado por el movimiento de la estrella a través del espacio. Aquí sólo nos interesa el primero.

4. El telescopio que tomó la foto tiene la longitud focal $L=10$ m. El diámetro **XY** de la órbita terrestre es 300.000.000 Km.

5. Mide el corrimiento horizontal de la estrella en la fotografía. Como está ampliada diez veces, el corrimiento **AB** real será diez veces menos. Con estos datos, calcula la distancia a la estrella con la fórmula (1). Pásalo a años luz ($1 \text{ a.l.} = 10^{13} \text{ Km}$).



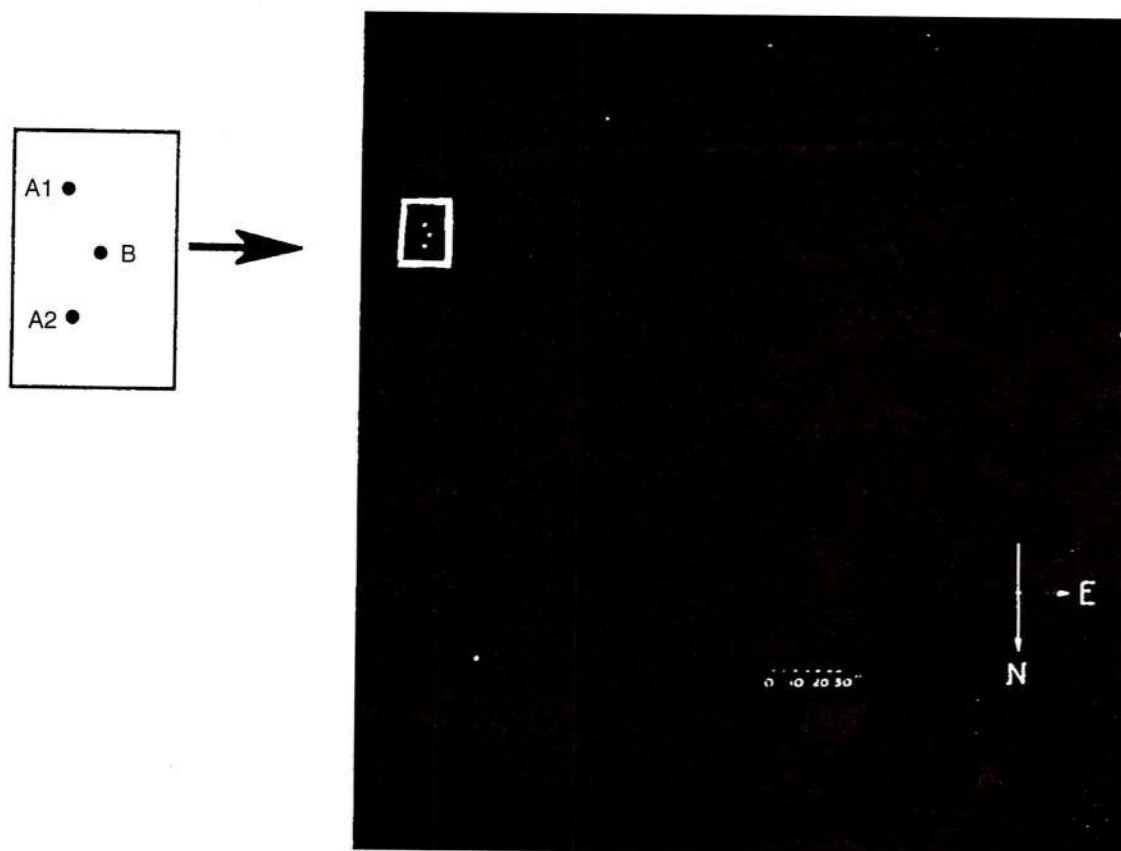
$$\frac{D}{XY} = \frac{L}{AB} \quad (1)$$

Cuestiones

En una foto sin ampliar tomada con el mismo telescopio de antes, la estrella más brillante del cielo, Alfa Centauro (o Rigil Kent) presenta un paralaje de 0.073 mm. Calcula su distancia en a.l.

La estrella más brillante en el Hemisferio Norte es Sirio. Presenta un desplazamiento de 0.035 mm. ¿A qué distancia está?

Otras estrellas brillantes que se pueden ver a simple vista desde el Hemisferio Norte son Procyon, en Canis Minor y Aldebarán, en Taurus. Tienen un desplazamiento por paralaje de 0.028 mm y 0.0047 mm respectivamente. Calcula su distancia hasta nosotros.



2 Estimación de la distancia a las estrellas usando una linterna

Objetivo: Estimar la distancia a la que están las estrellas más brillantes del cielo, comparándolas con una "estrella artificial".

Material:

- 30 cm de fibra óptica.
- Linterna con bombilla redonda.
- Metro.
- Papel de aluminio.
- Papel celo.

Procedimiento:

1. Quita el cristal delantero de la linterna y mide el diámetro de la bombilla.
2. Si no te lo proporciona el fabricante, tienes que medir el diámetro de la fibra óptica. Puedes estimarlo situando la fibra óptica junto a una regla graduada en mm y usando una buena lupa. Si quieres más precisión, puedes hacerte una diapositiva transparente, marcar en ella 1 cm, pegar la fibra e introducirla en un proyector de diapositivas. Si mides en la imagen proyectada el segmento en el que se ha convertido el cm dibujado y el diámetro de la fibra, puedes calcular la verdadera magnitud de éste por una simple regla de tres.
3. Con la ayuda del papel celo, sujeta el extremo de la fibra óptica perpendicularmente a la superficie de la bombilla.

4. Tapa el resto de la bombilla con papel aluminio, de tal forma que sólo salga luz a través de la fibra óptica. Ese punto de luz será tu "estrella artificial".

5. Calcula el área a de la sección de la fibra óptica y el área A de la superficie esférica de la bombilla. La potencia que sale por la fibra será:

$$\text{Potencia de la fibra óptica} = \text{Potencia bombilla} \cdot \frac{a}{A}$$

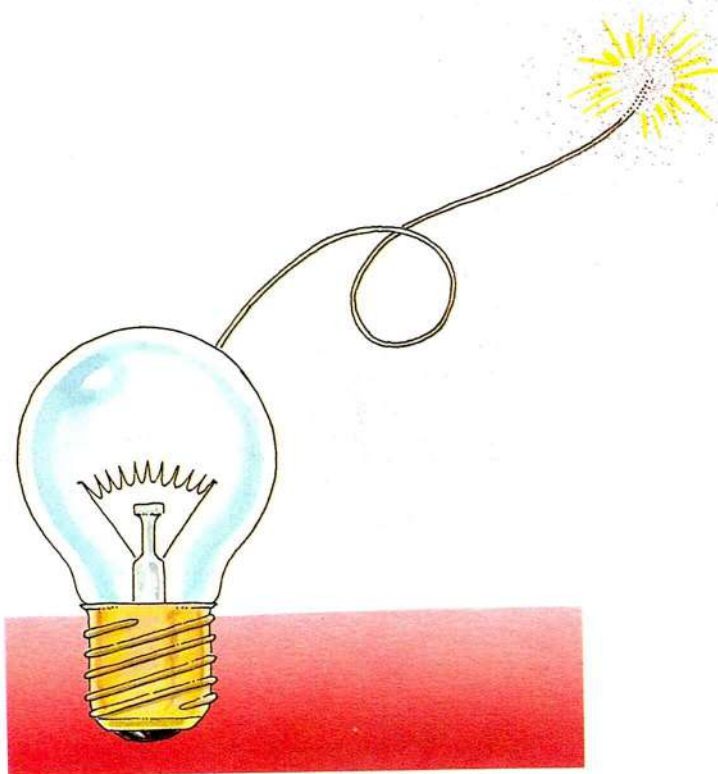
6. Por la noche, y con ayuda de un compañero, aleja tu estrella artificial hasta que la veas igual de brillante que una estrella del cielo. Mide la distancia d entre tu estrella artificial y tú, en metros.

7. Para estimar la distancia de esa estrella, necesitarías saber su potencia (llamada también luminosidad). Como no la sabes, supón que es igual a la del Sol ($\text{Pot} = 4 \cdot 10^{26} \text{ w}$).

7. Por tanto la estrella del cielo, de potencia $4 \cdot 10^{26} \text{ w}$ está a una distancia de nosotros D en metros. Como se ve igualmente brillante que nuestra estrella artificial de potencia p que está a una distancia d , se cumplirá:

$$\frac{4 \cdot 10^{26}}{D^2} = \frac{p}{d^2}$$

De donde puedes calcular D . Pásalo a años luz ($1 \text{ a.l.} = 10^{13} \text{ Km}$).



3 Cálculo de la distancia de las estrellas usando su magnitud aparente

Objetivo: Calcular la distancia a las estrellas usando su magnitud aparente y la luminosidad de las estrellas. También, calcular sus magnitudes absolutas.

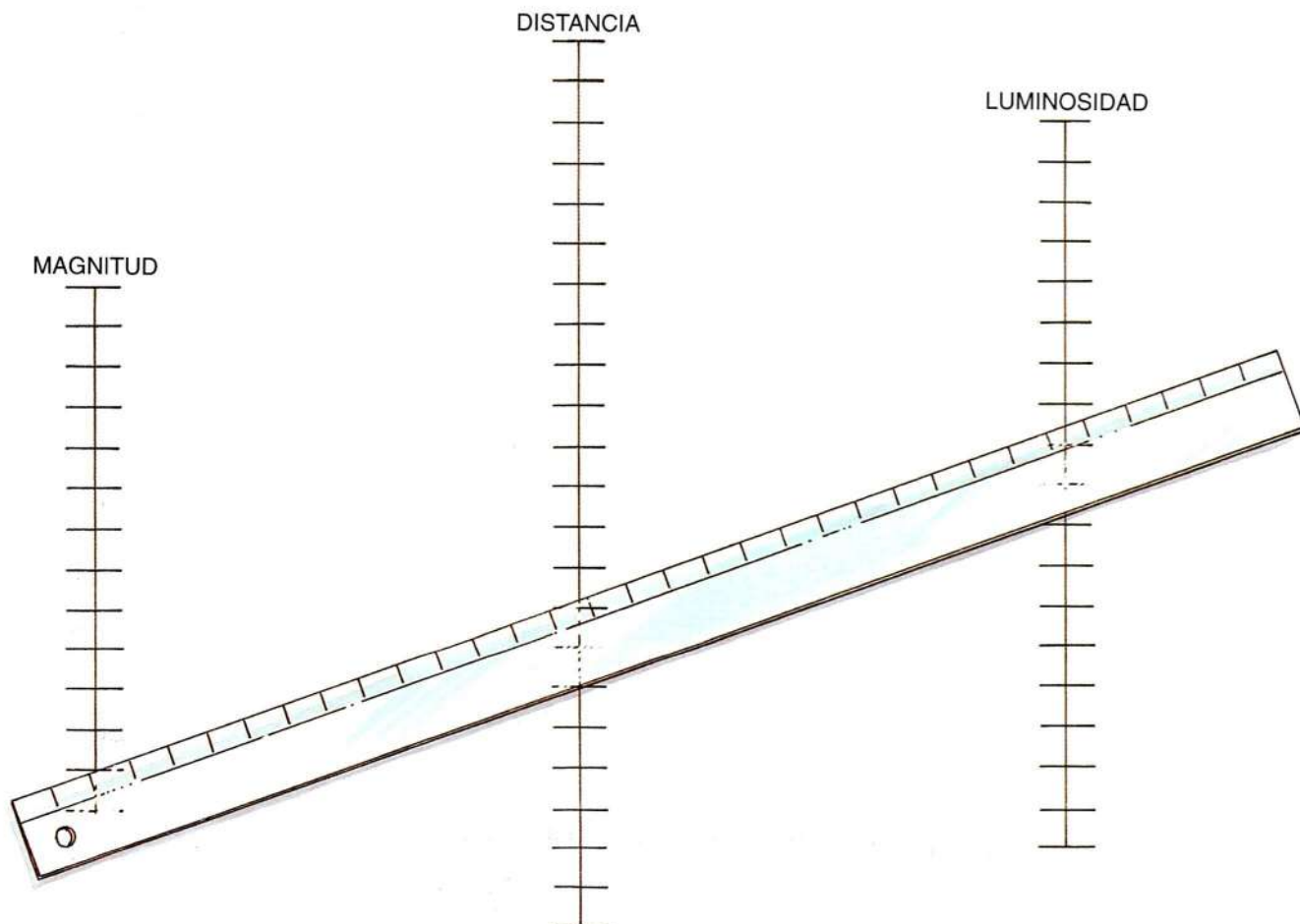
Material: - Nomograma M-D-L.
- Regla.

Procedimiento:

1. La magnitud aparente m de una estrella indica su brillo visto desde la Tierra. Dependerá de su luminosidad (potencia) P y de la distancia d a la que está. Estas magnitudes en dos estrellas, 1 y 2, se relacionan por una fórmula² que, por ser algo complicada, vamos a sustituirla por el nomograma M-D-L, que es un artificio gráfico que equivale a la fórmula. Los tres datos (magnitud aparente, distancia y luminosidad) de una estrella están siempre alineadas en el nomograma según una recta.
2. Algunas escalas son logarítmicas, por lo que sus divisiones intermedias no están separadas uniformemente. En el recuadro inferior del nomograma se indica, ampliadas, cómo son esas divisiones.

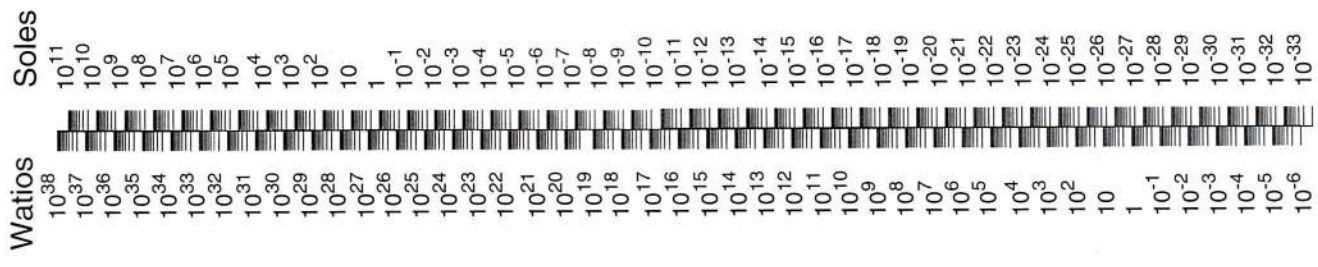
3. La distancia a Sirio se estima por paralaje en 9 a.l. Su magnitud aparente es $-1'5$. ¿Cuál es su luminosidad? ¿Es mayor o menor que el Sol?
4. La estrella visible más cercana a nosotros es Alfa Centauro, que está a $4'1$ a.l. Su magnitud aparente es 0. ¿Qué luminosidad tiene? ¿Es mayor o menor que el Sol?
5. Analizando la luz de una estrella y por otros datos, los astrónomos pueden determinar la luminosidad de una estrella. Betelgeuse, en Orión, tiene una luminosidad de $5 \cdot 10^{30}$ w, y una magnitud aparente de $0'4$. ¿A qué distancia está?
6. La estrella Polar tiene una luminosidad equivalente a 2.000 soles. Su magnitud aparente es de $2'0$. ¿A qué distancia está?
7. Rigel, otra brillante estrella de la constelación de Orión, tiene una magnitud aparente de $0'1$. Se estima que su potencia es de 3.000 veces la del Sol. ¿A qué distancia está?
8. Deneb es la estrella más brillante de Cygnus. Su magnitud aparente es $0'1$, y su luminosidad se estima en $4 \cdot 10^{30}$ w. ¿A cuántos años luz está de la Tierra?

² La fórmula es $m_2 - m_1 = 2,5 \cdot \log \frac{P_1 / d_1^2}{P_2 / d_2^2}$

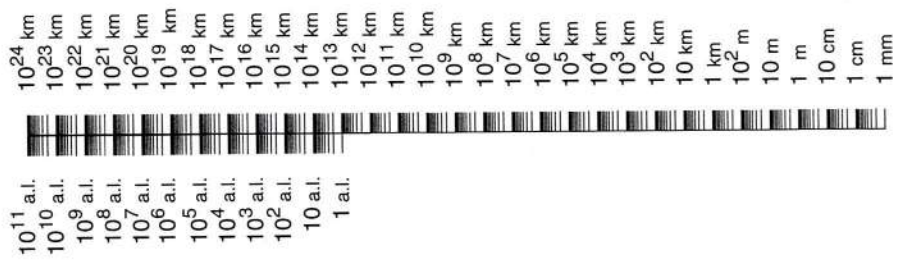


Nomograma M-D-L

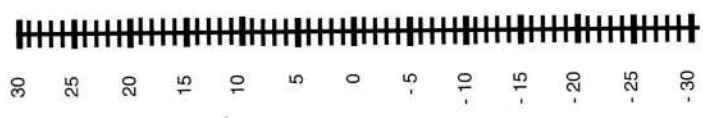
LUMINOSIDAD



DISTANCIA



Magnitud aparente



NOMOGRAMA M-D-L

En las escalas logarítmicas, las pequeñas líneas marcan las unidades intermedias, que no están equidistantes.

The diagram shows a logarithmic scale with major markings at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9. Between these major markings, there are smaller, non-equidistant lines representing intermediate units. An arrow points to the line between 5 and 6, labeled '5.5'.

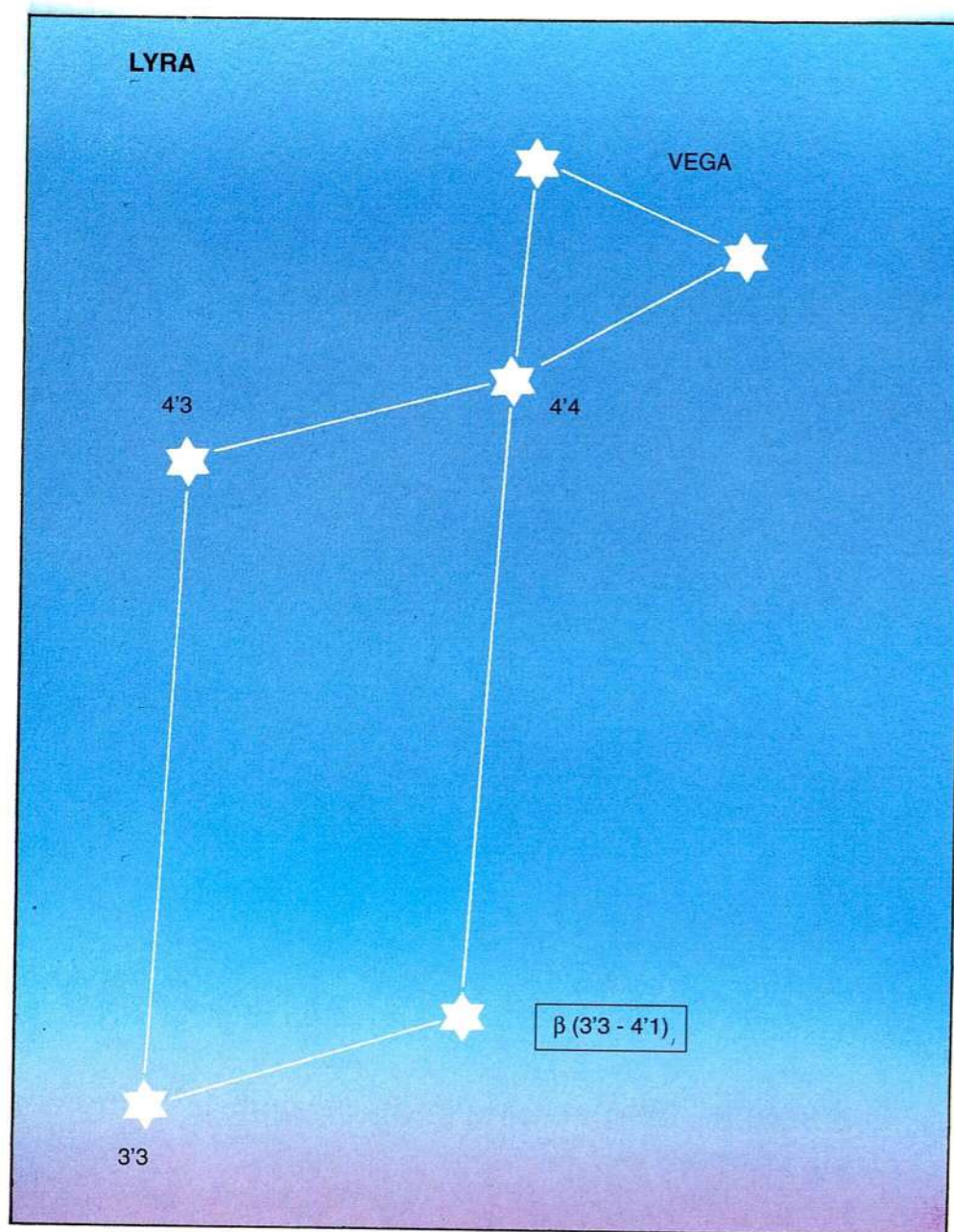
4 Dibujo de la curva de luz de la estrella variable β Lyrae

Objetivo: Observar las variaciones de luz de esta estrella, y determinar su período.

Material: - Prismáticos, si se tienen.
- Carta del cielo.

Procedimiento:

1. La estrella β Lyrae es una variable eclipsante, es decir, son dos estrellas que giran entre sí, casi en el mismo plano en el que las vemos. Desde la Tierra no es posible distinguirlas separadamente, pero sí su variación de brillo al producirse los eclipses.
2. Desde mayo o junio es fácil distinguir esta constelación, con su brillante estrella VEGA, de magnitud 0'1. En verano, sobre las diez de la noche, suele estar encima de nuestras cabezas, muy cerca del cenit. Localízala, y dentro de ella a β Lyrae.
3. En la carta del cielo adjunta están representadas las estrellas más brillantes de la zona próxima a Lyra. Compara el brillo de β Lyrae con ellas y estima cuál es su magnitud. Repite esta observación día a día, a la misma hora, durante dos semanas o mejor un mes.
4. Representa los datos en un gráfico, con los días en el eje horizontal y la magnitud estimada en el eje vertical. ¿Cuál es el período de las órbitas? ¿Cómo explicarías las distintas partes de la curva?



5 Modelo de agujero negro

Objetivo: Construir un modelo físico de la curvatura del espacio producida por una masa.

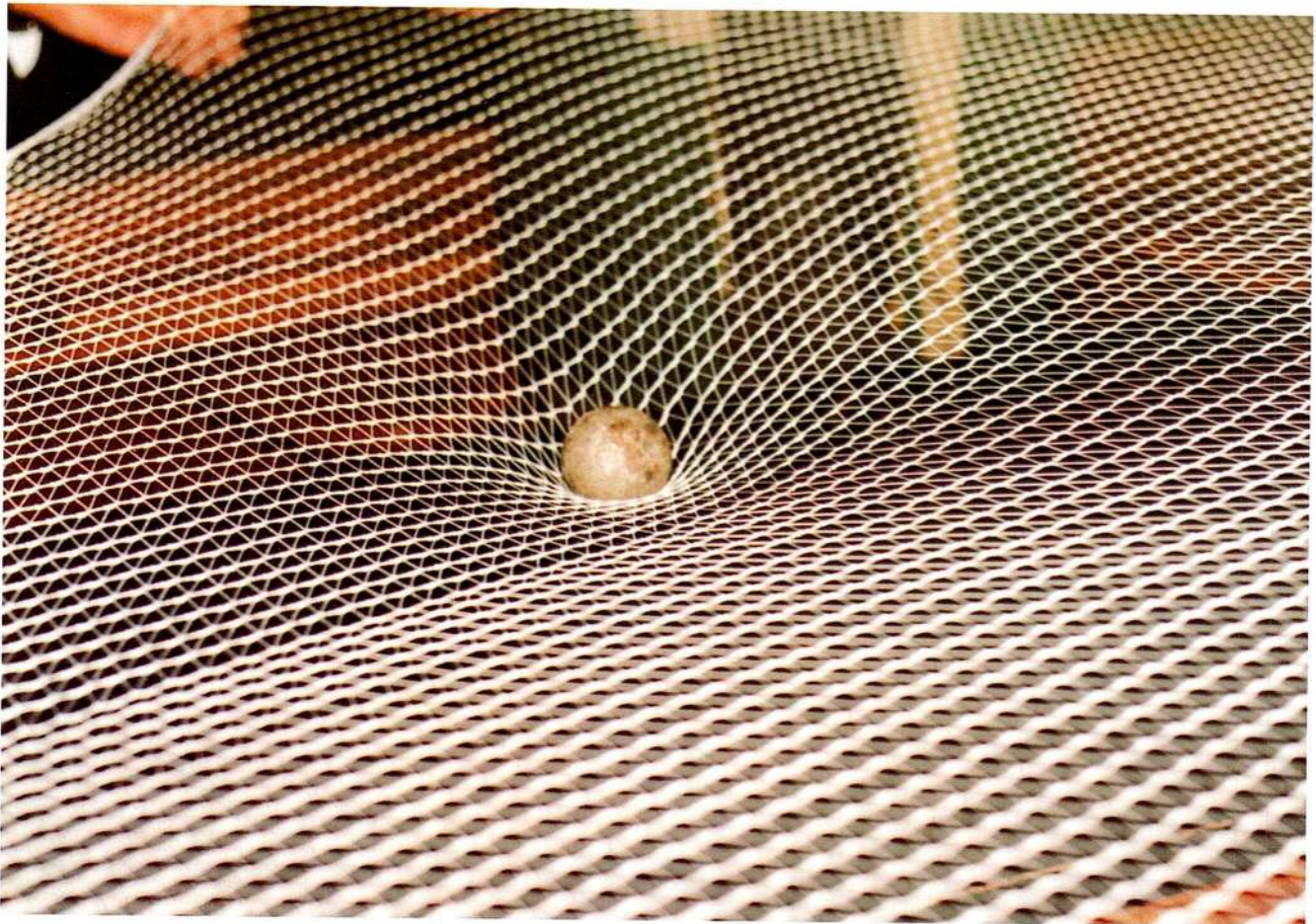
Material:

- Malla elástica para fijación de apósitos, tamaño grande. Se venden en las farmacias (p.ej. marca Tubifix).
- Esfera metálica o cualquier otro cuerpo pesado.
- Canica ligera.

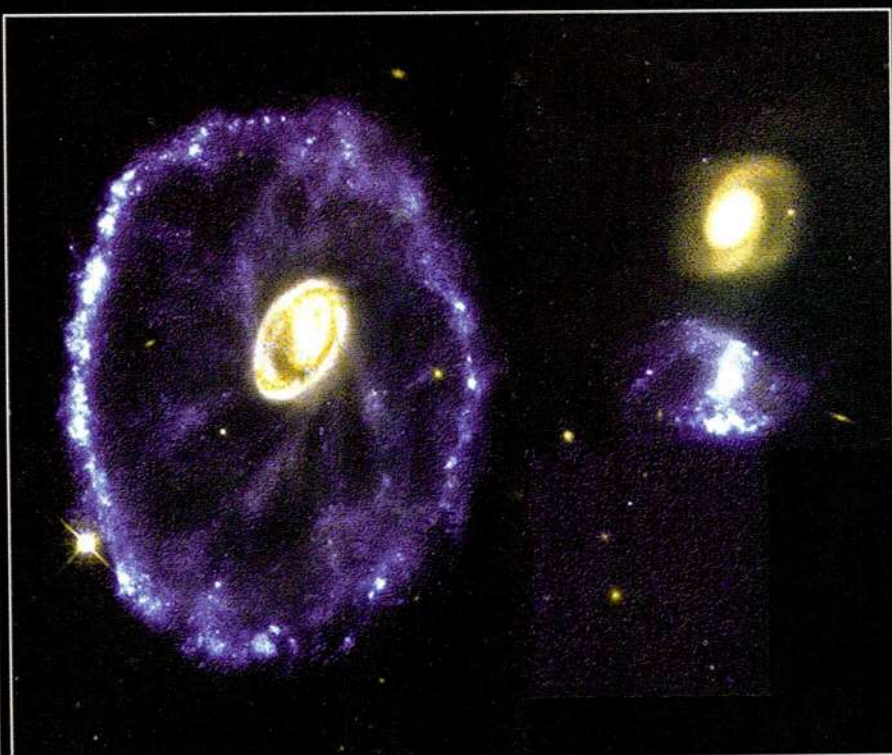
Procedimiento:

1. Corta unos 40 cm de la malla elástica. Si es tubular, córtala a lo largo de un lado para hacerla plana.
2. Con la ayuda de varios compañeros, estira la malla hasta que quede bastante tensa. Representa el espacio en dos dimensiones.

3. Haz que ruede por encima la canica ligera: su trayectoria es rectilínea, como la de un rayo de luz al viajar por el espacio.
4. Deposita un objeto pesado: la malla tensa se deforma. Si haces rodar rápido la canica cerca de la masa, su trayectoria se dobla por la deformación de la malla, como lo hace la luz al pasar cerca de un objeto masivo, que deforma el espacio a su alrededor.
5. Si esa masa se concentrara mucho, la curvatura de la malla aumentaría y se podría producir una especie de "pozo", del cual no sería capaz de salir una canica que entrara en él. Es lo que ocurre con los agujeros negros: su gravedad deforma tanto el espacio que la luz o cualquier otro objeto no puede salir de él.



6 LAS GALAXIAS



Cartwheel Galaxy

PR95-02 • ST Sci OPO • January 1995 • K. Borne (ST Sci), NASA

HST • WFPC2

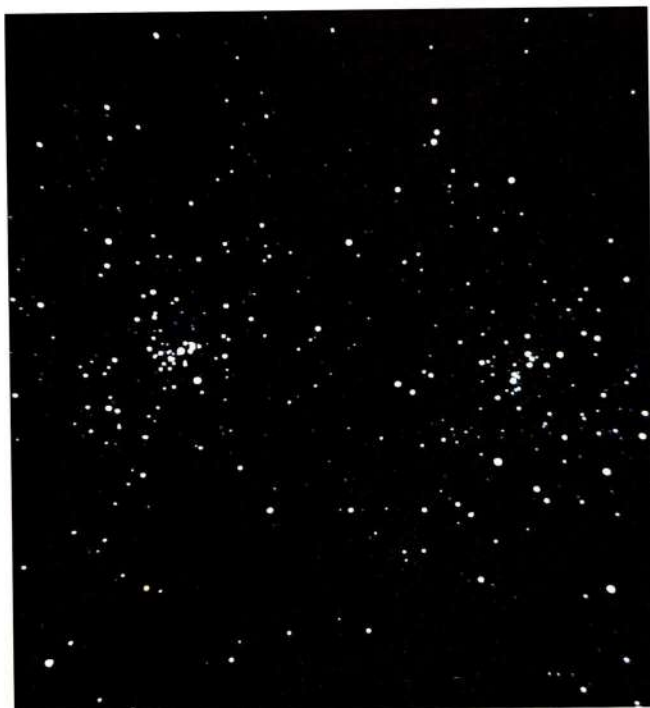
12/23/94 zgl

6.1 Cúmulos estelares

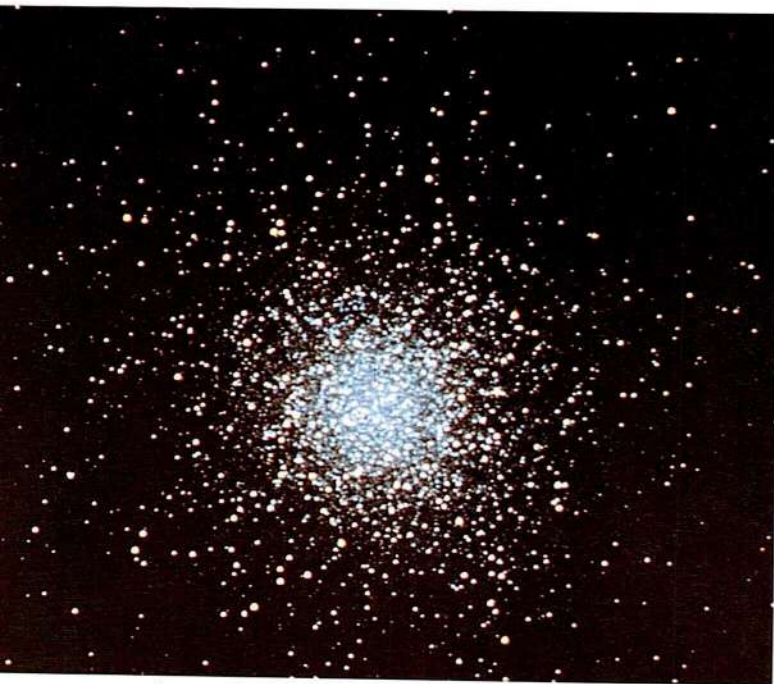
Si miramos al cielo en una noche estrellada, la primera impresión que se saca es que las estrellas se distribuyen de una forma aleatoria, parecida a la que tendría un puñado de arena echado sobre una mesa. Sin embargo, una observación más atenta detecta una cinta irregular que atraviesa el cielo, donde la concentración estelar es tal que le da un cierto aire lechoso: es la *Vía Láctea*. Además, también se observan pequeñas agrupaciones aquí y allá, que llamamos *cúmulos abiertos*. Se necesita un telescopio para descubrir pequeños apelotonamientos de miles de estrellas, como pequeñas bolas que llamamos *cúmulos cerrados*.

De la *Vía Láctea* nos ocuparemos más adelante. Ahora vamos a centrarnos en los dos tipos de cúmulos estelares: los abiertos y los cerrados.

Los **cúmulos abiertos** son un bello espectáculo en el cielo, algunos observables a simple vista. Quizá el más famoso es *las Pléyades*, en la constelación de *Tauro*. A simple vista se distinguen 6 ó 7, como una *Osa Mayor* en miniatura. Con prismáticos se ven varias decenas, y con



Doble cúmulo abierto, entre Perseo y Casiopea.



Cúmulo globular M 13, en Hércules.

telescopio unas trescientas. Otro cúmulo abierto cercano a él son las *Híadas*, alrededor de la brillante estrella *Aldebarán*, en *Tauro*. Es más disperso que las *Pléyades* y por tanto menos espectacular. Entre él y *Leo* hay otro famoso, *el Pesebre*, cuyas estrellas son débiles y a simple vista tiene aspecto de nube lechosa. Los ingleses le llaman *Beehive*, *el Enjambre*. Entre *Perseo* y *Casiopea* es fácil ver el *Cúmulo doble*, dos agrupaciones juntas. En la zona de *Sagitario* también hay varios, como corresponde a la zona más abigarrada de la *Vía Láctea*, donde se localiza la parte central de nuestra galaxia.

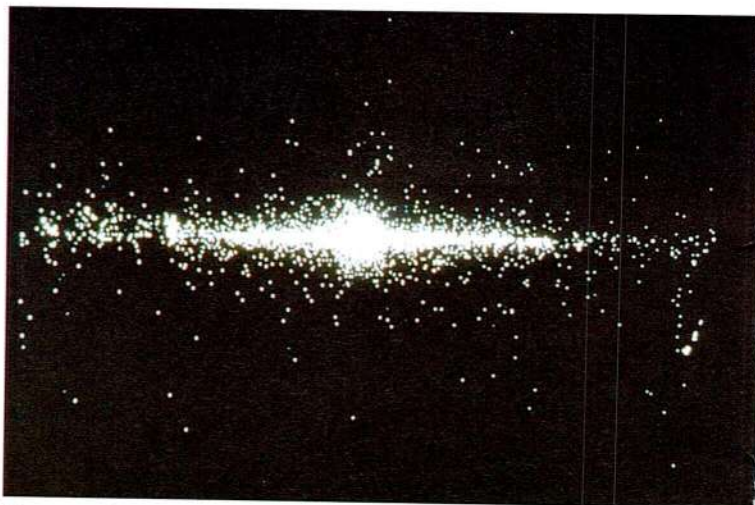
En general estos cúmulos tienen cientos de estrellas. Tienen un origen común, y por tanto mantienen el desplazamiento a través del Universo que tenía la nebulosa que le dio origen, es decir, viajan como en familia, dispersándose poco a poco. Si aún conservan elementos es señal de que se formaron no hace mucho. Suelen estar en el plano galáctico y a no mucha distancia de nosotros, a menos de 5.000 años luz.

Muy distintos son los llamados **cúmulos globulares**. Consisten en centenas de miles de estrellas apelotonadas en forma esférica, y a mucha distancia de nosotros, entre 50.000 y 200.000 años luz. Forman parte de nuestra galaxia, pero casi ninguno está en el plano galáctico. Están por encima y debajo de él, como si fueran satélites, formando un halo. Tardan más de cien millones de años en dar una vuelta a su gigantesca órbita.

Analizando sus estrellas se observa que son todas muy viejas, la mayoría enanas rojas. Muchas de ellas son tan viejas como el Universo. La densidad en su interior es muy alta, del orden de mil estrellas por año-luz cúbico. Recordemos que la estrella más cercana a nosotros, (*Centauri*, está a casi 5 a.l. Si estuviésemos en el centro del cúmulo globular, en esa distancia encontraríamos 50 estrellas, tan brillantes por su cercanía que las veríamos a plena luz del día. En la noche brillarían en nuestro cielo diez mil estre-

llas más brillantes que Venus, siendo realmente noches espectaculares y muy luminosas.

Debido a esta alta densidad, el choque entre estrellas debe ser frecuente. Cuando se llegue a conglomerados de masa suficiente se producirán colapsos gravitatorios con enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros como resultado.



Nuestra galaxia, con los cúmulos globulares a su alrededor.

El cómo se formaron, muchos de ellos antes que la galaxia, es un misterio. Lo que ocurre en su interior, en buena medida también. Lo que nadie puede negar es que están ahí.

6.2 Nebulosas

En determinadas zonas del cielo se observan pequeñas nubes plateadas, en general de muy poco brillo. Pero usando la fotografía, que va acumulando durante horas la luz que recibe, se consiguen registrar las más bellas imágenes del firmamento: nubes difusas como en expansión, mezcladas con torbellinos oscuros o brillantes, de formas totalmente caprichosas. Una recuerda a un águila, otra a Norteamérica, a una rosa o a un caballo.

Lógicamente, las más conocidas son las *visibles*, pero el gas oscuro que emerge sobre ellas en muchas ocasiones nos hace suponer que la mayor parte no son visibles. Se han detectado también muchas que emiten sólo en el infrarrojo.

En el espacio interestelar casi reina el vacío absoluto, pero sólo casi. Se estima que hay un átomo por cada centímetro cúbico aproximadamente. Esta materia se puede ir juntando en diversas zonas, y llegar a densidades millones de veces mayor. Aún así sigue reinando el casi-vacío: en nuestra atmósfera hay trillones de trillones de átomos por centímetro cúbico. Pero, en fin, al menos es algo. Esas concentraciones se llaman nebulosas. A veces constituyen un nido donde nacen estrellas que, una vez encendidas iluminan la nube con un esplendor magnífico. Es el caso de la parte central de la nebulosa de Orión, detectable a simple vista. En otras ocasiones, la luz ultravioleta de esas



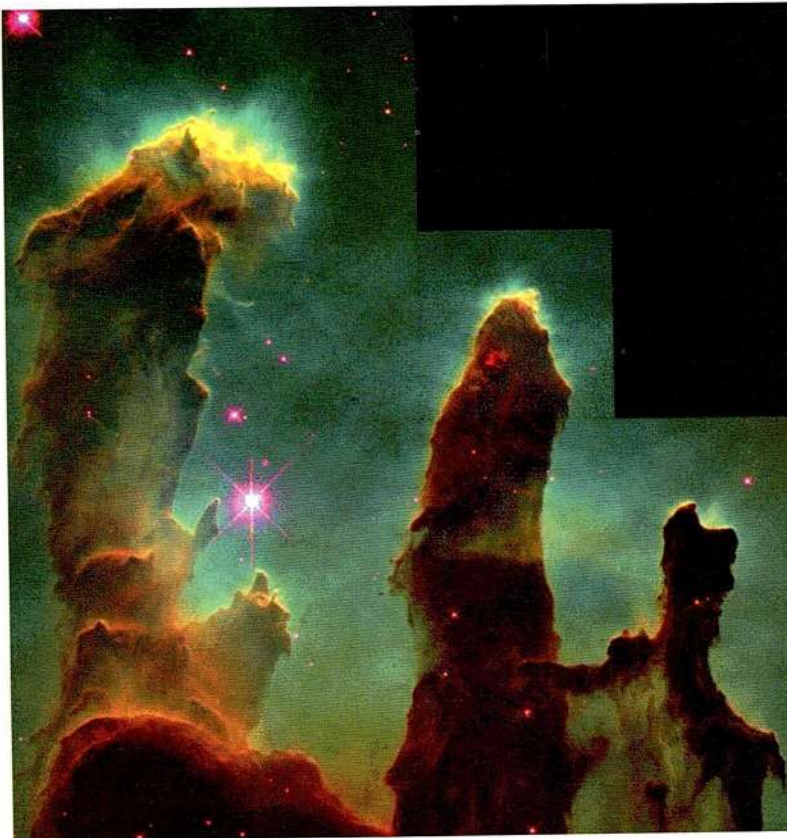
Nebulosa del caballo.

estrellas cercanas arranca electrones al gas de la nebulosa y lo ioniza. Se produce una serie de capturas y arranque de electrones que emite una ligera luz, especialmente rojiza. Son nebulosas de emisión.

También hay otras nebulosas que son los restos de la explosión de supernovas. Suelen ser filamentosas y con elementos químicos pesados en su interior. Ejemplos son la del *Velo*, en el *Cisne*, la del *Cangrejo*, en *Tauro*, o la de *Gum* en *Vela*.



Nebulosa Rosseta.



Nebulosa M 16 fotografiada por el Telescopio Hubble. El gas está iluminado por las estrellas vecinas.



Ampliación de M 16. Cada nódulo formará probablemente una nueva estrella.



Representación artística de la Vía Láctea.

6.3 Nuestra galaxia: la Vía Láctea

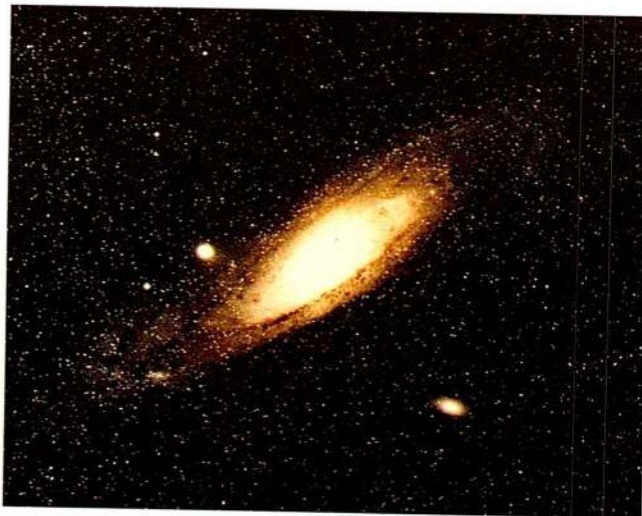
En nuestra observación del cielo a simple vista, en zonas de poca contaminación lumínica, enseguida destaca la *Vía Láctea*, que en España también toma el nombre de *Camino de Santiago*. En el Hemisferio Sur también existe y en la zona de *Sagitario* se hace más luminosa. Es nuestra galaxia (del griego *galaks*, leche). Merece la pena echar una ojeada con prismáticos a la *Vía Láctea*. Nos quedaremos impresionados del número de estrellas que vemos.

A base de observaciones similares a las de la actividad 4, los astrónomos han podido deducir su forma y nuestra posición en ella. Resulta tener forma de platillo volante, es decir, un disco y un bulbo central. El diámetro total es de 100.000 a.l., y la del bulbo central 10.000 a.l. El Sol está situado a 20.000 a.l. del borde. El espesor del disco es de unos 3.000 a.l. de media. Fuera del plano de la galaxia se sitúan los *cúmulos globulares*, de los que ya hemos hablado.

El disco no es uniforme, sino que posee cuatro brazos espirales: el nuestro, en la dirección de *Orión*, otro hacia *Perseo*, un tercero en *Sagitario* y el cuarto, quizá unido a

éste, en dirección a la *Cruz del Sur*, en el hemisferio austral. La galaxia contiene unos 300.000 millones de estrellas. Todas las que se ven a simple vista pertenecen a ella.

El bulbo central de nuestra galaxia está en la zona de *Sagitario*. Por eso allí es más intensa la densidad de estrellas. Sin embargo, nubes de polvo oscuro nos tapan la

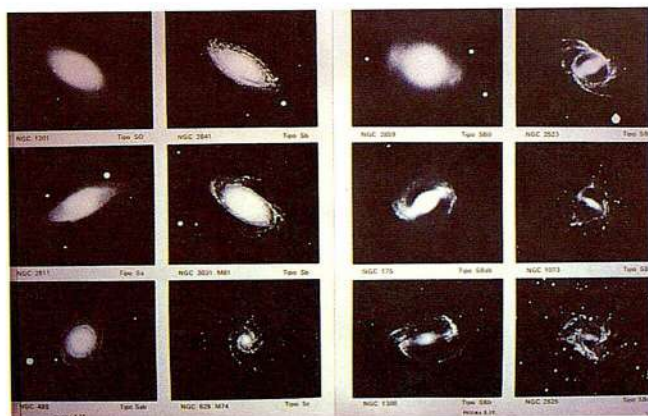


Fotografía de Andrómeda, galaxia semejante a la nuestra.

visión de esa parte central, que debería ser grandiosa. Sólo puede ser observado en otras longitudes de ondas distintas de las de la luz visible: infrarrojo, radio, rayos X, etc. Parece que justamente en el centro hay una fuente puntual de fuertes emisiones de radio, rayos X y rayos gamma. Se la llama *Sagitario A*. Quizá un agujero negro descomunal, como parece que existe en todos los centros galácticos. Allí las estrellas son de población II, es decir, viejas y rojas, agrupadas densamente.

El disco está formado por estrellas de población I, es decir, jóvenes y ricas en elementos pesados. Gira alrededor del centro una vez cada 200 millones de años. Como la edad estimada de nuestro Sol son 5.600 millones de años, resulta que ha dado unas 28 vueltas, tiene 28 años galácticos. Sin embargo, un problema hasta hace poco no resuelto era por qué toda la galaxia gira prácticamente a la vez, cuando lo lógico sería que las estrellas más alejadas fueran más despacio, como ocurre en los planetas alrededor del Sol. La solución parece que está en que los brazos son ondas de densidad, es decir, como "atascos" de estrellas, que van más despacio que las estrellas individuales, que van saltando de brazo en brazo, deteniéndose un poco en cada uno.

6.4 Tipos de galaxias



Tipos de galaxias.

Los habitantes del Hemisferio Sur pueden ver dos manchas luminosas, fuera de la Vía Láctea, del tamaño aparente de la Luna llena, como grumos luminosos que se desprenden de ella. Son las dos *Nubes de Magallanes*, llamadas así por ser este navegante español el primer europeo que reparó en ellas. Están a una distancia de 200.000 a.l. (el diámetro de nuestra galaxia es 100.000 a.l.) y observadas a través del telescopio se distinguen miles de estrellas, quizá 10.000 millones, cúmulos globulares y nebulosas. Son pequeñas galaxias irregulares, satélites de la nuestra, que deforman ligeramente su plano por la interacción gravitatoria.

Los habitantes del Hemisferio Norte tenemos la posibilidad de observar a simple vista una sola galaxia, la de *Andrómeda*, cerca de la rodilla de esta diosa griega. En



Galaxia espiral NGC 4565 en Coma.

cielos oscuros aparece como una menuda nubecilla luminosa. Prismáticos y telescopios pequeños mejoran algo la visión, aunque es necesaria la fotografía para observarla en todo su esplendor. Se trata de una formación espiral, con un bulbo central más grueso. Todo indica que en ella podemos ver una copia de la nuestra, aunque es un poco más grande. Está a 2'5 millones de a.l., es decir, a unas veinte veces el tamaño de nuestra galaxia.

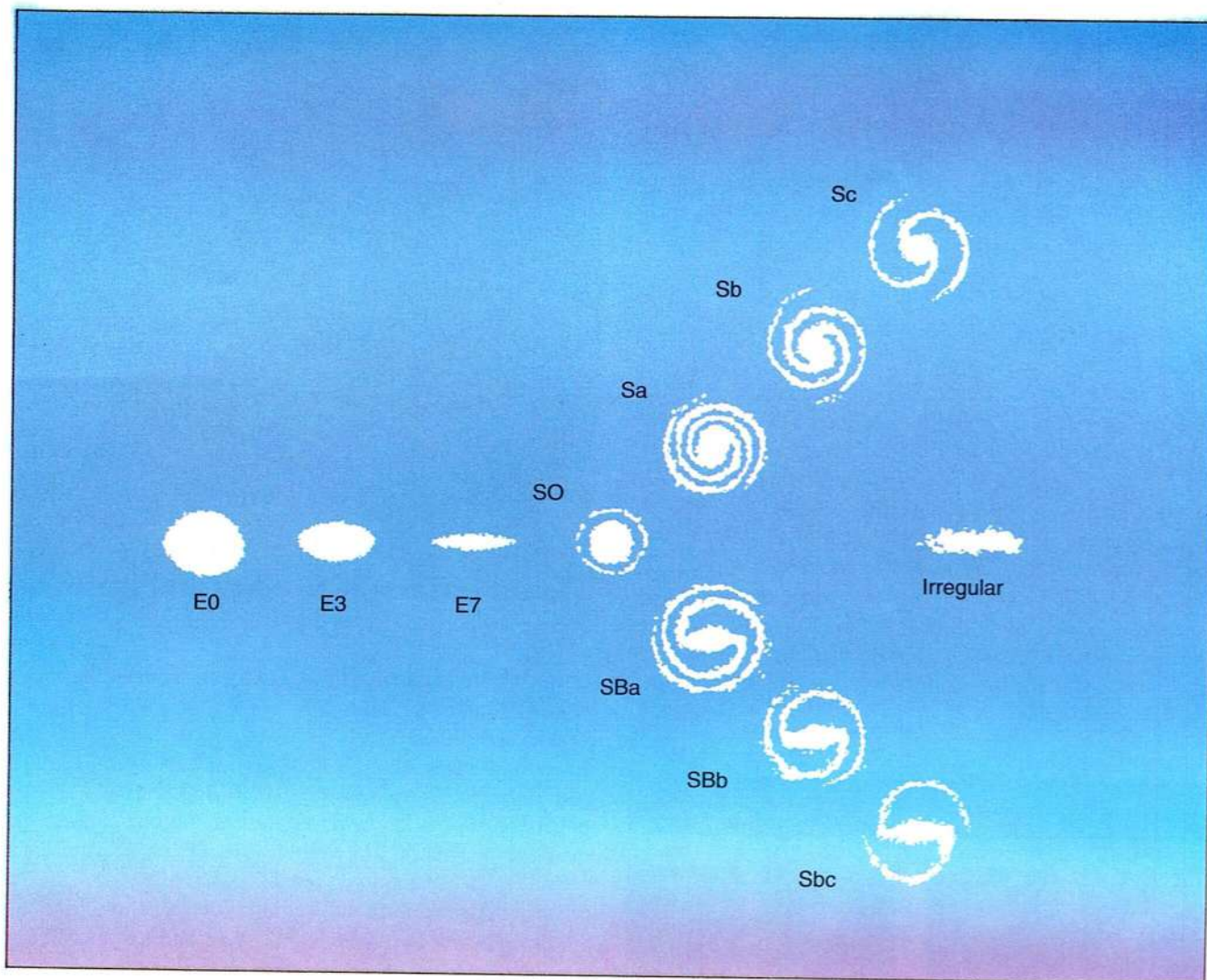
Se han descubierto miles y miles de galaxias. No todas son iguales, por lo que ha habido que clasificarlas en cuatro tipos:



Galaxia elíptica Centauro A, con un anillo oscuro a su alrededor.

- **Elípticas** (tipo E): poseen una forma que va desde la esférica (E0) a la elíptica alargada (E7). Encontramos de este tipo entre las mayores (10 billones de estrellas) y entre las más pequeñas, como grandes racimos globulares. Éstas parecen ser las más frecuentes, aunque por su pequeñez son difíciles de ver.

- **Espirales** (tipo S): constan de un bulbo central y unos brazos que parten de él y parecen enrollarse. Cuando aparecen muy enrollados se les llama Sa. Cuando están menos, Sb y menos aún Sc. La nuestra es de un tipo intermedio



Las galaxias se clasifican según su forma: elípticas (tipo E), espirales (tipo S), espirales barradas (tipo SB) e irregulares.

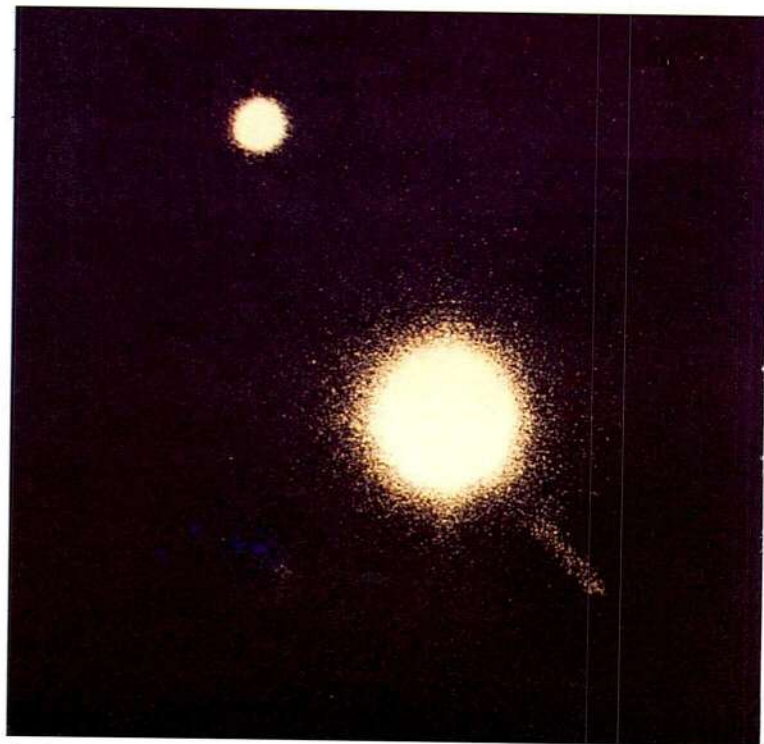
entre Sc y Sb. La de *Andrómeda* es Sb. Estas galaxias son siempre bastante grandes, por lo que son las que mejor se ven. Por esa razón son casi la mitad de las observables.

- **Espirales barradas** (tipo SB): existe una barra que cruza el bulbo, de la que salen los brazos espirales. También tienen subdivisiones a, b y c. En general son menos masivas que las espirales normales, y más raras de ver.

- **Irregulares**: adquieren formas muy diversas.

6.5 Quásares

La mayoría de las galaxias emiten la mayor parte de energía en forma de luz visible. Es lo normal. Sin embargo, hay algunas, llamadas activas, que emiten grandes cantidades de energía en otras longitudes de onda, por ejemplo, las *radiofuentes*. Por ejemplo la galaxia elíptica NGC 5128, conocida como *Centaurus A*, o la elíptica supergigante M 87 en *Virgo*. Puede ser debido a un intenso proceso de formación de estrellas, a múltiples explosiones de supernovas o a algún agujero negro de extraordinaria potencia que haya en su interior. En ocasiones la emisión de radio procede de unos inmensos lóbulos exteriores a



Quásar 3C - 273.

la galaxia, producidos por chorros de gas emitidos en una dirección concreta desde el centro de la fuente. A pesar de los estudios realizados, sigue siendo un misterio el proceso físico que puede almacenar en nubes tenues de electrones tanta energía como la que la *Vía Láctea* produce en 1.000 millones de años, como ocurre en el caso de M 87 (radiofuente *Virgo A*).

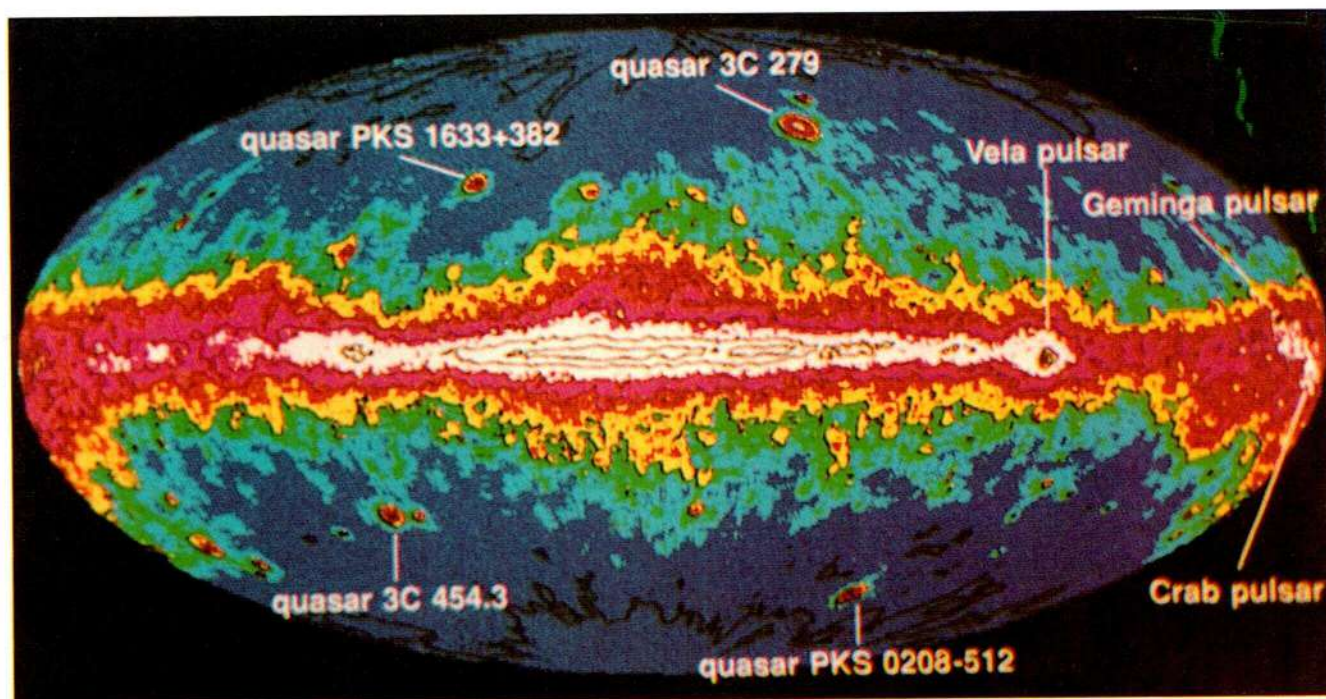
Karl Seyfert descubrió en 1943 un tipo de galaxia, que recibió su nombre, que tenían un núcleo extraordinariamente compacto y potente, emitiendo en infrarrojo o rayos X muchísima más energía que cualquier galaxia ordinaria en luz. Un fenómeno que prueba el pequeño tamaño del núcleo de esas galaxias es el de emisión de energía de forma variable, con períodos que oscilan entre algunos días y pocos años. Supongamos que uno de estos núcleos mide 1 a.l., y que en un momento dado despiden un destello. Esta luz que se habría producido instantáneamente, nosotros la recibimos durante 1 año: comenzamos a recibir la de la parte más alejada de nosotros un año después que la de la parte más cercana. Si se hubieran producido oscilaciones en ese fogonazo de duración menor que un año, quedarían *emborronadas* al recibirlas nosotros. Por tanto ningún objeto puede presentar una variación de su brillo menor que el tiempo que la luz tarda en atravesarlo. En el caso de las *galaxias Seyfert*, sus potentísimos núcleos deben tener un diámetro entre el tamaño de nuestro Sistema Solar y la distancia del Sol a la estrella más cercana, y sin embargo, emitir miles de veces más energía que toda nuestra galaxia. ¿Qué mecanismo puede generarla? Sólo podemos imaginar gigantes agujeros negros devorando materia a su alrededor. Se estima que la materia que cae a un agujero negro emite una energía equivalente al 50% de su masa, un rendimiento mucho mayor que en las reacciones termonucleares de las estrellas.

Por si fuera poco, en 1963 *M. Schmidt* encontró un débil punto luminoso que emitía potentes ondas de radio. Tenía características de estrella y de galaxia. La llamó *quasi stellar radio source*, o resumidamente **quásar**. En los catálogos viene con el nombre de 3C 273 en *Virgo*. Identificó en su espectro las rayas del hidrógeno pero tremendamente desplazadas al rojo, lo que significaba que estaba muy lejano, en los límites del Universo observado. Sin embargo, si estaba tan lejos y lo vemos, tenía que lanzar emisiones equivalentes a miles de galaxias. Posteriormente se han descubierto bastantes más, y todos presentan un gran corrimiento al rojo, lo que las pone muy lejos, muy por detrás de las galaxias. Su luz tarda en llegar a nosotros del orden de diez mil millones de años, es decir, nos traen información de un Universo todavía muy joven. Brillan miles de veces más que nuestra galaxia, compuesta de 100.000 millones de estrellas. Algunos presentan oscilaciones en su brillo del orden de días, por lo que son de tamaño muy pequeño, similar a nuestro Sistema Solar.

Se han detectado varios quásares que parecen ser dobles, e incluso uno cuádruple. Analizando su luz, presentan exactamente el mismo espectro. La explicación más común es que son quásares individuales cuya luz se dobla al pasar cerca de una galaxia intermedia no visible, que actúa como lente gravitacional. Es una confirmación más de la teoría de la relatividad, y a la vez de la gran lejanía de los quásares.

La naturaleza de estos objetos sigue siendo un misterio. Los científicos suponen que deben ser núcleos de galaxias primitivas, que contienen descomunales agujeros negros. Probablemente esas galaxias acabaron siendo como la nuestra pero ahora la vemos cuando el Universo era muy joven, en su estado primitivo.

Eso pensamos, hasta que haya otra explicación mejor.



Mapa de los quásares más potentes. La banda central es nuestra galaxia.

Actividades

1 Estimación del tamaño de nuestra galaxia

Objetivo: Estimar el tamaño de nuestra galaxia por brillo.

Material: - Fotografía de la región de Sagitario.
- Nomograma M-D-L de la página 133.

Procedimiento:

1. En los cúmulos globulares se encuentran estrellas variables de un tipo llamado RR-Lyrae. Estudiando su luz, los astrónomos han estimado que son muy grandes (gigantes) y tienen una luminosidad bastante constante, equivalente a unas 50 veces la del Sol.
2. En la fotografía de la región de Sagitario, próxima al centro galáctico, se encuentra M 22, uno de los cúmulos globulares más grandes y brillantes. Es de suponer que es uno de los más cercanos a nosotros. Contiene una estrella RR-Lyrae que tiene una magnitud aparente de +13. Usando el nomograma, ¿a qué distancia está de nosotros?
3. En esa misma región, Sagitario, se encuentra el cúmulo M 75, uno de los más pequeños y menos brillantes. Por lo tanto es de suponer que es uno de los más lejanos a nosotros. En él se encuentra una estrella RR-Lyrae de magnitud +18. ¿A qué distancia se encuentra?
4. Con estos datos puedes calcular la distancia media de los cúmulos globulares cerca del plano de la galaxia. Si supones que esa distancia es aproximadamente igual al radio de la galaxia, ¿cuánto mide el diámetro de la Vía Láctea?
5. La Gran Nube de Magallanes es una pequeña galaxia que está muy cercana a la nuestra y tiene sus propios cúmulos globulares. En uno de ellos se observa una variable RR-Lyrae de magnitud +20. ¿A qué distancia está de la Tierra?

2 Uso de cefeidas para medir distancias en el cielo

Objetivo: Determinar la distancia de objetos en el cielo usando las cefeidas.

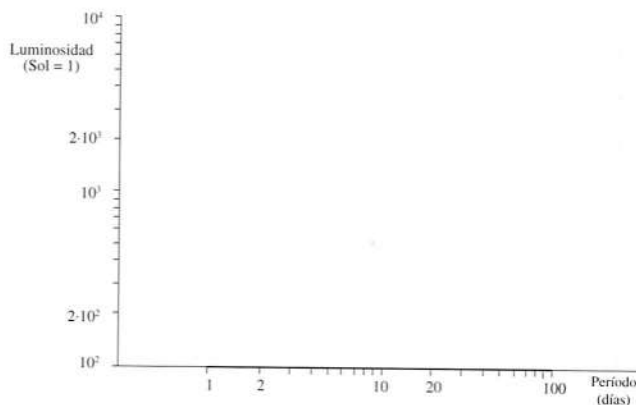
Material: Nomograma M-D-L de la página 133.

Procedimiento:

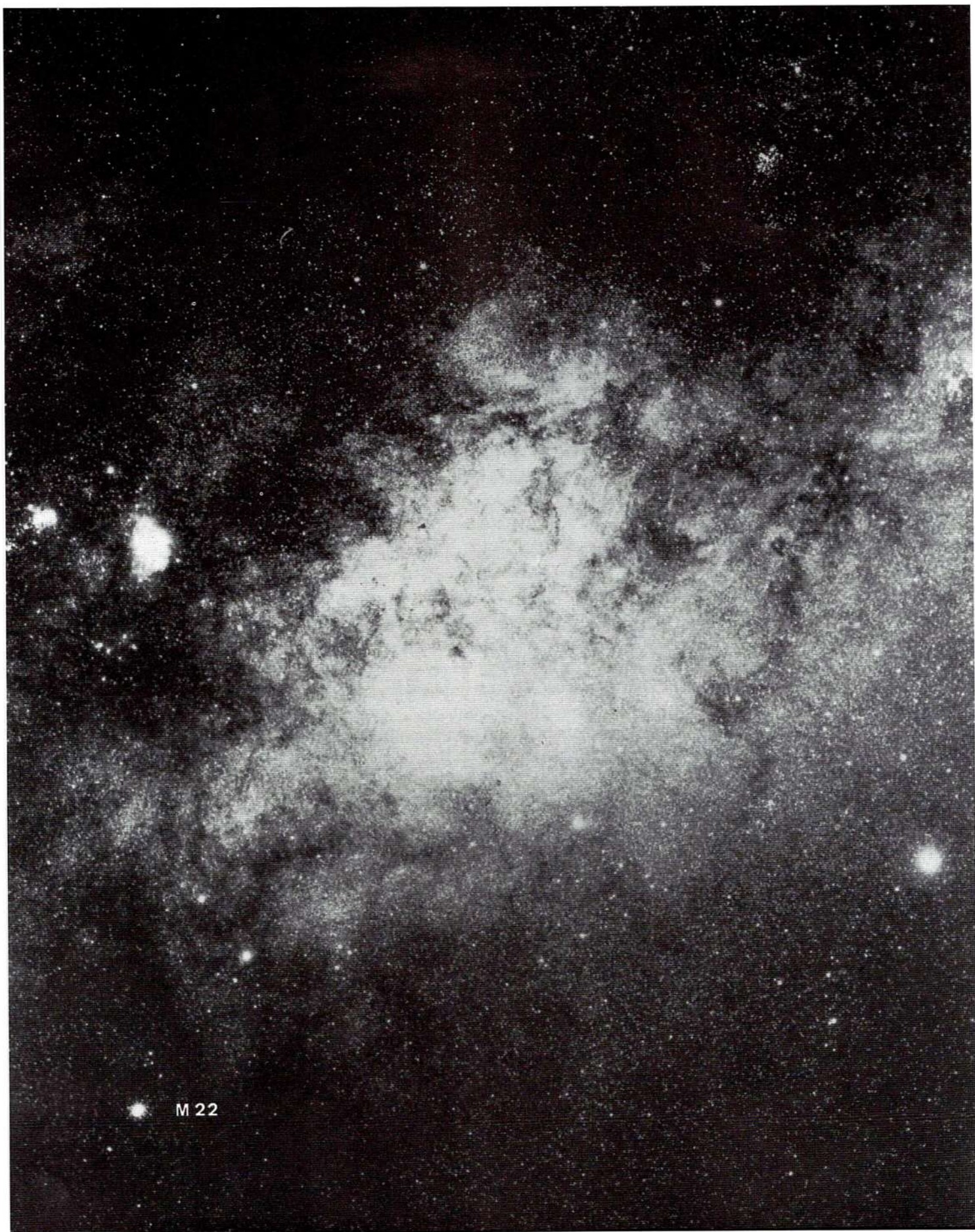
1. En la actividad anterior has hallado la distancia del cúmulo globular M22. En él se han visto varias estrellas variables cefeidas, cuya luminosidad y período de luz se muestran en la siguiente tabla:

Luminosidad (Sol = 1)	Período (días)
$2.5 \cdot 10^2$	2
$3.3 \cdot 10^2$	3
$6 \cdot 10^2$	6
$9 \cdot 10^2$	9
$1 \cdot 10^3$	10
$4.5 \cdot 10^3$	50

2. Representa los datos en un gráfico como el siguiente, y traza la recta que más se aproxime:



3. En el cúmulo M55 se observa una cefeida de 30 días de período y magnitud +12. Usando el nomograma, ¿a qué distancia está?
4. En el cúmulo M54 se observa otra de período 20 días y magnitud +18. ¿A qué distancia está?
5. En el cúmulo M13 de Hércules hay una cefeida de magnitud +13 y período 3 días. ¿A qué distancia está el cúmulo?



Fotografía de la región de Sagitario, con el cúmulo M -22.

6. En un cúmulo de la galaxia de Andrómeda se observa una cefeida de 40 días de período y magnitud +20. ¿A qué distancia está nuestra galaxia vecina?
7. Con el Telescopio Espacial Hubble se ha detectado una cefeida de período 8 días y magnitud +29 en un cúmulo globular de la galaxia M100. Esa galaxia está rodeada de otras muchas de tamaño aparentemente similar, que forman el llamado cúmulo de Virgo. ¿A qué distancia podemos estimar que está dicho cúmulo de galaxias?

3 Estimación de las distancias a las galaxias usando triángulos

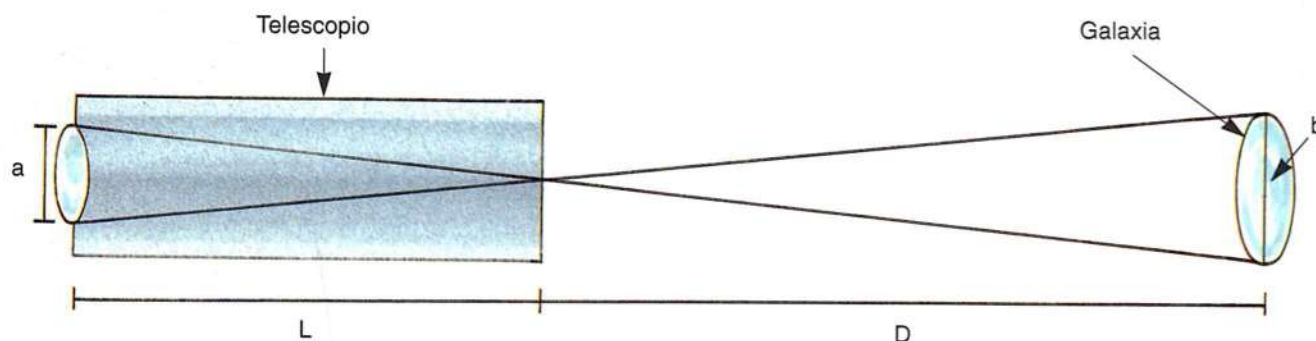
Objetivo: Determinar la distancia a las galaxias cercanas usando triángulos semejantes.

Material: - Siete fotos del cielo.
- Regla.

Procedimiento:

1. Al hacer una fotografía de una galaxia con un telescopio, se puede establecer que:

$$\frac{D}{b} = \frac{L}{a} \Rightarrow D = \frac{L \cdot b}{a} \quad (1)$$



2. Vamos a suponer que todas las galaxias son de un tamaño similar a la nuestra, es decir, $b = 100.000$ a.l. Aunque esto no es exacto, sí nos sirve para hacer estimaciones.
3. Las fotos fueron tomadas con un telescopio de longitud focal $L = 310$ cm. Mide el tamaño a de las imágenes de las galaxias, y haz una estimación de la distancia D a la que están, usando la fórmula (1).

Objeto foto en cm.	a = Tamaño en la (en millones de a.l.)	D = Distancia
M 31		
M 51		
M 101		
M 104		
NGC 5371		
NGC 4565		
NGC 4725		
Galaxia del Cúmulo de Hércules		





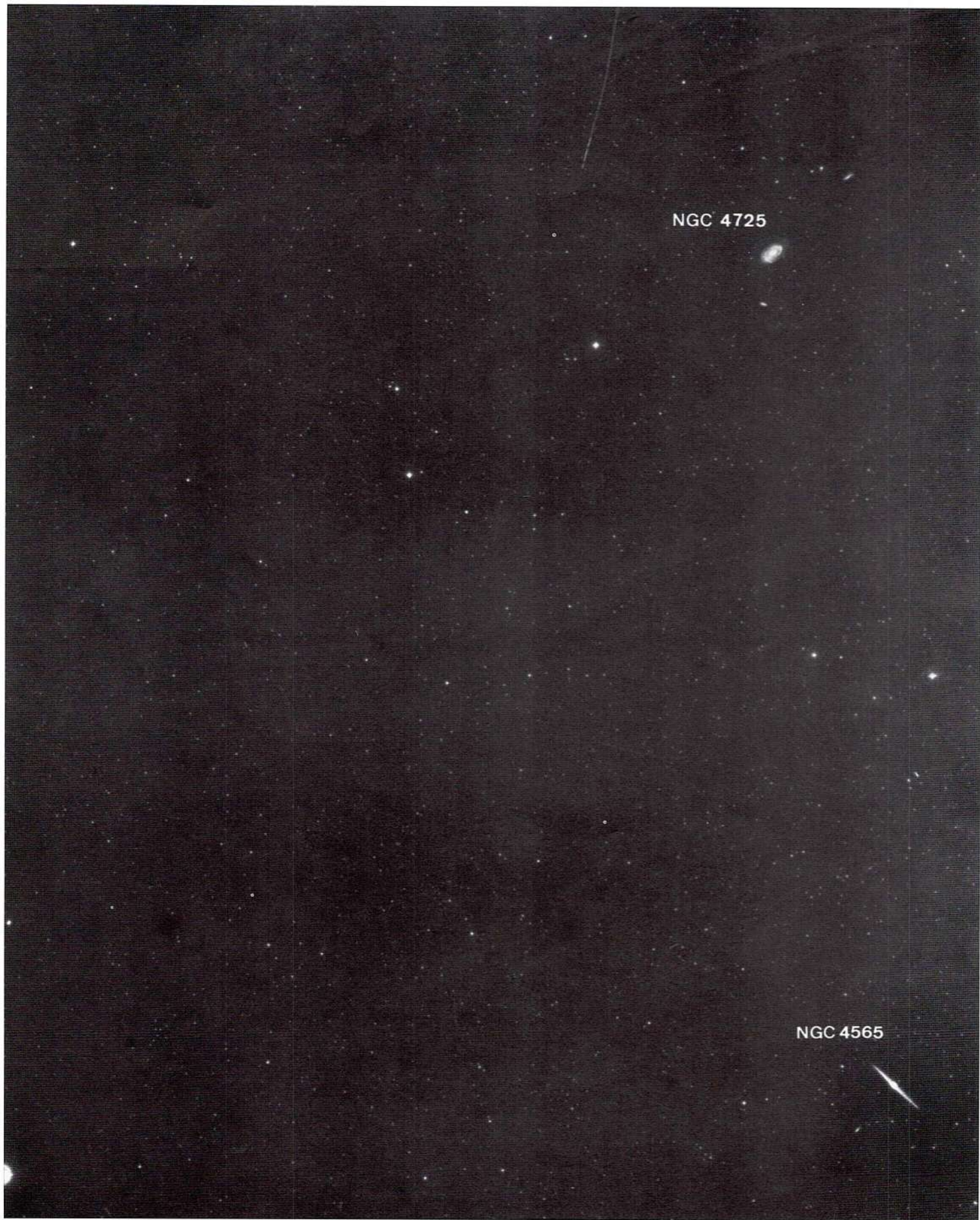


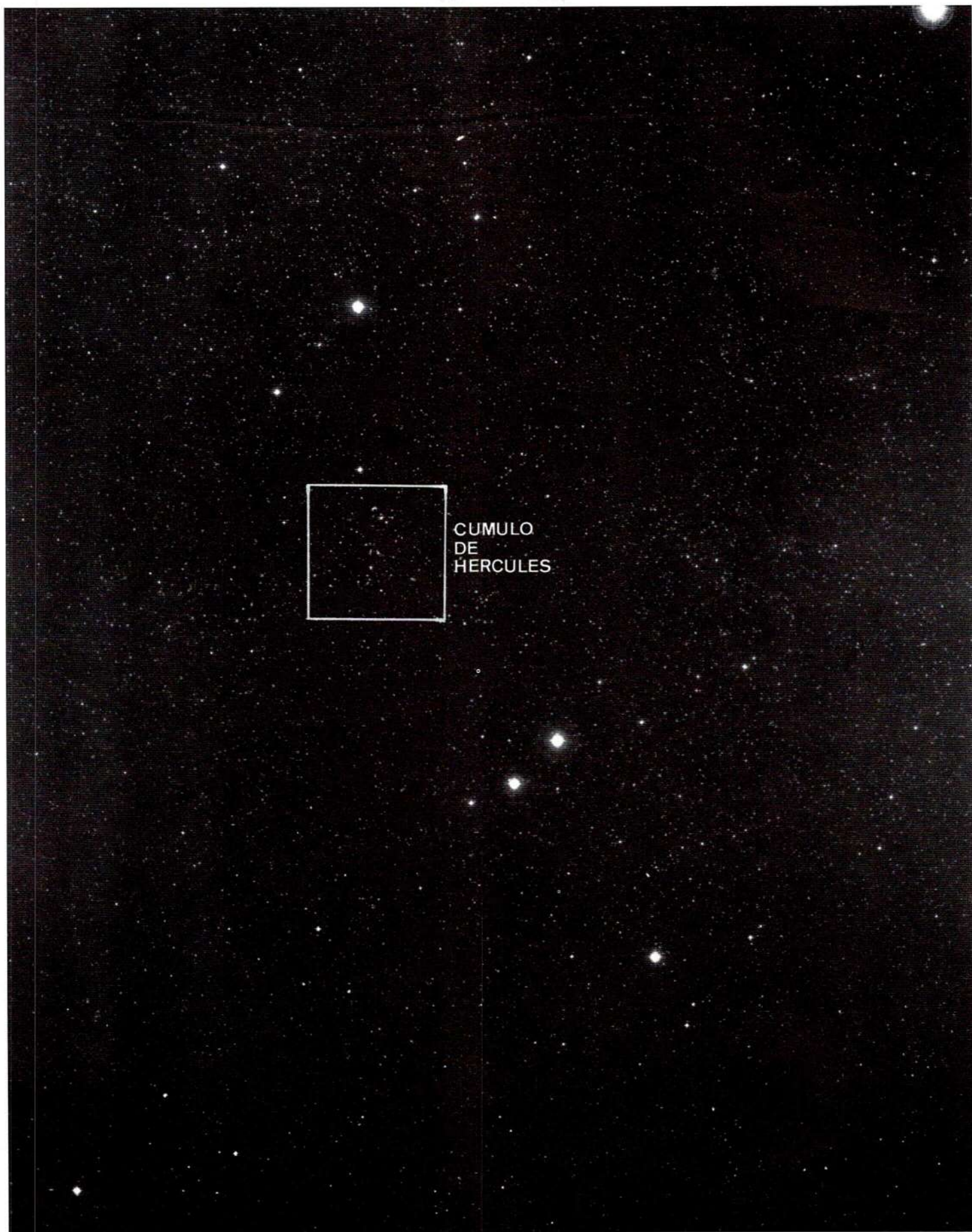
M 101





NGC 5371





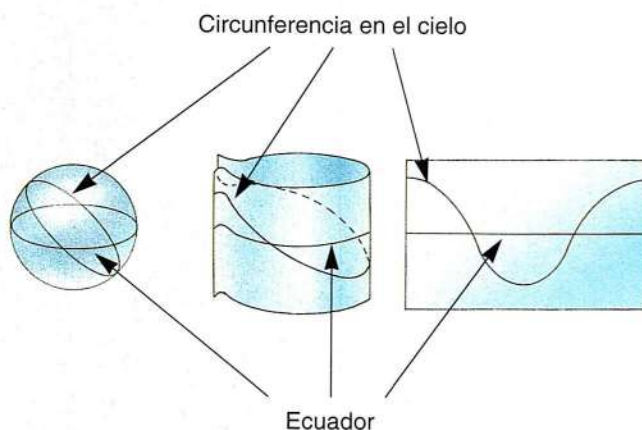
4 Localizando el Sistema Solar en nuestra Galaxia

Objetivo: Determinar la distribución en el cielo de diversos objetos astronómicos dentro y fuera de la Vía Láctea, y a partir de ahí, determinar nuestra posición dentro de la Galaxia.

Materiales: - Planos del cielo de las páginas 158 y 159.
- Rotuladores de colores.
- Fotos de la galaxia de Andrómeda (pág. 145) y del cielo con ojo de pez (pág. 155).

Procedimiento: -

1. Cuando miras al cielo desde algún lugar alejado de las luces de las ciudades, ¿las estrellas están igualmente distribuidas por el cielo o hay zonas donde abundan más?
2. La fotografía de la página 155 está tomada en Chile. Se hizo con un objetivo especial, llamado de "ojo de pez", que consigue recoger todo el cielo. La circunferencia del borde es el horizonte, y el centro está encima de la cámara.



3. Con las observaciones de los puntos anteriores, y suponiendo que estamos dentro de una galaxia como la de las fotos de la actividad anterior, ¿estaremos en el centro o en un brazo exterior?
4. La superficie de la Tierra, aunque esférica, podemos representarla en un mapa plano rectangular, en el cual la zona de los polos aparece como alargada. De la misma forma, la esfera del cielo podemos representarla en un mapa, como el plano de la página 158, que contiene las estrellas más brillantes que se pueden ver a simple vista. Puedes reconocer la Osa Mayor en el centro, en la parte superior. También puedes distinguir el gancho que forma la cola de Scorpius, situado a -30° de **declinación**, y entre 16 y 18 h de **ascensión recta**. ¿Puedes distinguir el plano de la Vía Láctea?
5. El plano de la página 159 también es del cielo, y contiene las áreas que cubren cada constelación. Si superpones

los dos mapas y pones una luz detrás, podrás ver como se emparejan. Vuelve a localizar la Osa Mayor y Escorpio.

6. La tabla 1 es una lista de las **constelaciones** en las que están las partes más brillantes de la Vía Láctea. Localízalas en el plano de la página 159 y sombréalas suavemente. Comprueba que están en un plano. Con estos datos y la foto 1, ¿dónde piensas que estamos situados dentro de nuestra galaxia?
7. Las tablas 2 a 5 son listas de objetos que Charles Messier (s. XVIII) incluyó en su catálogo de objetos que aparecen borrosos y más grandes que las simples estrellas individuales. Poco a poco fueron identificándose como galaxias, nebulosas y cúmulos de estrellas.
8. La tabla 2 contiene las **nebulosas** más brillantes. Son extensas nubes de gas y polvo que contienen algunas estrellas. Marca en el mapa 2 con una N o con un pequeño punto azul las constelaciones donde estén situadas. ¿Hay zonas donde se acumulan? ¿Qué explicación le das? A partir de este dato, ¿dónde te parece que estamos situados en la Galaxia?
9. En la tabla 3 se listan los **cúmulos abiertos**, que son agrupaciones de unos cientos de estrellas próximas entre sí. Marca con una O o con un punto verde las constelaciones que las contengan. ¿Se acumulan en algunas zonas? ¿Por qué la distribución no es uniforme? ¿Tiene algo que ver nuestra posición en la Galaxia?
10. En la tabla 4 están los llamados **cúmulos globulares**. Son agrupaciones de forma más o menos esférica que contienen cientos de miles de estrellas. Se observan en fotografías de muchas galaxias distintas de la nuestra rodeando el núcleo, por arriba y por debajo del plano galáctico. Alguien las comparó con abejas alrededor de una flor. Marca en el mapa 2 con una C o con un punto naranja las constelaciones donde estén situadas. ¿Dan nuevas pistas sobre dónde estamos situados nosotros?
11. Ahora escribe una G o un punto rojo en las constelaciones donde estén situadas las **galaxias** de la Tabla 5. ¿Cómo es su distribución en el cielo? ¿Piensas que son objetos que están dentro o fuera de nuestra propia Galaxia? ¿Por qué hay una zona donde no se observa ninguna galaxia?
12. En la Tabla 6 se listan objetos llamados **púlsares**. Marca en el mapa las constelaciones que contienen, con una P o un punto morado. Por su posición, ¿son objetos que están en nuestra Galaxia o fuera de ella?
13. Por último, en la tabla 7 se incluyen **quásares**. Marca con una Q o con un punto marrón su posición en el mapa. ¿Son objetos de nuestra Galaxia o de fuera de ella?



Foto del cielo hacia Sagitario, con un objetivo llamado "de ojo de pez".

Tabla 1- Constelaciones de la Vía Láctea

Nombre	Ascensión Recta (h)	Declinación (°)
Auriga	6	40
Cepheus	22	70
Ophiucus	17	0
Musca	12	- 70
Lupus	15	- 40
Scorpius	17	- 30
Pupis	8	- 40
Cygnus	21	40
Aquila	20	0
Crux	12	- 60
Orión	6	0
Sagitario	19	- 30
Centaurus	13	- 40
Sagitta	20	20
Hércules	17	30
Carina	10	- 60
Perseus	4	40
Vela	10	- 50
Circinus	15	- 60
Canis Major	7	- 20
Ara	17	- 50
Norma	16	- 50
Taurus	4	20
Pyxis	9	- 30
Scutum	19	- 10
Monoceros	7	0
Vulpecula	20	30
Serpens Caput	16	10
Gemini	7	20
Cassiopea	0	60
Serpens Cauda	18	0
Canis Minor	7	- 10
Lyra	19	40
Corona Australis	19	-40
Triangulum Australe	16	-60

Tabla 2 - Nebulosas

Nº Messier	Nombre	Constelación
1	Cangrejo	Taurus
8	Laguna	Sagittarius
16	Águila	Serpens Cauda
17	Omega	Sagittarius
20	Trífida	Sagittarius
27	Dumbbell	Vulpecula
42	Gran Nebulosa	Orión
43		Orión
57	Anillo	Lyra
76	Pequeña Dumbbell	Perseus
78		Orion
97	Búho	Ursa Major
IC 2948		Centaurus
NGC 3372	Eta Carinae	Carina
NGC 2237	Nebulosa Roseta	Monoceros
NGC 2392	Nebulosa Esquimal	Gemini
NGC 3132		Vela
NGC 3242	Fantasma de Júpiter	Hydra

Tabla 3 - Cúmulos abiertos

Nº Messier	Nombre	Constelación
6	Mariposa	Scorpius
7		Scorpius
11		Scutum
16		Serpens Cauda
18		Sagittarius
21		Sagittarius
23		Sagittarius
25		Sagittarius
26		Scutum
29		Cygnus
34		Perseus
35		Gemini
36		Auriga
37		Auriga
38		Auriga
39		Cygnus
41		Canis Major
44	Pesebre	Cáncer
45	Pléyades	Taurus
46		Puppis
47		Puppis
48		Hydra
50		Monoceros
52		Cassiopea
67		Cáncer
93		Puppis
103		Cassiopea
NGC3114		Carina
NGC3532		Carina
NGC3766		Centaurus
NGC4755	Joyero	Crux
NGC6067		Norma
NGC6231		Scorpius

Tabla 4 - Cúmulos globulares		
Nº Messier	Nombre	Constelación
2		Aquarius
3		Canes Venatici
4		Scorpius
5		Serpens Cauda
9		Ophiuchus
10		Ophiuchus
12		Ophiuchus
13	Gran Cúmulo	Hércules
14		Ophiuchus
15		Pegasus
19		Ophiuchus
22		Sagittarius
28		Sagittarius
30		Capricornio
53		Coma Berenices
54		Sagittarius
55		Sagittarius
56		Lyra
62		Ophiuchus
68		Hydra
69		Sagittarius
70		Sagittarius
71		Sagitta
72		Aquarius
75		Sagittarius
79		Lepus
80		Scorpius
92		Hercules
107		Ophiuchus
NGC 104	47 Tucanae	Tucana
NGC 2808		Carina
NGC 5139	ω Centauri	Centaurus
NGC 6397		Ara
NGC 6752		Pavo

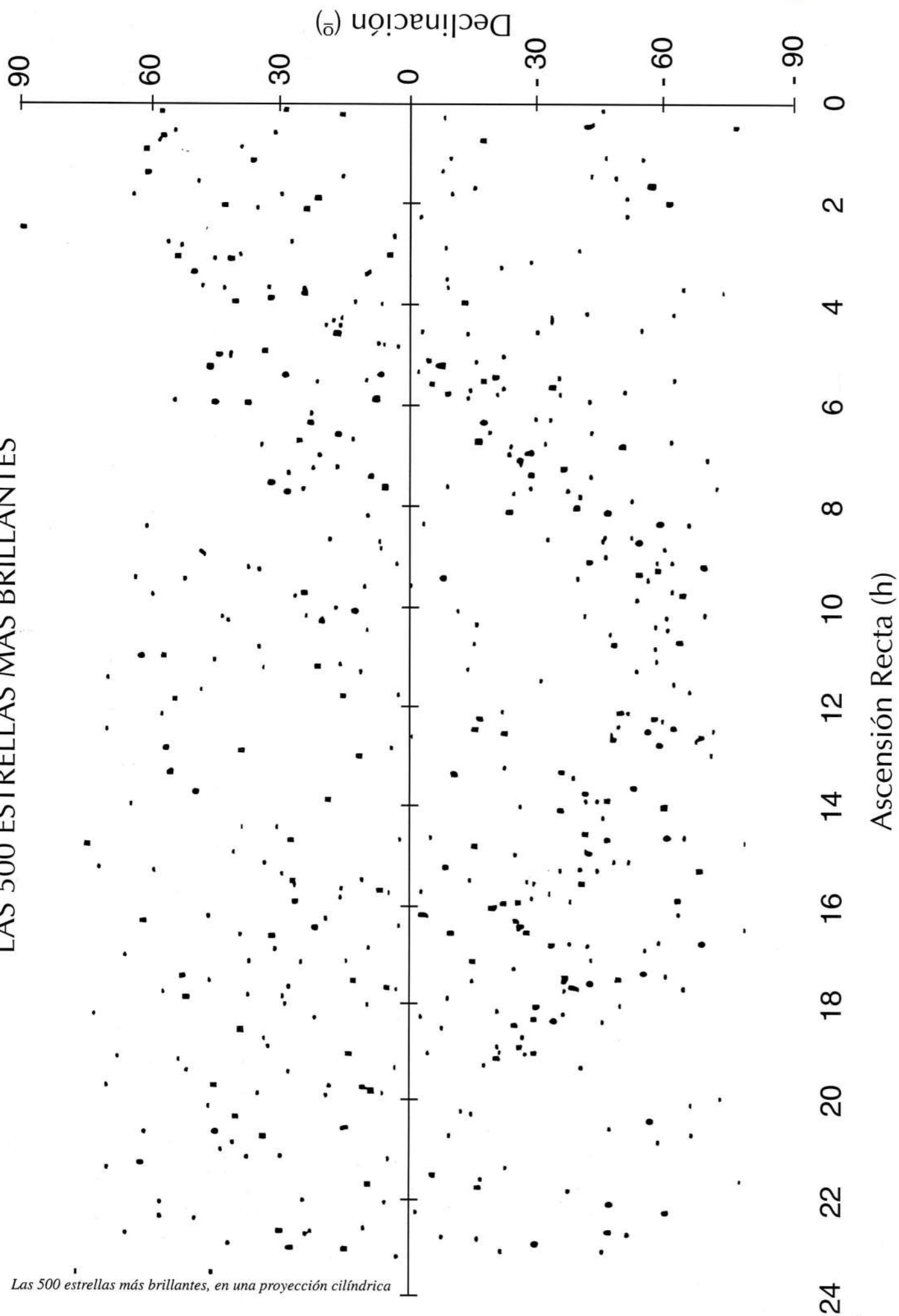
Tabla 5 - Galaxias		
Nº Messier	Nombre	Constelación
31	Andrómeda	Andrómeda
32		Andrómeda
33		Triangulum
49		Virgo
51	Torbellino	Canes Venatici
58		Virgo
59		Virgo
60		Virgo
61		Virgo
63		Canes Venatici
64	Ojo negro	Coma Berenices
65		Leo
66		Leo
74		Pisces
77		Cetus
81		Ursa Major
82		Ursa Major
83		Hydra
84		Virgo
85		Coma Berenices
86		Virgo
87		Virgo
88		Coma Berenices
89		Virgo
90		Virgo
94		Canes Venatici
95		Leo
96		Leo
98		Coma Berenices
99		Coma Berenices
100		Coma Berenices
101		Ursa Major
102		Draco
104	Sombrero	Virgo
105		Leo
106		Canes Venatici
108		Ursa Major

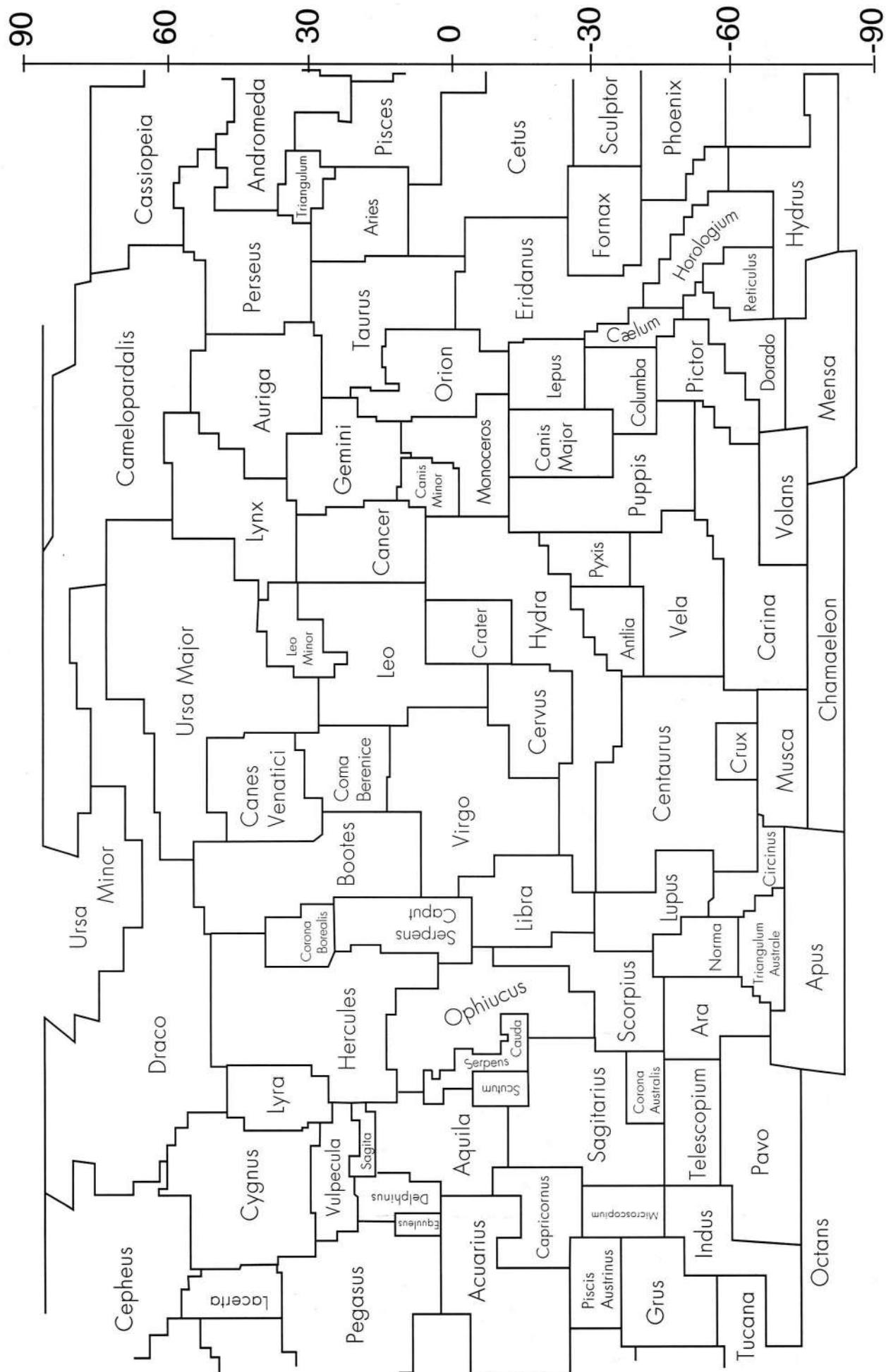
Tabla 6 - Púlsares	
Nº Catálogo	Constelación
CP 0328	Perseus
PSR 0138+59	Cassiopea
3C 144 (Cangrejo)	Taurus
PSR 1929+10	Aquila
NP 0527	Taurus
CP 1919	Sagitta
PSR 0833-45	Vela
PSR 1530-53	Norma

Tabla 7 - Quásares	
Nº Catálogo	Constelación
3C 48	Triangulum
3C 273	Virgo
3C 196	Lynx
NRAO 6635	Aquarius
3C 454.3	Pegasus
3C 380	Draco
3C 279	Virgo
3C 147	Auriga

LAS 500 ESTRELLAS MÁS BRILLANTES

Las 500 estrellas más brillantes, en una proyección cilíndrica





5 ¿Cuánto "pesa" nuestra Galaxia?

Objetivo: Estimar la masa de la Vía Láctea.

Material: Calculadora.

Procedimiento:

1. Por mediciones con el efecto Doppler, se ha calculado la velocidad de giro de nuestra galaxia: da una vuelta sobre sí misma cada 200 millones de años. El diámetro es de 100.000 a.l.
2. En las estrellas exteriores, la fuerza de atracción gravitatoria se igualará a la centrífuga, es decir,

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} = m \cdot \left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \right]^2 \cdot R.$$

$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{Kg}^2$.

M = masa de la Vía Láctea, en Kg. Es lo que buscamos.

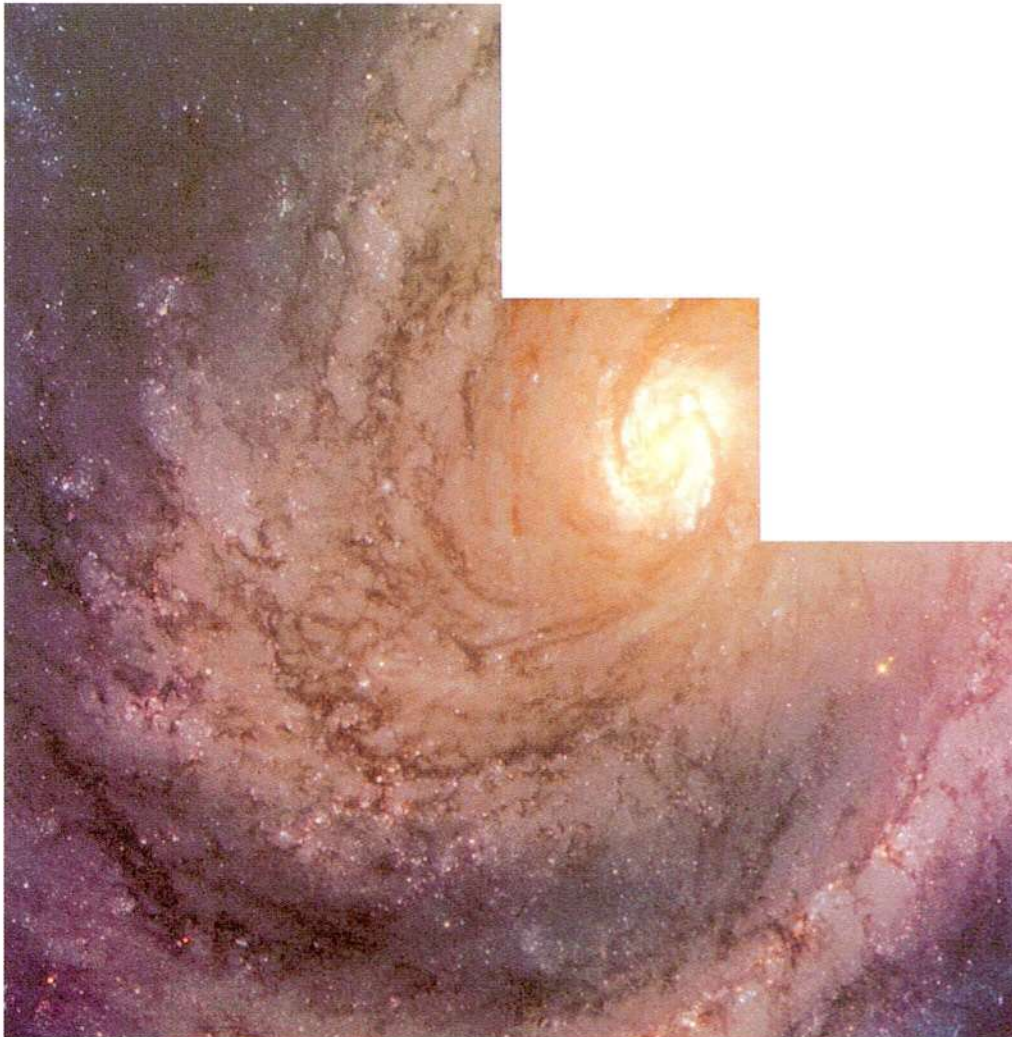
m = masa de la estrella en la periferia: se anula al estar en las dos partes de la igualdad.

R = radio de la Vía Láctea, en metros.

T = tiempo que tarda en dar una vuelta la galaxia, en segundos.

Con esa expresión se puede calcular la masa M de la Vía Láctea. Hay que tener en cuenta que un año-luz es aproximadamente 10^{16} metros y un año son $3.2 \cdot 10^7$ segundos.

3. El Sol tiene una masa de $2 \cdot 10^{30} \text{ Kg}$. Si suponemos que es una estrella media, ¿cuántas estrellas estimas que tiene nuestra galaxia?



7 EL UNIVERSO



7.1 Cúmulos de galaxias

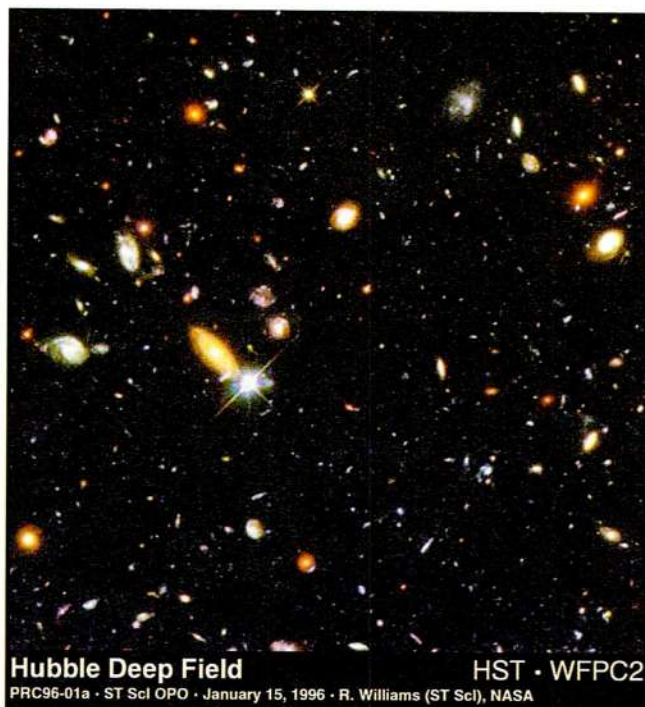
Los astrónomos dicen que para encontrar una galaxia lo mejor es haber encontrado otra previamente. Y es verdad. Las galaxias no suelen estar solas, sino en grupos. Y no es un efecto visual, porque en cada grupo las galaxias suelen tener tamaños similares, lo que indica que están a una distancia parecida desde nosotros.

Nuestra galaxia pertenece al llamado *Grupo Local*. Lo forman unas treinta galaxias, en una esfera de unos 3 millones de a.l. El centro está entre la nuestra y *Andrómeda*, que es la mayor. Un grupo en *Sculptor*, a 8 millones de a.l., está formado por 6 espirales brillantes concentradas en 3 millones de a.l. En dirección contraria hay otro grupo en *Osa Mayor*, a 11 millones de a.l. y más disperso. Así podemos ir encontrando miles de cúmulos. En algunos de

ellos se han producido choques entre galaxias, con caprichosos resultados.

Pero mirando hacia la constelación de *Virgo*, podemos encontrar muchos centenares de galaxias en una región relativamente pequeña del cielo. Todas parecen estar a una distancia entre 45 y 60 millones de a.l. Constituyen una comunidad mayor que el grupo, y se le llama **cúmulo de galaxias**. Otros grupos como el *Local*, el de *Sculptor* o el de la *Osa Mayor* no son más que satélites. En el centro de los cúmulos suele haber una o varias galaxias gigantes elípticas.

Mirando más allá del cúmulo de *Virgo*, casi en la misma dirección, vemos una abigarrada condensación de miles de galaxias, situadas todas a unos 300 millones de a.l., de la cual el *cúmulo de Virgo* no es más que un simple apéndice. Es el *supercúmulo de Coma Berenice*.



Lejano cúmulo de galaxias en la Osa Mayor, fotografiada por el Hubble. Según vamos ampliando la visión, aparecen nuevas galaxias.



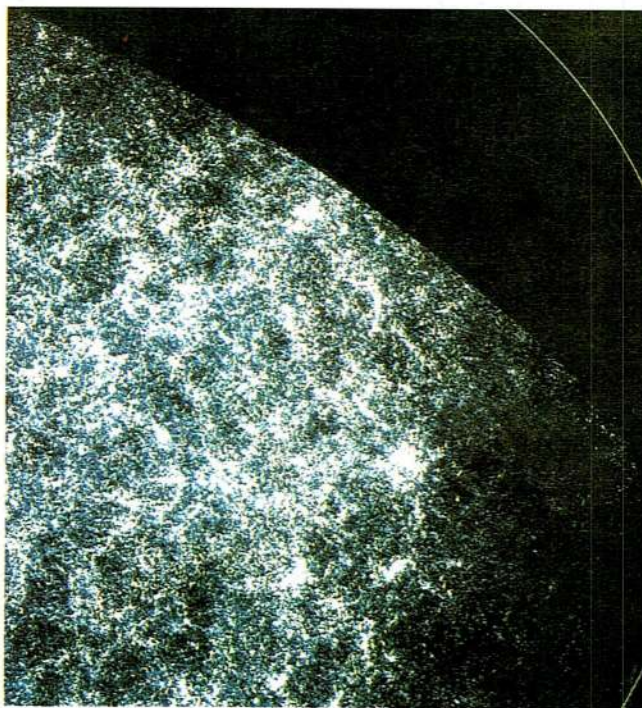
Cúmulo de galaxias en Hércules.

Con ayuda de ordenadores se han hecho mapas tridimensionales de la distribución de las galaxias, y parecen agruparse en lo que podrían ser las paredes de burbujas de una masa de espuma, que rodean a inmensos espacios vacíos que ocupan el 90% del total. Es muy probable que esta estructura tenga mucho que ver con el origen del propio Universo.

7.2 Expansión del Universo

Como sabemos, estudiando el *corrimiento al rojo* de la luz que emite una galaxia podemos saber si se acerca o se aleja, de la misma forma que el silbido de una locomotora cambia su tono según se acerque o se aleje de nosotros. Y cuanto mayor sea ese corrimiento, mayor será la velocidad.

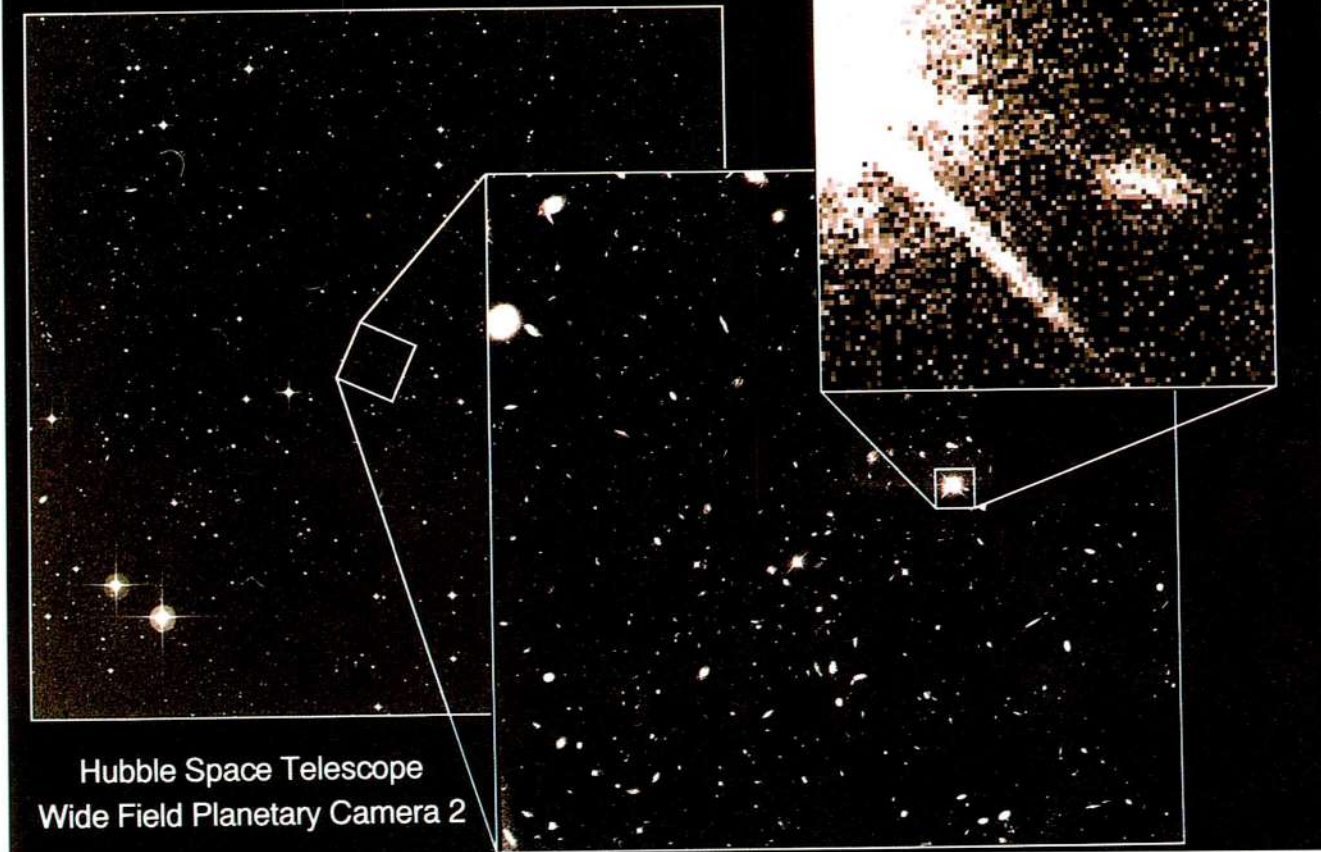
Estudiando el espectro de las galaxias de nuestro grupo local, se obtiene que la *Gran Nube de Magallanes* se aleja de nosotros a 13 Km/s, y la *Pequeña* se acerca a 30 Km/s. *Andrómeda* se acerca a 60 Km/s mientras que M 32 se aleja a 21. En otras palabras, las galaxias cercanas tienen movimientos relativos pequeños y de forma irregular.



Distribución de galaxias en el Universo. Se observan ciertas agrupaciones.

Pero si vamos al cúmulo de *Virgo*, a una distancia media de 50 millones de a.l., veremos que todas se alejan de nosotros a velocidades entre 1.000 y 2.000 Km/s. Y en el supercúmulo de *Coma*, a 300 millones de a.l., las velocidades de alejamiento oscilan entre 7.000 y 8.500 Km/s. Pero si miramos en dirección opuesta, obtenemos que M 74 se aleja de nosotros a 800 Km/s y M 77 a 1.130 Km/s. Y si apuntamos a galaxias más lejanas y débiles, la velocidad de recesión es aún mayor: NGC 375 se aleja a 6.200 Km/s, NGC 562 a 10.500 y NGC 326 a 14.500 Km/s. Miremos hacia donde miremos, todas, excepto las muy cercanas, se alejan de nosotros. ¿Somos tan repulsivos?

Galaxies in the Young Universe



Cúmulo de galaxias en Sculptor, a 12.000 millones de años-luz, fotografiadas por el Hubble. La luz que nos llega partió cuando el Universo era muy joven. El objeto de la derecha es un cuásar.

Fue *Edwin Hubble* quien se dio cuenta en 1930 de este hecho, y estableció la ley que lleva su nombre: cuanto más lejana está una galaxia, más de prisa se aleja de nosotros. Y esto ocurre desde cualquier punto en que nos pongamos a observar el Universo. Ocurre como en una explosión de un fuego artificial: las partículas luminosas se van separando entre sí movidas por la explosión de la pólvora.

Así fue como se estableció el modelo del Universo más aceptado hoy día: hubo una gran explosión original y en ella estamos montados todavía. En esa expansión es el propio espacio el que va dilatándose. Imaginemos un globo de goma con una serie de puntos dibujados en su superficie, que representarían a las galaxias. Según lo vamos hinchando, el espacio de goma elástica entre las motas va aumentando. De igual forma según pasa el tiempo, el espacio va expandiéndose, y la materia contenida en él va separándose entre sí.

Por tanto, la velocidad de recesión y la distancia a la que están de nosotros parece que es proporcional. La constante que las relaciona, es la **constante de Hubble**. La velocidad con que una galaxia se aleja es fácil de medir con precisión por el corrimiento al rojo, pero la distancia a la que están las galaxias, especialmente en el caso de las más lejanas, es más difícil. Los científicos no se ponen de acuerdo. Según se use un método u otro salen unos valores, que en general oscilan entre 50 y 100 Km/s por *Megaparsec*. El valor más aceptado ronda los 80, lo que indica una edad del Universo entre 10.000 y 15.000 millones de años.

7.3 El Big Bang

Hoy en día, la teoría del origen del Universo como una gran explosión es la más aceptada en la comunidad científica, aunque no faltan quienes la ponen en duda porque aún hay detalles que quedan sin explicación. En 1994 la revista americana *Sky & Telescope* hizo un concurso para bautizarla de nuevo. Se recibieron 12.000 propuestas, pero ninguna consiguió desbancar a la que ya tenía: teoría del **Big Bang**.

De la observación de que el Universo se expande se deduce que, dando marcha atrás al tiempo, hubo un principio en el que se produjo la explosión, dando origen al espacio y al tiempo tal como ahora lo conocemos. ¿Qué fue lo que la produjo? ¿Por qué ocurrió? La ciencia no da respuesta. Sólo puede intentar explicar cómo se produjeron los hechos a partir de ese momento. Las otras preguntas corresponde responderlas a los filósofos, que tratan de la *meta-física* (más allá de la física). Algunos intentos de explicar la causa por parte de algunos físicos recurriendo a conceptos como *fluctuaciones cuánticas de la nada* más bien parecen juegos de palabras: confunden el vacío con la nada.

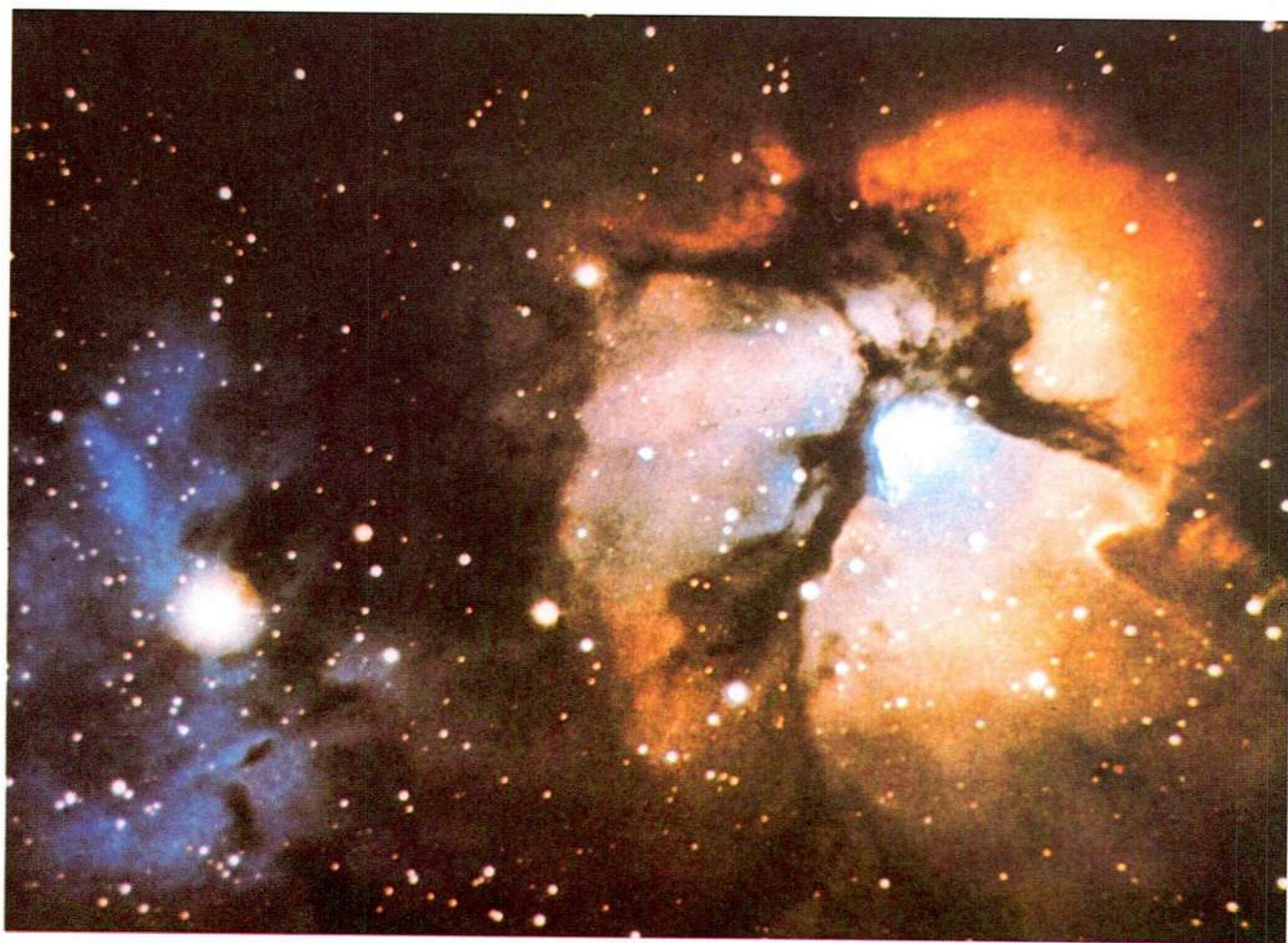
En el instante inicial se produjo el estallido. En él ya estaban, como en germen, todas las leyes de la Naturaleza: sólo tenía que pasar el tiempo para llegar a la situación

actual. En esos comienzos, a temperaturas elevadísimas, las cuatro fuerzas que ahora conocemos estaban unificadas. La gravedad, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la débil —estas dos últimas sólo actúan en el interior de los átomos, y por tanto son menos *famosas* para la gente— estaban unidas. Enseguida se separaron y se formaron los fotones, los electrones, los protones y las demás partículas elementales. A la vez que se expandía, el Universo se iba enfriando. Al cabo de 300.000 años la temperatura bajó lo suficiente para poderse formar los átomos, principalmente hidrógeno y helio. La densidad bajó y los fotones quedaron libres para poder moverse en todas direcciones: se hizo la luz. Los científicos dicen que el Universo se volvió transparente. Esos fotones siguen viajando por el espacio actualmente, aunque éste se ha enfriado y dilatado tanto que la longitud de onda ha aumentado muchísimo y se han convertido en fotones mucho más fríos, que transmiten una energía de sólo 2'7 grados Kelvin. Es la llamada **radiación de fondo**.

Esta radiación de fondo fue descubierta en 1964 por *Penzias* y *Wilson*, en Estados Unidos. Estaban intentando eliminar todos los ruidos parásitos en su radiotelescopio cuando detectaron una emisión de 7'35 cm. de longitud de onda que siempre estaba presente, independientemente de la zona hacia la que apuntara la gigantesca antena. Se revisó toda la instalación, e incluso se pensó en que

unos pájaros que anidaron en la antena podían ser los causantes, pero no se pudo eliminar ese *ruido* de fondo. Se llegó a la conclusión de que el cuerpo emisor tenía una temperatura de 2'7° Kelvin —la temperatura actual del Universo— y no se encontraba en ningún lugar determinado, sino en todos: era el Universo mismo el que emitía aquella radiación de fondo, como una reliquia del Big Bang. Cualquiera puede detectarla sintonizando una TV en un canal que no emita nada: uno de cada diez puntos aproximadamente que se ven en la pantalla procede de esa radiación de fondo. Son emisiones en el campo de las microondas, similares a las de los hornos caseros, pero con muy poca energía: sólo podría calentar los alimentos a 2'7° K.

Aunque parecía una radiación extraordinariamente uniforme, *G. Smoot* y otros colegas lograron apreciar ligerísimas variaciones en las mediciones que hizo el satélite COBE, del orden de millonésimas de grado. Aunque pequeñas, parece que son las huellas de los grumos de materia a partir de los cuales se empezaron a formar las galaxias. Aún no sabemos qué fue lo que originó esas fluctuaciones de densidad. Lo que sí podemos afirmar es que esas *arrugas* en la materia se produjeron, y empezaron a producirse las condensaciones de las proto-galaxias, cuando habían pasado sólo unos cientos de millones de años desde el Big Bang. Casi a la vez se debieron formar las primeras estrellas en esas galaxias primitivas.



Mapa de las pequeñísimas irregularidades en la radiación de fondo, hecho a partir los datos del satélite COBE.



Para hacernos la idea de la historia posterior supongamos que todo el tiempo desde el Big Bang hasta ahora lo comprimimos en un año, del 1 de enero al 31 de diciembre. Hasta abril no se formó nuestra Vía Láctea. En junio se formó el Sol y la Tierra tuvo forma esférica en agosto. Pero no es hasta diciembre cuando el oxígeno se hace presente en nuestra atmósfera. Aparecen las primeras células vivas el 2 de ese mes y el 12 los primeros organismos pluricelulares. El 19 aparecen los primeros peces, y el 21-22 las plantas, insectos y anfibios. El 25 aparecen los dinosaurios, que duran hasta el 28. En el día 30 los mamíferos viven ya sobre la Tierra, pero no es hasta el 31, a las 11 de la noche, cuando aparece el hombre. A las 11 h y 57 minutos es cuando vive el hombre de Neanderthal y en el último minuto cuando se pintan las cuevas de Altamira. Cinco segundos antes de las doce de la noche es cuando nace Jesucristo. El último siglo serían las últimas dos décimas de segundo.

7.4 La materia oscura

¿Llegará algún momento en que la explosión del Universo se parará? Todo depende de la masa que haya: si hay mucha, la gravedad entre ella conseguirá frenarla; si hay poca, no será suficiente y seguirá indefinidamente la expansión. Los astrónomos han hecho cálculos y la masa visible de todas las estrellas y galaxias que observamos es aproximadamente el 1% de la masa necesaria para detener la expansión. Sin embargo hay indicios de la existencia de materia oscura muy difícil de detectar. Un ejemplo son las nubes de polvo que surcan la Vía Láctea. Otra son los agujeros negros que parecen existir en el centro de las gala-



M 16, Nebulosa del águila: polvo y gas se recorta sobre el fondo brillante. Pero cuando éste no existe, ¿cómo se puede detectar la materia oscura?

xias y de otros muchos cuerpos. Además quedan las enanas blancas, estrellas de neutrones y enanas marrones, que no podemos ver a partir de cierta distancia por ser muy pequeñas. ¿Llegaremos así al 99% de materia que falta para conseguir detener la expansión del Universo? Esta búsqueda de la materia oscura es uno de los campos donde más se está investigando a finales de este siglo.

En la rotación de las galaxias espirales también se hayan indicios de esa materia. Reproduciendo su movimiento por ordenador, se ve que al cabo del tiempo las formas que se producen son más acordes con la realidad si se supone que hay una buena cantidad de materia oscura en ella, que consigue sujetar a las estrellas en su giro.

También la distribución de los supercúmulos en alineaciones parece indicar que hay como gigantescas cuerdas de materia oscura que consiguen mantener a las galaxias a su alrededor. Si no, con las velocidades relativas a las que viajan las galaxias hace millones de años que se habrían dispersado totalmente.

Por último, algunos científicos buscan la materia oscura en las partículas elementales. La que más probabilidad tiene es el **neutrino**, partícula sin carga y prácticamente sin masa, aunque parece que ésta no es totalmente cero. Si esto se confirma, y también que existe en mayor abundancia de la que se creía, podría aportar buena parte de la masa que falta. En ese caso, tras unos 40.000 millones de años, la expansión se detendría y empezaría una contracción,

que terminaría con lo que se ha llamado el **Big Crunch**. Entonces todo puede parar o puede comenzar de nuevo. En este último caso estaríamos en un Universo pulsante.

Pero hoy por hoy, con los datos científicos que tenemos, nuestro Universo es abierto, es decir, estará siempre en expansión. El Sol, dentro de cinco mil millones de años, agotará su combustible, se hinchará como una gigante roja que se tragará la Tierra, y luego acabará como una enana blanca que se irá enfriando hasta convertirse en una enana marrón y por último en una enana totalmente fría. Eso, si no ha llegado antes el fin del mundo.



Nebulosa Trífida.

Actividades

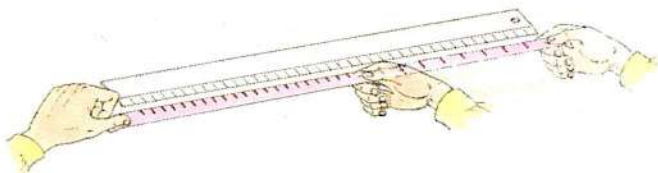
1 El Universo en una goma elástica

Objetivo: Hacer un modelo de la expansión del Universo.

Material: - Una goma elástica de unos 20 cm.
- Una regla.
- Un rotulador.
- Unas tijeras.

Procedimiento:

1. Con el rotulador, haz unas marcas sobre la goma cada cm. Cada una representará una galaxia. Selecciona una que representará a la nuestra (no necesariamente la primera).
2. Sitúa la goma cerca de la regla. Haz que nuestra galaxia coincida con la marca de 1 cm. Las otras galaxias coincidirán con las marcas 0, 2, 3, 4...cm.
3. Estira la goma de tal forma que nuestra galaxia se mantenga en la marca de 1 cm, y que la siguiente se sitúe sobre la de 3 cm. La distancia de esta galaxia a la nuestra se ha duplicado. ¿Qué ha pasado con la distancia entre las demás galaxias y la nuestra?
4. Supón que el tiempo que ha durado el estiramiento de la goma ha sido 1 seg. Las velocidades de alejamiento de las otras galaxias respecto de la nuestra ¿son todas iguales o unas se alejan más de prisa que otras?
5. Un habitante de nuestra "galaxia" vecina, ¿cómo verá la nuestra y las otras galaxias? ¿Todas se alejarán de la suya? ¿Ocurre esto si nos situamos en cualquier otra galaxia?
6. Por tanto, para que todas las galaxias se alejen de una, ¿es necesario que esté en el centro del Universo?
7. En el paso 4, calcula las velocidades de alejamiento de cada galaxia respecto de la nuestra y dibújalas en un gráfico frente a las distancias originales a la que estaban. Es un modelo de la llamada **Ley de Hubble**.



2 La Ley de Hubble

Objetivo: mostrar la relación entre las distancias a las galaxias y su movimiento de alejamiento (Ley de Hubble).

Material: - Una hoja cuadriculada.
- Regla.

Procedimiento:

1. Una de las formas para saber la velocidad a la que se alejan las galaxias de nosotros es medir el corrimiento al rojo de su luz, debido al efecto Doppler. Con ese procedimiento los astrónomos han encontrado las siguientes velocidades de las galaxias que se usaron en las actividades 2 y 3 de la unidad 6.

Objeto	Velocidad
M 51	800 Km/s
M 101	600 Km/s
M 100	1200 Km/s
NGC 5371	2400 Km/s

2. Dibuja un gráfico con las distancias en el eje horizontal y las velocidades en el vertical. ¿Se aproxima a una recta? Es la llamada **Ley de Hubble**. Calcula la constante de Hubble **H** que las relaciona, dividiendo las velocidades por las distancias.

$$v \text{ (Km / s)} = H \cdot d \text{ (millones de a. l.)}$$

3. Calcula la velocidad a la que se aleja una galaxia del cúmulo de Hércules (su distancia está en la actividad 3 de la unidad 6).
4. La siguiente tabla indica la velocidad a la que se alejan algunas galaxias brillantes. Calcula su distancia a nosotros.

N.º NGC / N.º Messier	Velocidad (km/s)	Distancia (a.l.)
M 55	215	
NGC 2903	600	
NGC 4649 / M 60	1200	
NGC 4736 / M 94	850	
NGC 5055 / M 63	570	
Cúmulo de Coma	7.700	
Cúmulo de Hydra	47.000	
Quásar 3C 273	50.000	
Quásar 3C 9	160.000	

3 Detección de la radiación de fondo de microondas

Objetivo: Visualizar la radiación de fondo de microondas, reliquia de la Gran Explosión.

Material: Televisor.

Procedimiento:

Sintonizar el televisor en un canal vacío. La imagen está compuesta de multitud de puntos cambiantes continuamente. Aproximadamente un 10 %, es decir, uno de cada diez proviene de la radiación de fondo del Universo.

4 La Astronomía entre nosotros

Objetivo: Comprobar cómo están presentes conceptos astronómicos en la vida ordinaria.

Material: El mundo a tu alrededor.

Procedimiento:

Sal a la calle y observa los objetos que hay a tu alrededor. Anota aquellos que lleven nombres o usen objetos astronómicos. Los campos son muy variados: modelos de coches, películas, alimentos, colonias, periódicos, banderas, nombres de personas o lugares, programas de TV, canciones, etc. Por ejemplo, *Ford Orión*, chocolatinas *Mars*, etc.



MITOLOGÍA EN LAS CONSTELACIONES



Todos los pueblos antiguos han identificado diversas figuras de estrellas o asterismos con sus héroes y figuras legendarias, que formaban parte de sus culturas. Tanto a los chinos, los hindúes o los egipcios, les gustaba ver allí arriba a sus antecesores.

En la cultura occidental han prevalecido los nombres de las constelaciones que pusieron los grecorromanos. Esos nombres e historias han sido con frecuencia motivo de posteriores obras literarias, musicales, pictóricas o escultóricas. Conocerlas forma parte de la cultura actual.

Antes de contar esas historias, hagamos un breve resumen de los personajes de la religión politeísta de entonces, tan diferente a las religiones actuales por muchos motivos.

Los principales dioses griegos son los denominados "los doce Olímpicos", por tener su residencia en el monte Olimpo. En realidad, eran al menos trece divinidades superiores, acompañadas de otras divinidades menores.

Poetas y mitógrafos no se ponen totalmente de acuerdo sobre el origen de estas divinidades, si bien las versiones más generalizadas (que toman como base a Homero, Hesíodo y Apolodoro) coinciden en lo siguiente:

Urano (el Cielo) y Gea (la Tierra) tuvieron numerosos hijos, que se agrupan en cuatro conjuntos: Hecatonquiros, seres fabulosos de cien manos (en griego, hecaton = cien; quiros = manos), el más famoso de los cuales será Briareo, al que Don Quijote confunde con un molino en su famosa batalla; Cíclopes (gigantes de un sólo ojo); Titánidas, entre las cuales se encuentran Tetis, la madre de Aquiles, y Rea, esposa de Cronos; y Titanes, uno de los cuales, Cronos (Saturno entre los romanos), se alzaría con el poder y devoraría a sus hijos

recién nacidos para evitar que le arrebatasen el poder. Su esposa Rea conseguirá salvar a Zeus quien, cuando crezca, derrotará a su padre y se hará con el dominio del Olimpo. Él se quedará con el cielo y la tierra, y dejará los mares a su hermano Posidón y el mundo subterráneo a su otro hermano Hades. Zeus tendrá distin-

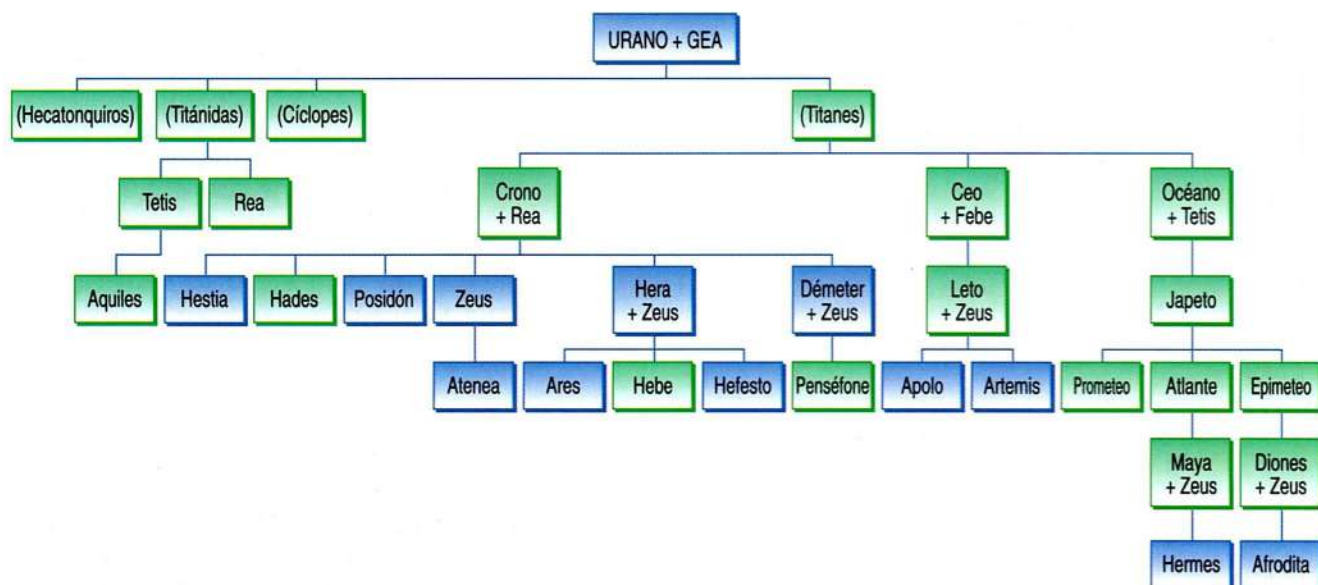
DIOSES OLÍMPICOS		
Nombre griego	Nombre romano	Símbolo
Zeus	Júpiter	Rey de los dioses
Hera	Juno	Esposa de Zeus
Posidón	Neptuno	Rey de los mares
Deméter	Ceres y Cibeles	Agricultura
Atenea	Minerva	Inteligencia
Ares	Marte	Guerra
Hermes	Mercurio	Mensajero de Zeus
Afrodita	Venus	Amor
Apolo	Febo	Belleza, arte
Hefesto	Vulcano	Fuego
Artemis	Diana	Vida pura, caza
Hestia	Vesta	Hogar
Dioniso	Baco	Alegría, vino, vida vegetal

tos hijos con su esposa Hera y con otras diosas o mortales. Posteriormente admitirá en el monte Olimpo a Dioniso. Por otra parte, un Titán, Prometeo, fue el que creó a los hombres del barro y les dio el fuego del Sol. Zeus se enfadó y le encadenó en el monte Atlas, donde un águila le comía las entrañas, hasta que fue salvado por Hércules.

Como se ve, los nombres de los planetas provienen del nombre latino de varios de estos seres.

En el cuadro siguiente está el resumen de la genealogía de los principales dioses y diosas griegos:

Genealogía de los dioses griegos (en azul, los dioses del Olimpo)



Estos dioses con frecuencia se metamorfoseaban en seres humanos, en animales, vegetales o cualquier otro elemento; tenían pasiones y vicios como los humanos y favorecían o dañaban a los hombres a su capricho. Para actuar tenían que bajar y presentarse en el lugar correspondiente, no podían hacerlo a distancia.



Zeus Hera Posidón Deméter

Además había otras deidades: las Musas, que presidían las artes y las ciencias —Urania presidía la Astronomía—, las bellas Ninfas, que recibían distintos nombres según el lugar en que habitaban (Náyades en las fuentes y ríos, Nereidas en el mar...); o los feos Sátiros o Silenos, que eran genios de la naturaleza. También había dioses terribles como las Moiras, que simbolizaban el destino humano, las Erinias, que se encargaban de la venganza y las Gorgonas, criaturas horribles con serpientes en lugar de cabellera.



Apolo Artemis Hefesto Atenea

Los héroes eran hijos de dioses y hombres. Eran mortales, limitados, pero a la vez con gran valor, belleza, fuerza, etc. Ejemplos son Aquiles, Ulises, Héctor, Perseo, los Argonautas, Heracles (o Hércules en la mitología romana), etc.

Se llama catasterismo a la conversión en constelaciones de los personajes o seres mitológicos, que seguirán teniendo la misma personalidad que tenían en la Tierra. Con frecuencia se producía al final de su vida, como premio por algún hecho heroico.

Con este marco general, vamos a recordar algunas historias de los personajes representados en las constelaciones.

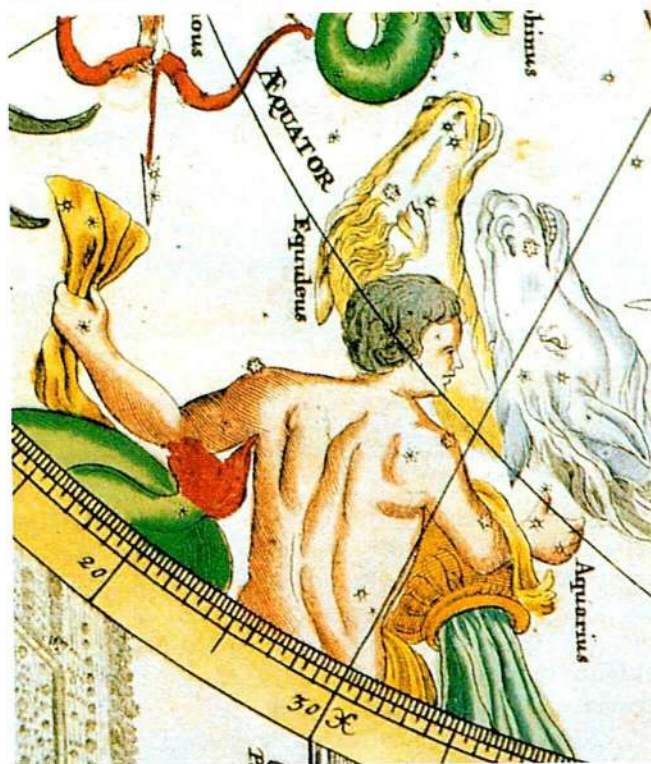


Ares Afrodita Hermes Hestia

nes, no sin antes advertir que las versiones de la mayoría de ellas son distintas según los autores que las relatan.

Desde la antigüedad, el zodíaco se dividió en 12 constelaciones, que abarcan aproximadamente 30° de longitud a partir de la intersección de la Eclíptica con el Ecuador celeste o punto vernal. Todos son animales o personajes excepto Libra. Son: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. A través de esas constelaciones circula la Luna, el Sol y los planetas en sus lentos movimientos. Además hay otras treinta y cinco constelaciones con nombres mitológicos.

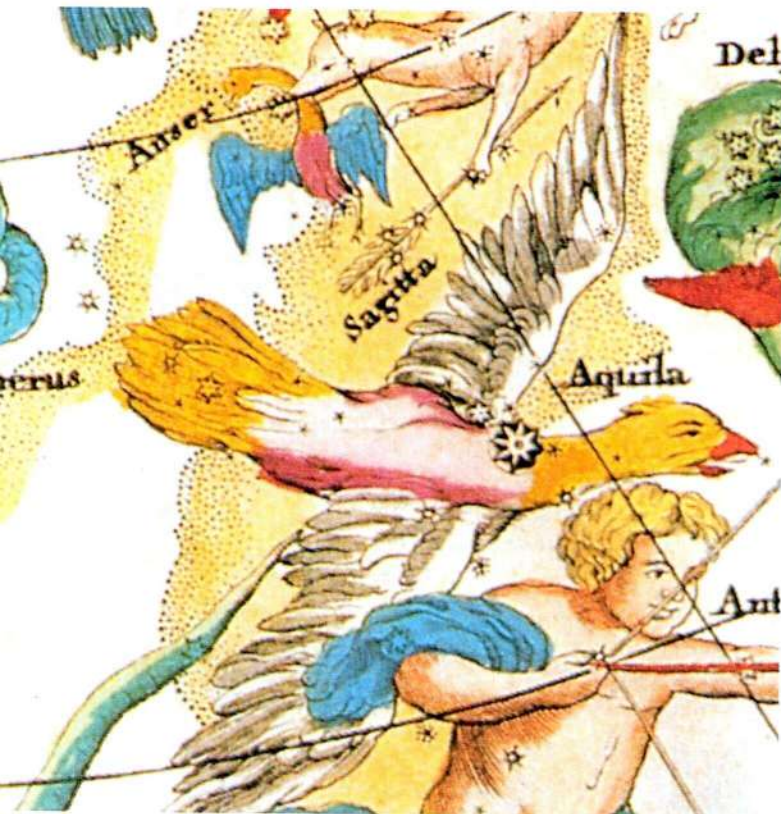
1. ACUARIO



Es un signo zodiacal, también llamado *ánfora*. Se identifica con Ganimedes. Zeus, cautivado por su belleza, lo raptó para que sirviese el vino a los dioses, para lo cual le

dotó de inmortalidad. Aunque no es un dios, antiguamente se pensó que era la divinidad encargada de enviar las aguas a la Tierra. El nombre hace realmente referencia al agua, que indica las lluvias que abundan en el mes de enero y febrero al que corresponde el signo zodiacal.

2. ÁGUILA



Cuando los dioses se repartieron las aves, a Zeus le tocó el águila.

Como Zeus admiraba la belleza de Ganimedes, hijo del rey Tron, dispuso que un águila lo raptase y lo llevara al Olimpo, donde serviría como copero de los dioses.

El águila fue convertida en constelación por ser la reina de las aves, la única que era capaz de volar de cara al sol.

3. ANDRÓMEDA

Hija de Cefeo y Casiopea, reyes de los cefenos, era muy hermosa. Tanto que su madre se vanaglorió de ser la más hermosa del mundo, lo que provocó la ira de las Nereidas, que fueron a quejarse a Posidón, el cual envió un monstruo que asolaba las costas. Consultado un oráculo, el único remedio fue atar a Andrómeda a una roca de la costa para calmar la ira de Posidón.

Cuando estaba a punto de ser devorada por un dragón, llegó Perseo montado en su caballo alado Pegaso, mató al monstruo y se casó con Andrómeda. Atenea la convirtió en constelación con los brazos en cruz, de la misma forma en que Andrómeda fue encadenada a la roca.



4. ARA

Es el altar construido por los Cíclopes, junto al cual se reunieron los Crónidas para destronar a su padre, Cronos.



5. ARIES



Es un signo zodiacal que representa al vellocino de oro.

Frixi y Hele, hijos del rey Atamante, eran odiados por su madrastra. Viéndose amenazados huyeron montados en un carnero con la piel de oro (vellocino de oro) que les regaló Hermes. El carnero, que hablaba y razonaba, podía caminar por el aire. Durante el viaje Hele cayó al mar y murió, pero Frixi llegó a Cólquide, donde sacrificó el carnero a Zeus y éste lo catasterizó.

Frixi regaló el vellocino de oro al rey de Cólquide, quien lo colocó en las ramas de un árbol. Para vigilarlo dispuso que un dragón, que no dormía ni de noche ni de día, se situase bajo el árbol.

Jasón y otros famosos héroes, como Cástor y Pólux (los Dióscuros), Hércules, Orfeo, Teseo, etc., se embarcaron en el navío Argo para emprender su aventura de rescate del vellocino de oro. Se les llamó los Argonautas. El barco tenía cincuenta remos y un mascarón parlante profético, de roble.

6. AURIGA

Representa a Erictonio, rey de Atenas, que estableció el culto a Atenea, introdujo el uso de la moneda e inventó el carro tirado por cuatro caballos (cuadrige). Zeus le

admiraba porque había competido con el dios Sol (el Sol fue el primer dios que condujo una cuadrige). Su madre fue la diosa Gea y su padre un hijo de Hefesto.

Atenea encerró al bebé Erictonio en un cofre confiándole a una hija de Cécrope, llamada Pandroso, con el mandato de no abrirlo. Pero la curiosidad venció a las hermanas de Pandroso y lo abrieron. El espanto que les produjo ver a la criatura con un dragón, hizo que saliesen corriendo y cayeron precipitándose desde lo alto de la Acrópolis.

Auriga es el nombre latino de la constelación del cochero. Estos aurigas dirigían los carruajes tirados por caballos, competían en las carreras de circo y solían proceder de clases humildes, aunque algunos llegaron a tener fortunas.

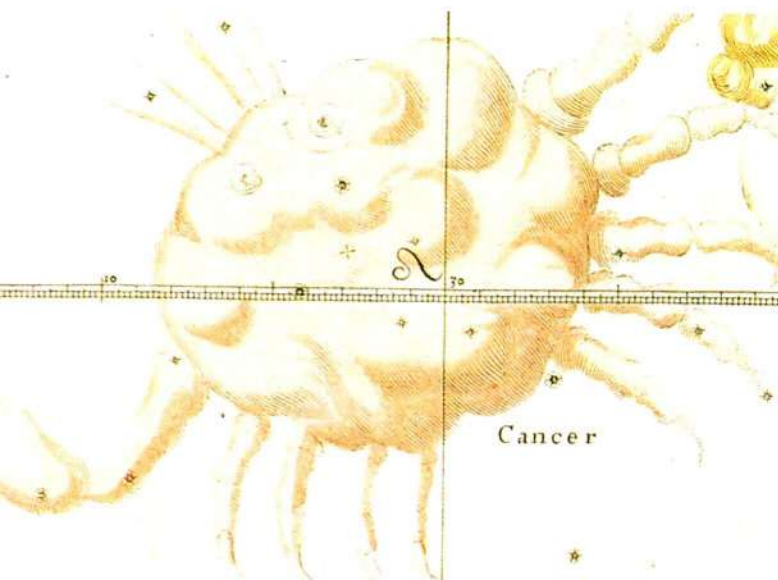
7. BOYERO (BOOTES)



Significa conductor de bueyes. Se identifica con Filomeo, hijo de Deméter y del mortal Lasionte. Su madre, diosa de la Agricultura, le enseñó a cultivar el campo. Fue el inventor del arado, del carro y de la yunta de bueyes. Desde el cielo sigue guiando a los dos carros de las Osas Mayor y Menor.

8. CÁNCER (Cangrejo)

Hera, hija de Cronos y Rea, fue la diosa del cielo. Zeus la hizo su esposa y están sentados juntos en el Olimpo.



Hera hizo aparecer un cangrejo gigante para atacar a Hércules durante la lucha que tuvo con la Hidra de Lerna, y le mordió en un pie. Hércules lo mató pisándolo. Fue convertido en constelación por Hera.

9. CAN MAYOR

Es uno de los dos perros de caza de Orión, el cazador.

10. CAN MINOR

Es el segundo perro de caza que acompañaba a Orión. Era la perra Maira. Después de estar con Orión, perteneció a Icario. Asesinado éste, su perra localizó su tumba, gimiendo y llorando hasta que se le hincharon los ojos. Sobre la tumba se quedó Maira, sin comer ni beber, hasta que murió. Dioniso la elevó al firmamento. A la estrella más brillante, Procyón, los árabes la llamaban Algomaia, que significa "la de los ojos hinchados de llorar".

11. CAPRICORNIO

Representa al dios Pan, que significa "todo". Hijo de Hermes, era un dios pastor que protegía los campos, ganado y pastores. Perseguido por la serpiente Tifón, tuvo que tirarse a un río, convertido en pez-cabra. Como tal, Zeus le elevó al firmamento.

Pan era muy feo: su piel era cabruna, velluda y negra; tenía patas de cabra y cuernos. De hecho, al nacer, su madre salió huyendo. Pan se entretenía jugando en los bosques y asustando a las ninfas y a los viajeros, a quienes les entraba el "terror pánico".

Aunque los dioses del Olimpo le despreciaban, Apolo



aprendió de Pan la forma de realizar profecías y Hermes copió una flauta inventada por él.

Otros autores lo identifican con un hijo de Pan, Egipán, que se crió con Zeus, al cual le proporcionó una concha de una caracola marina para que, al hacerla sonar, espantara a los Titanes.

12. CASIOPEA

Casiopea era la madre de Andrómeda. Su historia se cuenta en esa constelación.

13. CEFEO

Cefeo era el marido de Casiopea y rey de los cefenos, pueblo situado en Etiopía a orillas del Éufrates. Después del salvamento de su hija Andrómeda, Atenea mandó la catasterización de Cefeo.

14. CENTAURUS

Representa al centauro Quirón, educado por la diosa Artemis, diosa de la caza y de los bosques y por Apolo.

Los centauros, mitad hombres y mitad caballos, eran hijos de Ixión. Eran pobladores salvajes y brutales de Tesalia, y se dedicaban a pastorear manadas de toros (de ahí su nombre). En una ocasión un rey los invitó a su boda, pero el centauro Euritión, borracho, quiso raptar a la novia provocando una pelea de la que salieron huyendo. No obstante hubo centauros famosos por sus virtudes como Folo, por su sabiduría, o Quirón, que crió y enseñó los secretos de la medicina a Asclepio, hijo de Apolo y Coronis.

Murió al ser herido accidentalmente por Hércules con



una flecha en un pie, cuando acudía para poner orden en otra pelea de centauros.

Por sus méritos, Zeus lo transformó en constelación.

15. CETUS (LA BALLENA)



Es el monstruo marino al que se refiere la historia de Andrómeda.

16. CISNE

Es Zeus con forma de cisne. Prendado de Leda, reina de Esparta, se metamorfoseó en cisne para conquistarla. De ese amor nació Helena, que cuando fue mayor fue rapta por Paris y llevada a Troya, lo que dio origen a todas las historias que se cuentan en La Ilíada y La Odisea.



17. CORONAS BOREAL Y AUSTRAL

Representan la corona que Ariadna se puso en su boda con Dioniso. Éste, lleno de alegría por la boda, cogió la corona y la lanzó a los cielos, para que su fulgor quedara como testimonio imperecedero de su felicidad y amor, que fueron eternos.

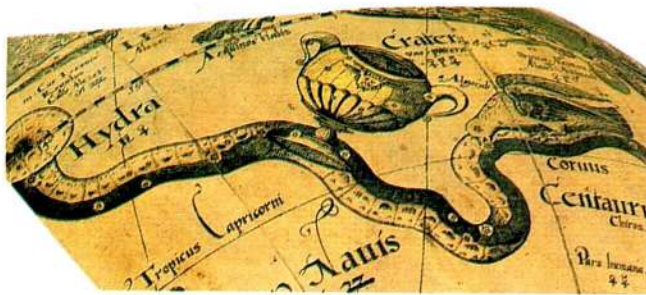
Pero la Corona tiene una historia previa. Teseo, desde la infancia, era un luchador contra los monstruos. Estando en Atenas, llegaron los cretenses para recoger a siete jóvenes y siete doncellas como tributo, para sacrificarles arrojándoles al Minotauro. Teseo fue uno de los escogidos, pero al llegar a Creta se presentó como hijo de Posidón. Para comprobarlo, el rey Minos arrojó su anillo al mar y le retó a que lo rescatara. Teseo se lanzó al agua y con la ayuda de su padre no sólo rescató el anillo, sino una corona de piedras preciosas.

Ariadna, hija de Minos, se enamoró de Teseo y le dio un ovillo para guiarse por el laberinto del terrible Minotauro, al cual mató. La corona iluminó a Teseo en el camino de vuelta, y éste se la regaló a Ariadna.

Al dejar Creta, Teseo se llevó a Ariadna y a su hermana, pero la abandonó en una isla donde la encontró dormida Dioniso. Al despertar, la consoló de la tristeza que le supuso el abandono por parte de Teseo, y se casó con ella.

18. CORVUS, CRÁTER E HIDRA

Apolo envió a recoger agua a un cuervo sagrado a una fuente. Al lado de la fuente había una higuera con higos inmaduros, y el cuervo decidió esperar a que maduraran para comerlos. Después de comerlos recogió agua en la cratera (recipiente en forma de copa donde se mezclaba el vino y el agua para después servirla) y cogió una hidra (ser-



piente acuática) que había en la fuente y regresó. Apolo, que sabía lo ocurrido, le preguntó por su tardanza y el cuervo le mintió diciendo que la hidra se bebía toda el agua de la fuente. Apolo castigó al cuervo a pasar sed durante el otoño. Luego catasterizó al cuervo, a la hidra y la cratera.

19. DELFÍN

Es el delfín que Posidón catasterizó en agradecimiento por traer a la joven nereida Anfitrite de las islas de Atlas. Anfitrite había huido de Posidón que pretendía casarse con ella. Cuando llegó a lomos del Delfín, Posidón la recibió tan risueño que no pudo por menos de acceder a ser su esposa.



20. DRAGÓN

Se llama también *Serpiente* y es el dragón que vigilaba las manzanas de oro del jardín de las Hespérides. Hércules lo mató, siendo catasterizado por Hera.

Para otros es una serpiente que arrojaron los Gigantes contra Minerva y que ésta arrojó al cielo quedándose allí.

Otros autores lo interpretan de diferente manera. Se



trataría de la forma de serpiente que tomó Zeus para escapar de la persecución de su padre Cronos, a la vez que convertía en osas a sus nodrizas y a las que catasterizaría cuando destronó a su padre.

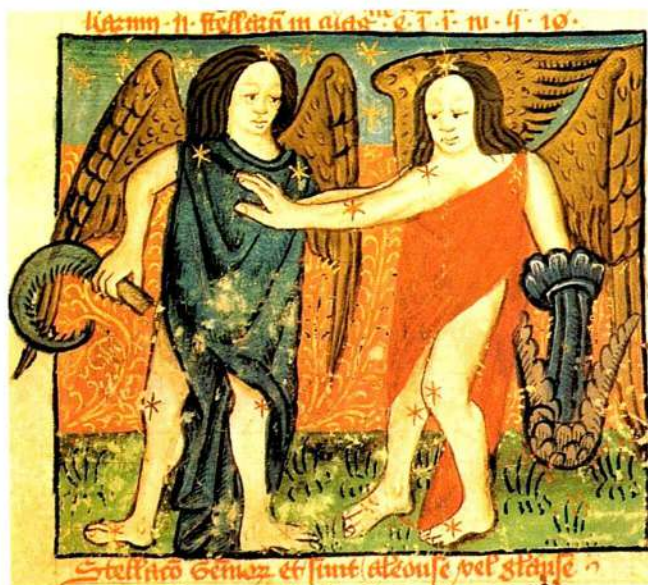
21. ESCORPIO



Es un signo zodiacal. Es el escorpión gigante que salió de la tierra de la isla de Creta y mató a Orión. Zeus lo catasterizó a la vez que Orión para que se admirase su fuerza. Por eso cuando en el cielo aparece Escorpio, Orión se oculta.

22. GÉMINIS

Como contamos en la constelación de Cisne, Zeus se enamoró de Leda, reina de Esparta y casada con Tindáreo. Para conquistarla, se metamorfoseó en cisne. Leda dio a luz dos huevos. De uno nacieron Pólux y Helena, hijos de Zeus. Del segundo nacieron Cástor y Clitemnestra, hijos de Tindáreo. A Cástor y Pólux se les conoce como Dióscuros (retoños de Zeus) y vivieron siempre muy unidos.



Realizaron proezas como liberar a su hermana Helena en Atenas, o participar con Jasón en la aventura de los Argonautas, durante la cual Zeus, en una tormenta, envió dos llamas a las cabezas de los Dióscuros: es el origen del conocido fuego de San Telmo, que los marinos interpretan como señal del final de la tormenta.

Después, los Dióscuros se casaron con dos doncellas. Los afereidas, que también las pretendían, no se llevaban bien con Pólux y Cástor y siempre estaban de disputas. En una de estas peleas murió Cástor. Pólux lloró a su hermano y apenado por no poder ser enterrado con él, ya que era de origen divino, conmovió a Zeus, que los catasterizó juntos. De esta manera permitió a Pólux estar con Cástor entre los astros, símbolo de la fraternidad y de la amistad, configurando la constelación de Géminis.

23. HÉRCULES

Hércules, o Heracles, es un héroe medio divino entre los griegos. Era la personificación de la fuerza física, pero sobre todo era protector. Zeus, queriendo un protector de dioses y humanos, descendió a Tebas con la forma de Anfitríon, marido de Alcmena, que estaba en una batalla y tuvo con ella un hijo, Heracles.

Fue instruido en sabiduría, virtud, lucha y música. A los 18 años mató un león que diezmaba los rebaños de su padre y ayudó a Atenea a luchar contra el rey de Orcónemo.

Después de diversos sucesos catastróficos, como los asesinatos de sus hijos y su madre a manos del propio Hércules en una confusión trágica, Hércules abandonó el país siendo sometido a los doce trabajos, durante doce años, por el oráculo de Delfos y bajo el mandato de Euristeo:

- 1.º Estrangular al león del bosque de Nemea.
- 2.º Matar la hidra de Lerna.
- 3.º Cazar vivo al jabalí de Erimantea.
- 4.º Alcanzar corriendo a la cierva con pies de bronce.
- 5.º Matar los pájaros del lago de Estinfalia.
- 6.º Hacer pasar las aguas del río Alfeo por los establos de



Augias para limpiarlos.

- 7.º Domar el toro de Creta.
- 8.º Matar a Diómedes, que alimentaba sus caballos con la carne de los hombres.
- 9.º Conquistar el cinturón de Hipólita.
- 10.º Robar el rebaño de Gerión y matarle.
- 11.º Robar las manzanas de oro de las Hespérides.
- 12.º Librar a Teseo de los infiernos.

Durante el undécimo trabajo, tuvo que matar al dragón que vigilaba en la entrada del jardín y se apoderó de las manzanas de oro. La actitud que tuvo tras la matanza del dragón, arrodillado sobre él, es la reflejada en el cielo.

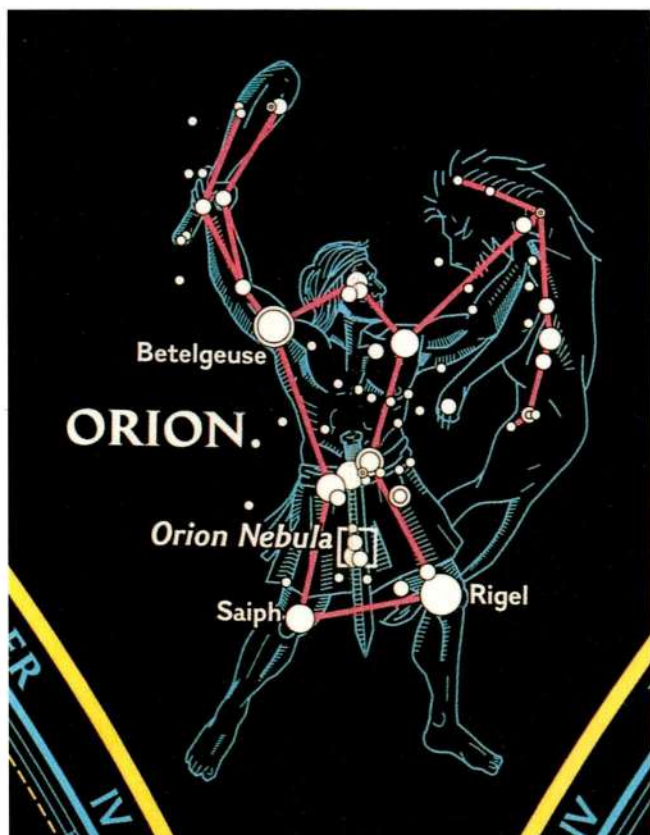
24. LEO

Es un signo zodiacal que representa el león de Nemea, que Hércules estranguló y Zeus catasterizó por ser el rey de los cuadrúpedos.

Es el primer trabajo encargado por Euristeo a Hércules. Trató de matarlo con las flechas, pero al no poder hacerlo, decidió luchar cuerpo a cuerpo hasta que logró ahogarlo con las manos.

Zeus, habiendo tenido quejas por sus resurrecciones, ya que los mortales tenían que morir, lo fulminó. El propio Zeus lo catasterizó en consideración a su padre Apolo. La serpiente que lleva en las manos o rodeando su cayado es un símbolo. También es la forma en que fue llevado a Roma.

29. ORION



Era un gigante de Beocia, de gran belleza. Según algunos era hijo de la Tierra y de Posidón, para otros su padre era Hiria, rey de Beocia.

Alcanzó tal altura que podía caminar por el fondo del mar con la cabeza fuera del agua. Tenía una gran afición por la caza y poseía una gran fuerza física.

El rey de Quíos, con la ayuda del dios Dioniso, le sacó los ojos como venganza. Supo Orión, por medio de un oráculo, que volvería a ver cuando caminara hacia el Sol, y Hefesto (Vulcano) le prestó un lazarillo. Cuando recobró la vista marchó a Creta donde formó parte del séquito de Artemis, diosa de la caza y de los bosques durante las cacerías. En una ocasión Orión se encontraba nadando lejos de la costa, cuando Apolo, desde la orilla y sin saber qué era, retó a su hermana Artemis a alcanzar con su flecha aquel punto lejano del mar. Artemis disparó y le mató clavando su flecha en la sien de Orión.

Otra versión dice que murió como consecuencia de la picadura de un escorpión, por lo que esta constelación desaparece en el cielo cuando aparece Escorpio. Los dioses catasterizaron a Orión y al escorpión en extremos separados del cielo.

30. OSA MAYOR



Es la ninfa Calisto, hija de Licaón, que se unió al séquito de Artemis e hizo voto de castidad. Su gran belleza enamoró a Zeus, que consiguió seducirla. Artemis se encolerizó por ello e intentó matarla. Zeus, para salvarla, la convirtió en una osa y así consiguió huir. Al poco tiempo dio a luz a su hijo Arcade.

Zeus confió a un pastor la crianza de Arcade, con quien creció. En una ocasión en que Arcade estaba de caza, encontró una osa y, desconociendo que se trataba de Calisto, su madre, trató de cazarla. La osa huyó y se refugió en un templo dedicado a Zeus, pero Arcade la persiguió. Los guardianes del templo los capturaron y cuando iban a ser muertos por profanar el templo, Zeus se apiadó de Calisto e hijo y los catasterizó: son la Osa Mayor y la Osa Menor.

Según otras versiones, Calisto sería convertida en la Osa Mayor y Arcade en su guardián, la brillante estrella Arturo.

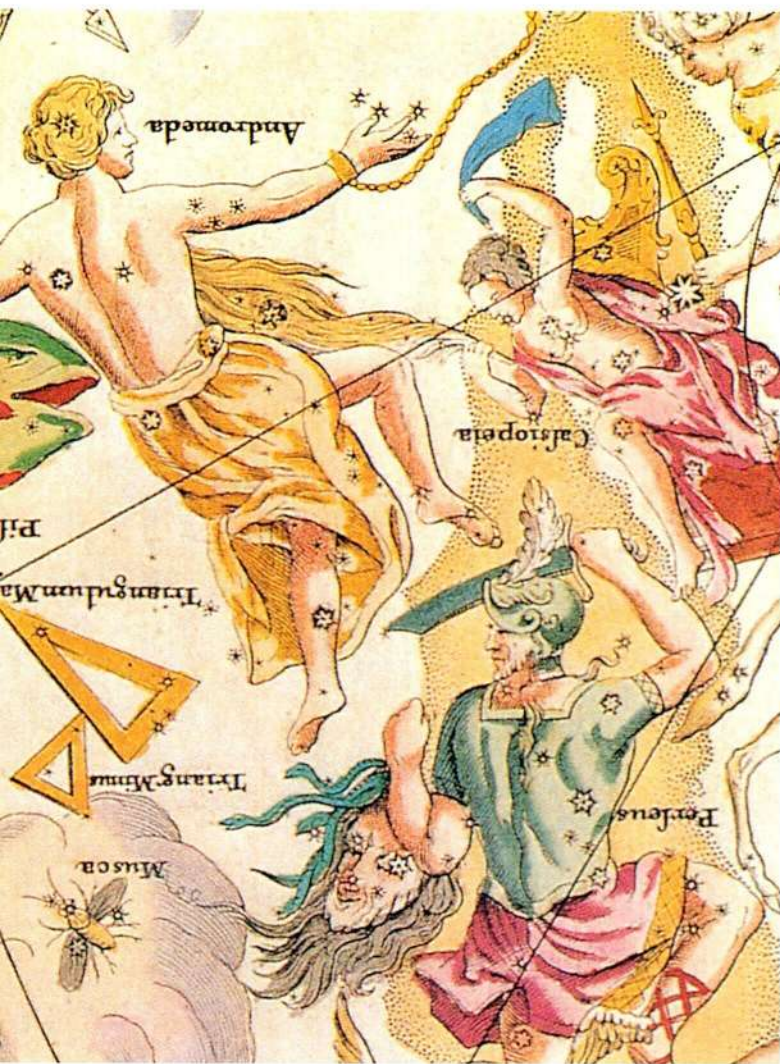
El nombre latino de la Osa Mayor es Triones que hace referencia a los siete (Septem) bueyes. De aquí la palabra Septentrio que da lugar a nuestro vocablo 'septentrional'.

31. OSA MENOR

Es Arcade. Su historia está contada en la Osa Mayor.

32. PERSEO

Acrisio, triste por no tener un hijo, consultó al oráculo de Delfos sobre su futuro. El oráculo le reveló algo trágico-



co: su hija Dánae tendría un hijo y éste le mataría. Aterrorizado, encerró a su hija en una habitación apartada, para evitar que tal oráculo se cumpliera. Pero Zeus entró en la estancia en forma de lluvia de oro y Dánae tuvo un hijo que se llamaría Perseo. Entonces Acrisio tomó otra decisión que consistió en encerrar a su hija y nieto en un cofre y echarles al mar. De esta manera llegaron a Sérifo y su rey, Policletes, los acogió.

Años más tarde se enamoró de Dánae y desconfiando de Perseo, solicitó regalos del pueblo fingiendo que se casaría con otra mujer. Perseo quiso destacar con el regalo de la cabeza de una Gorgona —mujer monstruosa que poseía serpientes en la cabeza en lugar de cabellos— y salió de viaje. Llegado al país de las Grayas, tres seres malvados, con sólo un ojo y un diente entre las tres —debían turnárselo—, le salieron al paso. Perseo les robó el ojo y diente y unas prendas que le hacían invisible. Así fueron obligadas a guiarle ante las Gorgonas.

Las Gorgonas eran tres hermanas: Esteno, Euriale y Medusa, con dientes de jabalí, alas de oro y manos de bronce. No se las podía mirar pues quien lo hiciese se convertiría en estatua de piedra. De las tres, sólo Medusa era mortal. Perseo, mirando hacia un lado, dejó que su brazo y arco fuesen guiados por Atenea y abatió al monstruo. Le cortó la cabeza, la guardó en un saco y salió huyendo de las otras hermanas.

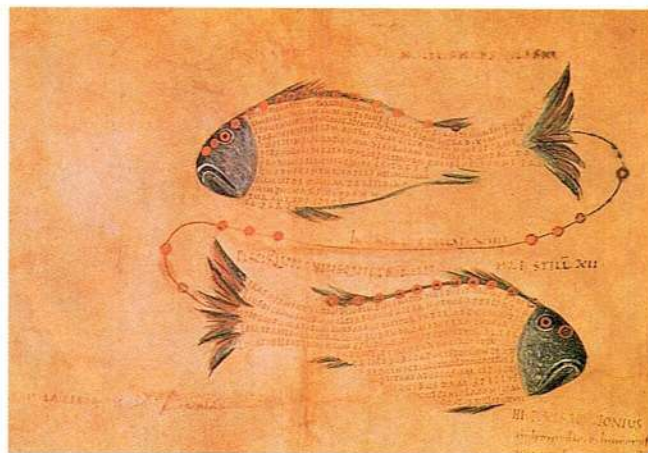
Emprendió el viaje de regreso y llegó a Etiopía. Allí encontró a Andrómeda atada a las rocas y lista para ser sacrificada por un monstruo marino. Mató el monstruo, liberó a Andrómeda y enamorándose de ella, se casó.

De vuelta a Sérifo, encontró a su madre acosada por el rey. Para liberarla de la presión, sacó la cabeza del saco y se la mostró a Policletes, quien al mirarla, quedó petrificado. Una vez libres de Policletes, marcharon de Sérifo camino de su patria.

Acrisio, sabedor del regreso de su nieto, recordó el oráculo y huyó. Pero el destino estaba escrito y durante la celebración de unos juegos fúnebres, Perseo lanzó un disco con tan mala fortuna que alcanzó a su abuelo, quien murió a causa del accidente, cumpliéndose el oráculo.

Perseo, apenado, renunció a ser el sucesor y se retiró a reinar en Micenas. Fue catasterizado por la forma en que fue engendrado y por sus hazañas.

33. PISCIS



Hay varias versiones de este catasterismo, algunas de ellas son las siguientes:

En el río Éufrates cayó un huevo. Dos peces lo condujeron hasta la orilla, donde fue incubado por una paloma. Al poco tiempo, del huevo nació Venus.

Otra versión habla de que Derceto, una sirena hija de Afrodita, habiendo caído junto al río Éufrates, el Pez Grande, en compañía de dos de sus nietos, la salvó. En agradecimiento, fueron catasterizados.

Otros hablan de que la sirena Derceto puso dos huevos en la desembocadura del Éufrates en el Golfo Pérsico. De ellos nacieron dos peces tan hermosos que fueron catasterizados.

34. PLÉYADES

Son las siete hijas de Atlas y Pléyone: Maya, Taigete y Electra fueron amadas por Zeus; Posidón fue amante de Alcíone y Celeno y, por último, Ares amó a Estéropo; solamente Mérope tuvo un amor mortal.

Orión las persiguió durante cinco años por las montañas. Cuando iban a caer en sus manos pidieron auxilio a Zeus quien, transformándolas en palomas, las dispuso en el cielo.

35. SAGITA

Es la flecha con la que Apolo mató a los Cíclopes productores del rayo, en venganza por la fulminación de su hijo Asclepio por Zeus. La flecha la escondió después en el país de los Hiperbóreos. Después de haber servido Apolo a Admeto, Zeus consideró expiada su falta y la flecha volvió por los aires con frutos asaeteados. Fue catasterizada por el mismo Apolo.

36. SAGITARIO

Representa a un centauro disparando flechas. Se iden-



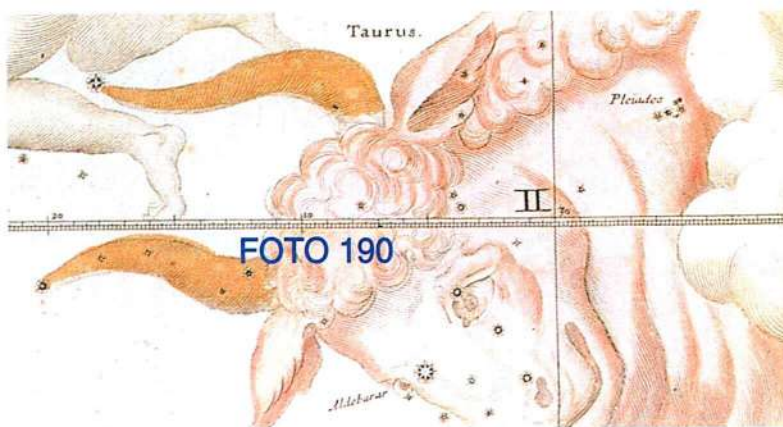
tifica con Croto (aplausos), hijo Pan y de Eufeme, nodriza de las Musas. Fue el inventor del aplauso. Cuando las Musas cantaban, mostraba su admiración con aplausos. Aunque los centauros sólo usaban como armas piedras y ramas, y no disparaban flechas, las Musas le dieron esa habilidad para su alimentación. Las Musas pidieron a Zeus que lo catasterizara en agradecimiento a los muchos favores recibidos.

Otros autores piensan que es Artemis, hermana de Apolo, a quien acompañaba siempre en sus cacerías y así se la representa con el arco y el carcaj.

37. TAURUS

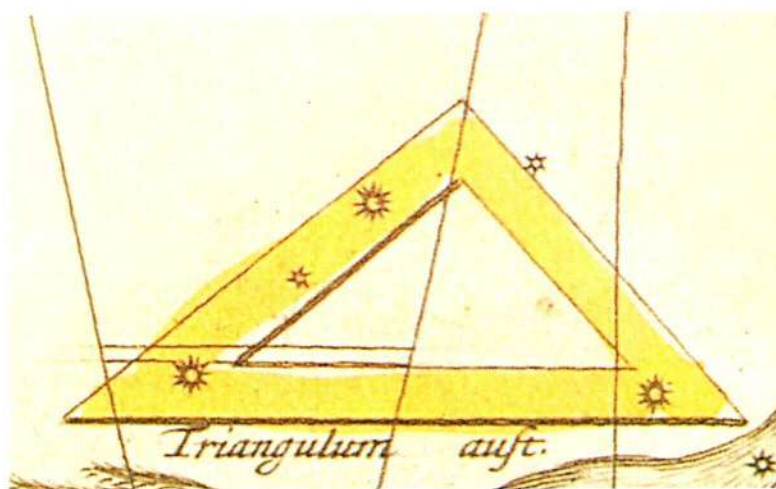
Es un signo zodiacal con la forma del toro que Zeus tomó para raptar a Europa. La cabeza del Toro está rodeada por las Híades, ocho ninfas que criaron a Dioniso entre flores y manantiales. Este dios las catasterizó como premio a sus cuidados.

Europa, hija del rey de Fenicia, estaba cogiendo flores cuando vio un toro con pelo brillante y suave que pacía



mansamente con el ganado de su padre. Era Zeus, metamorfoseado para engañar a la joven, pues estaba enamorado de ella. Europa se le acercó y le acarició. Cuando el animal se sentó en el suelo, ella lo montó. Estaba trenzando el pelo del toro cuando el animal, de forma súbita, se levantó y adentró en el mar hasta que llegó a Creta. De esta unión nacieron Minos, Radamante y Sarpedón.

38. TRIÁNGULO



Como Aries brillaba poco, Hermes colocó unas estrellas encima de la cabeza del carnero, para realzarle, dándole la forma de la letra delta.

39. VÍA LÁCTEA

El nombre es latino, y significa 'Camino de leche'. Su sinónimo Galaxia procede de "galax", leche en griego.

Hay, como es habitual, varias versiones de la que diremos brevemente alguna de ellas. Se trataría de la leche de Rea, que por orden de Cronos, habría expulsado de su seno. La razón sería que Cronos no quiso aceptar como hijo la roca que le ofreció en lugar de Zeus.

Otra versión dice que Hermes, enviado por Zeus, se llevó de su cuna al recién nacido Hércules y lo colocó junto

a la diosa Hera, que dormía. El niño empezó a mamar con tanta fuerza que Hera se despertó y retiró de golpe su pecho, rociando el cielo con ese chorro de leche. Por haberse alimentado de la leche de Hera, Hércules se hizo inmortal.

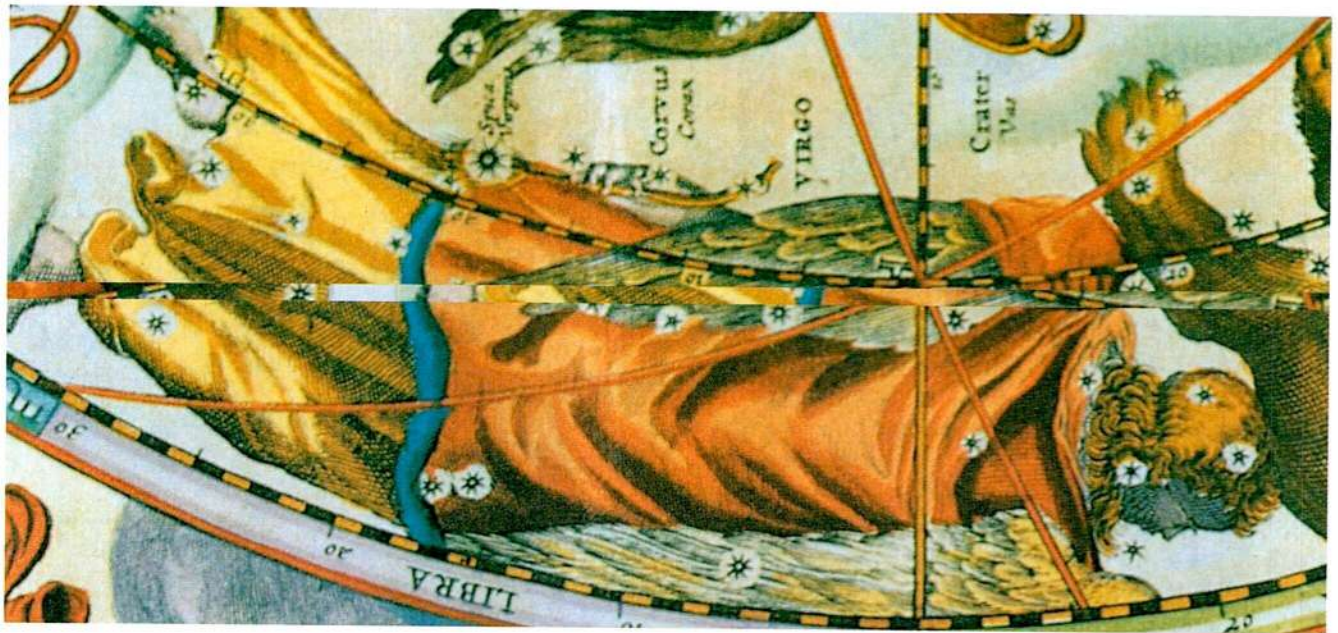
40. VIRGO

Es un signo zodiacal que se refiere a Dice (Dike).

Zeus se casó por segunda vez con su tía Temis, que es la ley del orden físico y moral, y tuvieron tres hijas, las tres Horas o estaciones: Eunomia vigilaba el Buen gobierno, Irene velaba por la Paz y Dice, por la Justicia.

Según la mitología griega, la humanidad ha tenido cuatro edades: la de oro, donde los hombres vivían con los dioses en completa felicidad. La de plata, que estuvo habitada por una raza de hombres débiles y que morían jóvenes. La de bronce se caracterizó por unos hombres fuertes y sin piedad que acabaron matándose entre ellos. Descubrieron los primeros metales. La edad heroica, donde los hombres combatían y existían numerosos héroes. El hombre actual vive la edad de hierro.

Dice vivió en la era de oro con los hombres, pero en la de plata se apartó a las montañas, bajando de vez en cuando para reprender a los hombres por su comportamiento. Cuando llegó la edad de bronce, Dice abandonó la Tierra definitivamente yéndose al cielo formando Virgo.



ESO

TALLER DE

ASTRONOMÍA

SEGUNDO CICLO



ISBN 84-460-0662-6



9 788446 006626



ESO

TALLER DE

ASTRONOMÍA

SEGUNDO CICLO

Taller de Astronomía

Guía didáctica

Ricardo Moreno
Antonio Moreno



TALLER DE ASTRONOMÍA

RICARDO MORENO

ANTONIO MORENO

LIBRO DEL PROFESOR



2º CICLO DE ESO

Reservados todos los derechos.

De acuerdo a lo dispuesto en el art. 534-bis, a), del Código Penal, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización.

© Ricardo Moreno y Antonio Moreno, 1996

© Ediciones Akal, S. A., 1996

Los Berrocales del Jarama

Apdo. 400 - Torrejón de Ardoz

Madrid - España

Telfs.: 656 56 11 - 656 51 57

Fax: 656 49 11

ISBN: 84-460-0663-4

Depósito legal: M-32.623-1996

Impreso en Grefol, S.A.

Móstoles (Madrid).

Índice

1. Objetivos generales y método didáctico	5
2. Descripción de unidades	7
3. Correspondencia con los objetivos marcados por el MEC	8
4. Atención a la diversidad	11
5. Tratamiento de los temas transversales	12
6. Criterios de evaluación	13
7. Concreción de contenidos	15
8. Sugerencias sobre secuencias temporales	22
9. Relaciones con otras materias.....	23
10. Aula y materiales	24
11. Guía documental y de recursos	25
A. Referencias bibliográficas	25
B. Materiales y recursos	29
C. Direcciones de interés	31
12. Solucionario de las Actividades	34



1. Objetivos generales y método didáctico

Un gran número de fenómenos astronómicos, en especial los más sencillos relativos a los movimientos aparentes del Sol y de la Luna, las estaciones o la medida del tiempo, son cuestiones cotidianas que influyen en la vida ordinaria, aunque muy a menudo pasen completamente inadvertidas por su monótona invariabilidad y el progresivo distanciamiento de la vida urbana respecto a la Naturaleza. Muchos de estos fenómenos tienen cabida en esta materia, y su tratamiento intenta mostrar cómo su conocimiento puede ser de utilidad en un buen número de ocasiones cotidianas, a la vez que abre las puertas hacia otros horizontes, hacia nuevos conocimientos.

Los avances en la astronáutica, al llevar sondas espaciales a los diversos planetas del Sistema Solar, y los descubrimientos en astrofísica gracias a las observaciones hechas con los nuevos telescopios espaciales y terrestres hacen que noticias en este campo sean frecuentes en los medios de comunicación y motivo de gran interés para muchos jóvenes. Una buena parte de la literatura, cine, juegos, etc. dirigida a ellos maneja términos y conceptos relacionados con la astronomía (agujeros negros, galaxias, años-luz, etc.) y forman parte de la cultura en la que se mueven hoy. Este proyecto intenta dar respuesta a ese interés creciente mostrado por los alumnos que están en el segundo ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria.

Se ha intentado presentar la astronomía desde un punto de vista científico, remarcando su relación con distintas disciplinas. Así se usa la Geometría para calcular órbitas planetarias o distancias a las estrellas, se hace referencia a la Química al hablar de la composición de las estrellas, a la Geología cuando se describen los planetas y sus lunas; se explican y usan conceptos de Óptica al hablar de instrumentos astronómicos, y conceptos de Mecánica al describir las leyes que rigen el movimiento de los planetas. Es de esperar que un alumno que curse esta asignatura descubra el carácter unitario del conocimiento humano, a veces demasiado compartimentado en distintas ciencias inconexas entre sí.

Consecuentemente, se ha tratado de seguir procedimientos propios de la actividad científica. En las múltiples actividades propuestas, un denominador común es la observación de fenómenos astronómicos, la toma de datos, su tratamiento y análisis, y por último, la formulación de modelos que den respuesta a la observación y que posibiliten predicciones o información nueva.

Otro objetivo es descubrir que la Astronomía, aunque trate de objetos situados muy lejos de nosotros, explica gran cantidad de cuestiones cotidianas: desde la medida del tiempo, el día y la noche, el mes y el año, hasta la razón de las estaciones, los eclipses o el color azul del cielo. Además, el afán descubridor de nuevas fronteras del conocimiento humano proporciona grandes beneficios a la vida humana: por ejemplo las comunicaciones vía satélite, el desarrollo de los chips informáticos, avances en investigaciones biomédicas y en nuevos materiales.

Para conseguir estos objetivos, se proponen procedimientos atractivos a los alumnos, en los que son ellos los que actúan y los que van construyendo gran parte de sus cono-

cimientos. Por ejemplo, ellos miden el radio de la Tierra y el de la Luna, la distancia al Sol, dibujan las órbitas elípticas de varios planetas, hacen modelos a escala del Sistema solar, calculan a partir de observaciones del cielo nuestra posición en la Galaxia, hacen estimaciones de las distancias a otras galaxias a partir de fotografías, etc. No hay duda de que lo que se aprende por uno mismo es mucho más difícil de olvidar.

Las actitudes que se intentan dejar como poso de todo ello son el interés por el saber científico, el placer que produce la contemplación de la Naturaleza y la comprensión intelectual de las leyes que la rigen, y el profundo respeto al pensamiento de otros, aunque nos parezcan desfasados: el saber científico actual es un patrimonio de la Humanidad que se ha conseguido con el esfuerzo de muchos hombres durante siglos. Como dijo Newton, *"si he llegado a ver más allá que el resto de los mortales es porque me subí a hombros de gigantes"*.

En resumen, el desarrollo de esta materia intenta aportar a los alumnos una visión amplia de la Astronomía, como una parcela del saber científico de la Humanidad, como una posible actividad profesional, como un patrimonio cultural con multitud de lecturas y de relaciones con otras ramas del saber y, finalmente, como una afición que puede proporcionarles momentos de placer tanto estético como intelectual.

2. Descripción de unidades

En la primera unidad didáctica se aborda la Historia de la Astronomía. Se repasan los orígenes sumerios, babilonios y egipcios, con fines fundamentalmente de medición del tiempo; la época geométrica de los pensadores griegos; la revolución copernicana; el inicio de la ciencia experimental con Kepler, Galileo y Newton; y la época de la astrofísica actual.

La segunda unidad trata de la aportación que ha supuesto la Astronáutica. Un repaso a la reciente exploración espacial engarza la Técnica actual con el desarrollo de la Astronomía a través de los siglos.

En la tercera unidad se describen los instrumentos con que cuenta el astrónomo: conocimiento del cielo a simple vista, coordenadas celestes, telescopios y prismáticos, etc., así como algunas leyes que gobiernan el cielo. En las actividades se propone la construcción de aparatos sencillos y de algunos modelos.

La cuarta unidad trata del Sistema solar: formación, distancias y cuerpos que lo componen. Las diversas actividades ofrecen la posibilidad de construir diversos modelos a escala y también hacer cálculos sencillos para determinar distancias y tamaños a partir de datos recogidos por el propio alumno o suministrados por otros.

La unidad quinta es un estudio de los conocimientos actuales sobre las estrellas: composición, tipos y proceso de nacimiento, vida y muerte de una estrella. Las actividades hacen posible al alumno medir por sí mismo la distancia a varias estrellas, así como observar y estudiar la variabilidad de alguna de ellas.

En las unidades sexta y séptima se abordan los conocimientos actuales sobre las galaxias y sobre el Universo. Diversas actividades, en la misma línea que en las unidades anteriores, hacen posible al alumno determinar nuestra posición en la Vía Láctea, el tamaño y distancia de las galaxias, etc.

Por último, como unidad octava, hemos incluido las historias mitológicas de los personajes con que nuestros antepasados llenaron el cielo. No hemos incluido todas las constelaciones, pero sí la gran mayoría de las que tienen nombres mitológicos.

3. Correspondencia con los objetivos marcados por el MEC

En el Anexo III de la Resolución de la Dirección General de Renovación Pedagógica, de fecha 10 de junio de 1992, al hablar del Taller de Astronomía, se sugieren varias formas de llevarlo a la práctica:

- a) alrededor de la Historia de la Astronomía,
- b) con la construcción de aparatos sencillos,
- c) describiendo los objetos del Sistema solar,
- d) a través de la mitología que hay detrás de los nombres de las constelaciones y estrellas,
- e) observando el cielo e interpretando el movimiento que allí se observa,
- f) estudiando la forma, tamaño, origen y evolución de las estrellas, galaxias y del propio Universo,
- g) mediante una combinación equilibrada de ellas.

Todas estas formas de enfocar esta asignatura son válidas, y dependerá de los intereses y necesidades de los alumnos, y de las posibilidades reales del profesor y del centro. En el proyecto que presentamos hemos procurado aportar material que cubra todas estas vías, aunque quizá con más extensión en las que tienen una orientación más moderna y actual, es decir, las referentes a la Astrofísica.

Se indica a continuación cómo se adecúa el presente proyecto a los objetivos marcados por el Ministerio para esta materia en el Anexo III de la citada Resolución:

OBJETIVOS MEC	ADECUACIÓN EN EL PROYECTO
1. Familiarizar al alumno con el aspecto y los objetos del cielo, tanto en sus características inmutables como en las cambiantes.	Reconocimiento de las principales constelaciones y del movimiento de la Luna y de los planetas. Estudio de la posición del Sol en las distintas estaciones.
2. Desarrollar la idea de que lo que se conoce actualmente sobre el Universo es el producto del esfuerzo colectivo que ha realizado la Humanidad desde su origen y la consciencia de lo que a este esfuerzo han contribuido los distintos campos de la ciencia y de la técnica.	Conocimiento de la Historia de la Astronomía desde la prehistoria hasta hoy, y de la contribución que han supuesto la Astronáutica y el desarrollo de la Técnica y de la Ciencia.

3. Tomar conciencia de la importancia del método, la constancia y la perseverancia en el estudio de los lentos movimientos de los astros y de su carácter positivo en general.	Tomar conciencia de la importancia de la paciencia y perseverancia en las observaciones astronómicas.
4. Desarrollar criterios y capacidades para organizar y clasificar los datos que nos ofrece la experiencia astronómica de una manera objetiva y para analizar e interpretar esos datos en función de la estructuración que se les haya dado y de las hipótesis subyacentes, buscando nuevos elementos en la realidad que las confirmen o rechacen, siguiendo una metodología científica.	Desarrollar criterios y capacidades para organizar los datos obtenidos por el propio alumno o facilitados por observatorios astronómicos profesionales. Interpretarlos científicamente. Construir modelos que los expliquen, y buscar nuevas observaciones que lo confirmen o rechacen, siguiendo una metodología científica.
5. Comprender las nociones básicas de Astronomía de posición referentes a los movimientos de la Tierra, relacionándolos con las apariencias y fenómenos observados, con los hechos cotidianos, consolidando una concepción científica del mundo en el que vivimos.	Comprender las nociones básicas de Astronomía de posición y el porqué de los movimientos aparentes que se observan en el cielo.
6. Fomentar la valoración de la influencia que tienen los fenómenos astronómicos, y lo que se ha sabido de ellos en cada época, sobre la forma de vivir y sobre el desarrollo cultural de la Humanidad a lo largo de todos los tiempos.	Reflexionar sobre la influencia mutua que han tenido el desarrollo del saber científico, y de la Astronomía en particular, y la cultura de cada época.
7. Tomar conciencia del lugar de la Tierra y del Hombre en el Universo y de la necesidad de preservar nuestro limitado y frágil hábitat, comprendiendo las repercusiones de la actividad humana en su equilibrio.	Tomar conciencia de la situación de la Tierra y del hombre en el Universo, y de la necesidad de preservar nuestro planeta, influenciado por la actividad humana.
8. Comprender algunas repercusiones de los últimos avances astronómicos y su influencia en otras ramas de la ciencia y en la vida cotidiana, apreciando la necesidad actual de los científicos profesionales de trabajar en equipos interdisciplinarios coordinados dada la confluencia de saberes y de disciplinas desde los que se puede abordar un tema astronómico.	Comprender cómo es necesario trabajar en equipo en la ciencia actual. Valorar las repercusiones positivas de la Astronáutica en la Astronomía.

9. Comprender y apreciar las potencialidades de los diversos campos del saber astronómico para el placer y el disfrute, tanto desde el punto de vista estético como desde el intelectual.	Aprender a disfrutar de la contemplación del cielo, distinguiendo las distintas constelaciones del firmamento e iniciándose en la observación con prismáticos y telescopios.
10. Fomentar la curiosidad y el deseo de profundizar en los conocimientos referentes a los fenómenos astronómicos.	Fomentar la profundización personal en los conocimientos astronómicos.
11. Conocer y comprender las principales aplicaciones utilitarias de la Astronomía, como el calendario, el cómputo del tiempo o la orientación.	Aprender a orientarse con las estrellas, la Luna y el Sol. Comprender los fundamentos de la medida del tiempo: día, mes, año y estaciones.
12. Colaborar en la planificación y ejecución de trabajos en equipo, con independencia de criterio y respeto hacia los demás.	Fomentar el trabajo en equipo en las distintas actividades. Fomentar el respeto a los demás y los perjuicios que acarrea al equipo la falta de responsabilidad de los componentes individuales.
13. Elaborar informes escritos acerca de datos obtenidos por distintos medios, utilizando con corrección, claridad y sencillez tanto el lenguaje natural como el científico y otros medios como dibujos o fórmulas de manera que sinteticen la opinión personal.	Aprender a elaborar informes escritos sobre las observaciones realizadas, utilizando correctamente el lenguaje natural y el científico, y usando otros medios gráficos adecuados (tablas, gráficos, dibujos, etc.) que favorezcan la expresión.
14. Participar activa y ordenadamente en debates (puestas en común), emitiendo juicios propios razonados con argumentos y escuchando las opiniones de los demás respetuosamente.	Participar en debates sobre temas astronómicos, sabiendo expresarse oralmente con corrección y respeto a las otras opiniones, y emitiendo juicios propios apoyados en argumentos y razones adecuadas.
15. Diseñar, planificar y construir algunos aparatos y maquetas sencillos, que sean útiles para la función requerida, desarrollando sus capacidades manuales y su creatividad.	Construir con iniciativa personal algunos aparatos sencillos, maquetas y modelos útiles para la astronomía.

4. Atención a la diversidad

En la segunda etapa de la ESO se ha introducido una clara vía de atención a la diversidad al ofrecer a los alumnos la elección de aquellas materias optativas que respondan mejor a sus expectativas, motivaciones y necesidades concretas, entre las que se encuentra Taller de Astronomía. El hecho de escogerla ya es una respuesta a la diversidad de los alumnos.

Sin embargo es muy probable que el profesor de esta materia tenga alumnos más motivados que otros y con distintas capacidades. Tanto en la programación de contenidos como en las actividades deberá tenerlo en cuenta. En el material que aquí se presenta se han distinguido tres niveles de profundidad y dificultad. Las actividades más básicas se las ha llamado "nivel estrella", y pueden servir de actividades de refuerzo. Las intermedias se las llama "nivel medio", al ser el contenido de lo que se podría llamar parte común. Las de más nivel son llamadas "nivel galaxia", y podrían ser actividades de profundización para los más aventajados. El profesor, valorando a sus alumnos, debe escoger aquellas actividades y contenidos que mejor se adecúen a cada uno.

Muchas actividades se pueden —o incluso se deben— realizar en grupos de 2 ó 3 alumnos. Combinando adecuadamente sus componentes se puede lograr que todos experimenten un crecimiento efectivo en el desarrollo de sus capacidades, aportando cada uno sus valores, ideas y colaboración.

Otra forma de graduar la dificultad de los trabajos prácticos es dejando más o menos iniciativa a los alumnos en su desarrollo. Los que tengan más dificultades necesitarán más orientación por parte del profesor, aunque permitiendo siempre que el propio alumno aporte ideas y reflexione sobre ellas.

5. Tratamiento de los temas transversales

Con este material se puede incidir de varias maneras en los temas transversales previstos:

- **Educación moral y cívica** al insistir en el respeto a las opiniones de otras personas, al valorar el esfuerzo de científicos de los siglos pasados aunque hoy estén superadas sus teorías. También se puede hacer ver la importancia de la cooperación internacional en los nuevos descubrimientos astronómicos, y en la pluralidad de razas y países que hay entre los científicos más avanzados actualmente.
- **Educación por la paz** al tratar el uso del espacio para fines pacíficos y la cooperación internacional en las misiones espaciales y en los trabajos de investigación.
- **Educación no sexista** al mostrar la igualdad de aptitudes científicas que han mostrado personas de los dos sexos, por ejemplo en los primeros pasos de los viajes espaciales o con figuras, tanto femeninas como masculinas, entre los astrónomos famosos de este siglo.
- **Educación ambiental**, especialmente al tratar la unidad de la Tierra como planeta. Se incide en los problemas medioambientales que existen, y se intenta desarrollar una conciencia responsable de ellos.
- **Educación vial** al enseñar a los alumnos su localización en el espacio, y a orientarse tanto de día como de noche.

6. Criterios de evaluación

EVALUACIÓN DE LOS ALUMNOS

La mayoría de trabajos en clase se prestan a su debate y crítica entre los propios alumnos y entre el alumno o equipo de alumnos y el profesor. Este intercambio de opiniones sobre el trabajo que se está realizando debe ser un instrumento muy a tener en cuenta en la evaluación y servir de ayuda y orientación tanto al alumno como al profesor.

Además, se proponen cinco tipos de pruebas para la evaluación de los alumnos. Cada una de ellas se puede evaluar con una escala de por ejemplo cinco niveles, según el grado de consecución de unos determinados criterios, que pueden ser:

Tipo de prueba 1: Informe sobre observaciones efectuadas

Serán valorados atendiendo a los siguientes criterios:

- El alumno ha sabido planificar su trabajo con autonomía e iniciativa.
- Ha hecho las observaciones con método, precisión y orden.
- Se da cuenta de las limitaciones que tiene.
- Ha llevado un registro escrito de las observaciones, anotando los elementos que influyen, la fiabilidad y precisión de los instrumentos, etc.
- Ha analizado los datos y ha sacado conclusiones razonadas.
- Ha mostrado madurez en los comentarios.
- La redacción del informe es clara y completa.

Tipo de prueba 2: Informe crítico sobre algún modelo propuesto

Estos informes se valorarán según los siguientes criterios:

- El alumno ha sabido valorar el grado de cientifismo de los autores del modelo.
- Entiende su fundamento y sabe expresar las observaciones que explica.
- Sabe sacar conclusiones y hacer predicciones con dicho modelo. Es capaz de explicar las limitaciones que tiene y aporta ideas sobre lo que no explica.
- Sabe dar opiniones personales interesantes y razonadas.

Tipo de prueba 3: Murales, maquetas o instrumentos confeccionados en equipo

Estos trabajos se valorarán según los siguientes criterios:

- El alumno ha sabido planificar su trabajo con autonomía y constancia.
- Ha recogido la información necesaria para llevarlo a cabo.
- Muestra iniciativa y originalidad en el diseño y ejecución del trabajo.
- Ha cuidado los detalles en la confección.
- Sabe trabajar en equipo.

Tipo de prueba 4: Trabajos bibliográficos, también en equipo

Estos trabajos se valorarán según los siguientes criterios:

- El alumno ha consultado fuentes suficientes y adecuadas.
- Ha asimilado lo que ha leído y sabe extraer las ideas importantes.
- Es claro, conciso y racional en su exposición.
- Aporta opiniones personales con madurez.

Tipo de prueba 5: Prueba escrita o cuestionario

Estas pruebas se evaluarán de forma tradicional.

La valoración conjunta de estos cinco tipos de pruebas será suficiente para poder evaluar de manera sistemática y continua a los alumnos que decidan incorporarse a esta actividad.

EVALUACIÓN DEL DISEÑO DEL CURSO

La evaluación del diseño del curso se puede basar en el análisis de los resultados obtenidos en cuanto a:

- Consecución de objetivos planteados (lo que puede hacerse de forma bastante objetiva mediante la evaluación del rendimiento académico de los alumnos).
- Clima conseguido en la clase (de valoración más difícil y subjetiva). Es un aspecto muy importante a evaluar. Debería lograrse un clima relajado y a la vez estimulante, en el que los alumnos se desenvuelvan con interés y soltura.
- Valoración otorgada por los alumnos (en respuesta a un formulario escrito) a diferentes cuestiones relativas al curso: interés de los diversos tipos de actividades, claridad en el encargo de trabajos, equidad en los trabajos en equipo, claridad en la definición de la forma de evaluar, corrección de los criterios de evaluación, equilibrio en las intervenciones del profesor.

EVALUACIÓN DE LA ACTUACIÓN DEL PROFESOR

Para poder evaluar la actuación del profesor sería interesante que otro compañero asistiera a alguna sesión o tomar una de ellas en vídeo. Esto permitiría un intercambio de reflexiones con diferentes puntos de vista, así como valorar con mayor objetividad las opiniones de los alumnos sobre la organización del curso y el papel del profesor, que podrían recogerse mediante un cuestionario escrito.

7. Concreción de contenidos

1 UNIDAD

HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA

CONCEPTOS

La medida del tiempo en los pueblos primitivos: años, meses, semanas, etc. Etimología de sus nombres.

Distinción entre estrellas fijas y planetas, ya desde la antigüedad.

Distinción entre Astrología y Astronomía.

Teorías geométricas en la antigua Grecia.

Modelo geocéntrico de Tolomeo.

Modelo heliocéntrico de Copérnico.

Aportación de Tycho Brahe y Kepler.

El comienzo de la ciencia experimental con Galileo.

Culminación de la Mecánica celeste con Newton.

Principales avances de la Astronomía en los siglos XIX y XX.

PROCEDIMIENTOS

Exposición de los hechos más relevantes en la Historia de la Astronomía.

Trabajos bibliográficos.

Explicación de qué es un modelo.

Discusión del valor y límite de un modelo.

Análisis de los distintos modelos hechos por el hombre para explicar las observaciones.

Diseño de maquetas que sirvan para explicar modelos.

ACTITUDES

Valoración del trabajo de los sabios de la antigüedad para llegar al desarrollo actual de la ciencia.

Tener mentalidad histórica al enjuiciar a nuestros antepasados.

Tomar conciencia de la provisionalidad de toda teoría científica.

Respeto a las ideas de otros.

Búsqueda de la verdad.
Gusto por los avances de la ciencia.
Reserva ante manifestaciones de la astrología.

UNIDAD 2

CONTRIBUCIÓN DE LA ASTRONÁUTICA

CONCEPTOS

La V-2 y el desarrollo de los cohetes después de la II Guerra Mundial.
Primeros satélites y primeros hombres en el espacio.
Los proyectos Mercury, Géminis y Apolo.
Estaciones orbitales.
El transbordador espacial.
Sondas a otros planetas.
Telescopios espaciales.

PROCEDIMIENTOS

Descripción de las diversas etapas de la Astronáutica.
Trabajos bibliográficos sobre algunas misiones.
Análisis de noticias en los medios de comunicación.
Recopilación en periódicos y revistas y exposición de fotografías de ingenios espaciales.
Visionado de alguna película de viajes espaciales y debate posterior de conceptos científicos implicados.
Construcción y puesta en funcionamiento de algún cohete.
Construcción de maquetas de vehículos espaciales.

ACTITUDES

Interés por la información científica y técnica.
Valorar la necesidad del trabajo en equipo para conseguir un objetivo importante.
Tomar conciencia de la responsabilidad en el gasto público.
Darse cuenta de la necesidad de la investigación.
Ver la necesidad de grandes retos para la Humanidad.
Apreciar el uso pacífico del espacio.
Distinguir valores y contravalores de la ciencia-ficción.

3

UNIDAD

MEDIOS CON QUE CUENTA EL ASTRÓNOMO

CONCEPTOS

Conocimiento de las constelaciones.
 Qué es el Zodíaco.
 Coordenadas celestes.
 Aprender a orientarse de día y de noche.
 Las estaciones.
 Uso y tipos de prismáticos y telescopios.
 La fotografía, el espectroscopio y el efecto Doppler como herramientas.
 Principales leyes que gobiernan el cielo.

PROCEDIMIENTOS

Observación y análisis del movimiento del Sol a lo largo de un día.
 Observación de la puesta de Sol durante varias semanas.
 Uso de planisferios y mapas celestes.
 Construcción de algún instrumento astronómico: planisferio, reloj de sol, telescopio sencillo, etc.
 Construcción de maquetas en tres dimensiones de algunas constelaciones.
 Cálculo de la densidad de algunos cuerpos celestes usando la ley de la gravitación.
 Medición aproximada de ángulos y coordenadas en el cielo usando la mano como herramienta.
 Iniciación en el uso de algunos instrumentos astronómicos.
 Prácticas de orientación de día y de noche.
 Manejo de algún programa informático sobre mapas celestes.

ACTITUDES

Interés y gusto por observar el cielo a simple vista.
 Apremiar la racionalidad del Universo, gobernado por leyes.
 Valorar saber orientarse por el cielo.

4

UNIDAD

EL SISTEMA SOLAR

CONCEPTOS

Formación del Sistema Solar.
 Distancias y tamaños.

El Sol.
La Luna.
La Tierra.
Los planetas interiores.
Los planetas exteriores.
Asteroides y cometas.

PROCEDIMIENTOS

Exposición de los conocimientos actuales sobre el Sistema Solar.
Visionado de vídeos y diapositivas sobre el tema.
Recogida de fotografías sobre el Sol, la Luna y los planetas.
A partir de fotografías, medición de los tamaños de la Luna y el Sol, y sus distancias.
Construcción de modelos a escala del Sistema Solar.
Construcción de algún modelo de las fases de la Luna.
Observación de las manchas solares con un telescopio o con prismáticos (no directamente, sino por proyección).
Estimación de la luminosidad del Sol comparándolo con un fotómetro con una bombilla de potencia conocida.
Dibujo de las órbitas de algún planeta interior a partir de tablas astronómicas.
Simulación por ordenador de las órbitas planetarias.

ACTITUDES

Apreciación de la singularidad de la Tierra en el Sistema Solar.
Actitud de respeto y defensa del ambiente, para poder conservar el ambiente natural en la Tierra.
Interés por nuevos descubrimientos.
Amplitud de miras en el trabajo científico.
Toma de conciencia de los distintos aspectos bajo los que se puede estudiar un mismo objeto: mecánico, químico, geológico, etc.



LAS ESTRELLAS

CONCEPTOS

El año-luz y el parsec como unidades de medida de distancias.
Luminosidad, magnitud aparente y absoluta.
Colores y espectros de las estrellas.
Diagrama H-R.
Nacimiento, vida y muerte de las estrellas.
Tipos de estrellas: dobles, variables, novas, supernovas, púlsares, agujeros negros, nebulosas planetarias.

PROCEDIMIENTOS

Uso del paralaje para hallar la distancia a alguna estrella, usando fotografías.
 Estimación de la distancia a estrellas comparándolas con el Sol.
 Uso del nomograma Magnitud-Distancia-Luminosidad.
 Seguimiento a simple vista de la luminosidad de alguna estrella variable.
 Observación de los colores de las estrellas, a simple vista y con prismáticos.
 Usando fotografías, distinguir distintos tipos de nebulosas según su origen.

ACTITUDES

Apreciación de la inteligencia humana que puede analizar la composición de objetos tan distantes.
 Interés por la investigación científica.
 Toma de conciencia del valor provisional de toda hipótesis científica.
 Darse cuenta de la necesidad de cooperación entre las distintas ramas del saber: Química, Física, Geometría, etc.



LAS GALAXIAS

CONCEPTOS

Cúmulos abiertos y globulares.
 Nebulosas.
 La Vía Láctea.
 Tipos de galaxias.
 Quásares.

PROCEDIMIENTOS

Recopilación y exposición de fotografías de nebulosas, cúmulos y galaxias.
 Determinación del tamaño de nuestra Galaxia, calculando distancias a cúmulos globulares.
 Localización del Sistema Solar en nuestra Galaxia observando la posición en el cielo de objetos extragalácticos, nebulosas, etc.
 Cálculo de la masa de nuestra Galaxia a partir del período de rotación.
 Usando fotografías de galaxias, calcular su distancia usando triángulos.
 Estimación de distancias a otras galaxias usando cefeidas.

ACTITUDES

Toma de conciencia de la pequeñez del hombre y de la Tierra.
 Interés por adentrarse en nuevos conocimientos científicos.

Gusto por la contemplación del Universo.

Al mirar al cielo, valorar el saber dónde estamos y hacia dónde miramos.



EL UNIVERSO

CONCEPTOS

Cúmulos de galaxias.

La expansión del Universo.

Teoría del Big-Bang.

Otras teorías alternativas.

La materia oscura.

PROCEDIMIENTOS

Uso de modelos de la expansión del Universo (globo inflable, goma elástica, etc.).

A partir de algunos datos, dibujo de la Ley de Hubble.

Estimación de la distancia a objetos usando la Ley de Hubble.

Observación de la radiación de fondo en un televisor.

Análisis de las diversas teorías del origen del Universo según el modelo científico.

Uso de fotografías de materia oscura, de cúmulos de galaxias y de la estructura del Universo.

ACTITUDES

Capacidad de admiración ante la grandeza del Universo.

Reconocimiento del valor de las hipótesis en el método científico, para explicar observaciones y sacar conclusiones.

Comprensión del valor provisional de las hipótesis científicas frente a nuevas observaciones.

Valoración de la inteligencia humana, capaz de comprender las leyes del Universo.



LA MITOLOGÍA

EN LAS CONSTELACIONES

CONCEPTOS

Breve historia de los mitos en que intervienen los personajes cuyos nombres están en las constelaciones.

Ídem con los nombres de los planetas, estrellas, etc.

PROCEDIMIENTOS

Trabajos bibliográficos sobre la mitología.

Trabajos sobre la influencia de esta mitología en las artes: pintura, escultura, literatura, etc.

Exposición de las historias.

Cuadros genealógicos de los personajes.

ACTITUDES

Gusto por la cultura antigua.

Respeto hacia las religiones de otros.

Toma de conciencia de que la cultura es algo que permanece con los siglos.

8. Sugerencias sobre secuencias temporales

Si esta materia optativa se va a desarrollar en un solo curso escolar, se aconseja hacerlo en 4º curso, para que los alumnos tengan una mejor base científica para comprender los distintos procesos que se dan en el Universo.

Si se va a desarrollar en dos cursos, en 3º y 4º, se debe decidir los contenidos que se darán en cada curso, dejando en general los de más nivel para el curso 4º.

En cada caso, las secuencias temporales dependerán del interés de los alumnos por cada tema y del criterio del profesor. Como orientación, se sugieren las siguientes temporalizaciones:

SÓLO UN CURSO:

- Unidad 1: 4 semanas.
- Unidad 2: 2 semanas.
- Unidad 3: 6 semanas.
- Unidad 4: 7 semanas.
- Unidad 5: 3 semanas.
- Unidad 6: 3 semanas.
- Unidad 7: 3 semanas.
- Unidad 8: 2 semanas.

DOS CURSOS:

3º de ESO

- | | |
|--|-------------|
| Unidad 1 (apartados 1 a 7 y activ. 1,2,4 y 5): | 6 semanas. |
| Unidad 2 (completa): | 5 semanas. |
| Unidad 3 (ap. 1 a 4 y act. 1 a 4 y 9 a 11): | 5 semanas. |
| Unidad 4 (completa excepto act. 7 y 12): | 10 semanas. |
| Unidad 8 (completa): | 4 semanas. |

4º de ESO

- | | |
|--|------------|
| Unidad 1 (ap. 8 y act. 3): | 3 semanas. |
| Unidad 3 (ap. 5 a 9 y act. 5 a 8): | 6 semanas. |
| Unidad 4 (repaso general y act. 7 y 12): | 4 semanas. |
| Unidad 5 (completa): | 6 semanas. |
| Unidad 6 (completa): | 6 semanas. |
| Unidad 7 (completa): | 6 semanas. |

9. Relaciones con otras materias

La asignatura Taller de Astronomía puede suministrar numerosas situaciones que sean fuente de trabajos compartidos con otras materias. La interdisciplinariedad que se requiere para el adecuado trato de algunas de estas situaciones debe favorecer en los alumnos la visión de las múltiples relaciones y dependencias en el campo científico.

Por ejemplo, la mitología, los nombres de las estrellas y de las constelaciones son temas con referencias en la **Cultura Clásica**. El terreno parece propicio para una estrecha colaboración. Se pueden confeccionar mapas murales de alguna constelación en el Taller de Astronomía mientras en el aula de Cultura clásica se revisan los mitos y leyendas que le dieron nombre, incluso leyendo algunos textos clásicos sobre el tema.

En el diseño de casi todos los modelos astronómicos interviene la Geometría. En muchas actividades aparece la Trigonometría y en casi toda la Aritmética. Las conexiones con el **área de Matemáticas** son claras, pudiendo ofrecer la Astronomía elementos motivadores en los que la Matemática se encuentra aplicada.

Las leyes que rigen el movimiento de los planetas, la evolución de las estrellas, etc., entran de lleno en conceptos de la asignatura de **Física y Química**, aportando motivaciones para los contenidos de esta asignatura.

La Astronomía es una de las ciencias más antiguas y con más arraigo en la tradición. La búsqueda de relojes de Sol o de otros aparatos o instrumentos astronómicos que pudieran encontrarse en nuestra ciudad o en sus cercanías, y la recogida de refranes y dichos referentes al tiempo o al calendario podrían relacionar esta asignatura con alguna del **área de Ciencias Sociales** o con otras optativas centradas en la **conservación y recuperación del patrimonio cultural**.

El análisis de las noticias astronómicas que aparecen con frecuencia en la televisión, radio o periódicos, su recogida, clasificación y organización son elementos que podrían servir de nexo con otra hipotética asignatura optativa dedicada al estudio de los **medios de comunicación**.

La comprensión clara del aislamiento de la Tierra en el Universo y de la necesidad de preservarla habitable enlazan con otra posible asignatura optativa dedicada al estudio de las **energías alternativas, medio ambiente o ecología**. Aquí los alumnos de Astronomía podrían ofrecer un punto de partida, un marco general de la situación a los alumnos de la citada opción.

10. Aula y materiales

Si fuera posible, sería muy conveniente contar con un espacio propio, aunque no sea en exclusiva, dentro del centro, aula o local en el que se disponga de todo lo necesario y donde se pudieran almacenar los trabajos y materiales de un día para otro. En dicho local tendría que haber algún armario para los libros, revistas, publicaciones y trabajos escritos o murales de los propios alumnos, así como las herramientas o los útiles de dibujo que sean necesarios. También debería contar con mesas adecuadas para el trabajo de construcción y para el dibujo.

Las oportunidades que ofrecen los medios audiovisuales pueden ser útilmente aprovechadas en el Taller de Astronomía, por cuanto favorecen la comunicación entre profesor y alumno y, sobre todo, permiten visualizar los diferentes y complicados movimientos de los objetos celestes. Los medios y materiales audiovisuales con los que es conveniente contar son: retroproyector, proyector de diapositivas, vídeo y ordenador. También será muy útil un archivador de carteles y fotos grandes. Existen materiales astronómicos para todos estos medios en el mercado (ver la guía documental).

Sería también útil disponer de materiales de carpintería y ferretería para poder construir las maquetas y modelos diversos: maderas (aglomerado y contrachapado), clavos, tornillos, tuercas, sierra, martillo, alicates, taladradora, etc. También se debería disponer de instrumentos de dibujo para realizar diagramas y murales: cartulinas, lápices, rotuladores, tijeras, compás, reglas, escuadra, cartabón y transportador de ángulos, aunque, como es material que probablemente dispongan los alumnos, también lo pueden aportar ellos.

También será conveniente disponer de una biblioteca de aula y de algunos instrumentos de observación. Más adelante hablaremos de ello.

11. Guía documental y de recursos

A. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Se indican algunos libros que podrían conformar una base adecuada para una biblioteca de aula.

Manuales y guías

BAKER, D., HARDY, D. *Guía de Astronomía*. Barcelona: Omega, 1987.

Repaso de las constelaciones y del Universo. Sin fotos. Con buenos dibujos.

BAKULIN, P.; KONONOVICH, E., y MOROZ V. *Curso de Astronomía general*. Moscú: Mir, 1987.

Muy completo, a nivel de primer curso universitario, tanto para Astronomía de posición como para Astrofísica; gráficos bastante pobres y estructura académica.

BOURGE, P. *El cielo a simple vista y con prismáticos*. Barcelona: Omega, 1992.

HERRMANN, J. *Atlas de Astronomía*. Madrid: Alianza, 1983.

Útil como fuente de datos muy completa; es una obra de consulta; no hay desarrollos, sino descripciones, tablas y clasificaciones.

MENZEL, D. H. *Guía de campo de las estrellas y los planetas*. Barcelona: Omega, 1979.

Una de las más amplias y mejor editadas; también de las más caras.

NEWTON, R.; MAYALL, M.; WICKOFF, J. *Observación del cielo*. Barcelona: Daimon.

RIDPATH, I., TIRION, W. *Guía de las estrellas y los planetas de los hemisferios norte y sur*. Barcelona: Omega 1986.

Quizá la mejor Guía de campo.

ROMAN, C. *Manual del Astrónomo aficionado*. Madrid: Everest, 1989.

VALLIERES, J. *Guía del astrónomo aficionado*. Madrid: Alhambra, 1986.

Más sencilla y modesta —también más barata—, pero de gran calidad.

Astrofísica y Cosmología

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

Una de las mejores obras de divulgación sobre Astrofísica y Cosmología; discurso no académico. Está un poco anticuado.

COMELLAS, J.L. *Astronomía*. Madrid: Ed. Rialp, 1987.

Estupendo libro de divulgación, sin una sola fórmula, con un recorrido de toda la Astrofísica actual. Apenas tiene fotos ni dibujos.

COMELLAS, J.L. *El Universo*. Colección Temas Clave. Barcelona: Ed. Salvat, 1991.

Similar al anterior, más breve y con ilustraciones en color. Barato y muy didáctico.

MARTIN ASIN, F. *Astronomía*. Madrid: Paraninfo.

OSTER, L. *Astronomía moderna*. Barcelona: Reverté, 1978.

Curso introductorio de Astrofísica, con buen apoyo gráfico en blanco y negro, con nivel de primer curso universitario.

WEINBERG, S. *Los tres primeros minutos del Universo*. Madrid: Alianza, 1978.

Cosmología; requiere un cierto nivel técnico en el lector.

Didáctica

AGUSTENCH, M.; BAIG, A. *La revolución científica (de los siglos XVI y XVII)*. Madrid: Alhambra (BRED A), 1987.

Textos y guiones de trabajo para organizar un curso en torno a la historia de la Astronomía.

ARRIBAS, A.; RIVIÉRE, V. *Taller de Astronomía: temas y actividades*. Madrid: Equipo Sirius, 1993.

Textos breves y unas cuantas actividades, especialmente de construcción y uso de instrumentos antiguos.

AZARQUIEL, Grupo. *Astronomía en la escuela*. Madrid: Ayuntamiento de Madrid, 1986.

Colección de actividades a realizar con alumnos, con bastantes detalles organizativos y algunos textos de iniciación astronómica.

BACAS, P.; MARTÍN DÍAZ, M^a J.; PERERA, F.; PIZARRO, A. *Física y Ciencia Ficción*. Akal. 1993.

Un interesante conjunto de propuestas para analizar los conceptos físicos en algunos relatos de Ciencia Ficción.

BROMAN, L.; ESTALELLA, R., y ROS, R. M^a. *Experimentos de Astronomía*. Madrid: Alhambra (BRED A). 1988.

Sugerencias de actividades; muchas de las cuales pueden realizarse individualmente.

ESTALELLA, R., y otros. *Astronomía en la Escuela*. Editorial Rosa Sensat y MEC, 1995.

Propuesta de actividades para un grupo de alumnos; amplias indicaciones sobre recursos.

FABREGAT; GARCÍA, y SENDRA. *Curso de Astronomía. Teoría y práctica*. Valencia: ECIR, 1988.

Libro de texto para una EATP de Astronomía, con problemas y algunas sugerencias de trabajos prácticos.

GARCÍA, J. *Introducción a la Astrofotografía*. Madrid: Sirius, 1988.

Consejos para hacer fotografía astronómica.

Divulgación

CANAL, R. *El Nuevo Sistema Solar*. Madrid: Prensa Científica, Ed. Labor 1984 (Scientific American).

EBBIGHAUSEN, E. G. *Astronomía*. Barcelona: Labor, 1973.
Alcanza cierto nivel; escasez de gráficos.

LACROUX, J. *Iniciación a la Astronomía*. Omega, 1987.

LEVY, DAVID H. *Observar el cielo*. Barcelona: Planeta 1995.

Muy buena presentación. Divulgativo y con ayudas (tablas actualizadas, etc.) para la observación.

MIGLIAVACCA, R.; OLIVER, J.M. *El gran libro de la Astronomía moderna*. Barcelona: Ed. Vecchi.

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

Con abundante material gráfico y propuesta de experiencias; de lectura grata y estimulante.

SEYMOUR, P. *Aventuras con la Astronomía*. Barcelona: Labor, 1987.

Sugerencias de actividades, casi siempre factibles en solitario; poco material gráfico.

SMOLUCHOWSKI, R. *El Sistema Solar*. Madrid: Prensa Científica, De. Labor, 1986 (Scientific American).

VV. AA. *Enciclopedia (EMA) El Universo*. Barcelona: Noguer, 1977.

Puede ser útil como pequeño diccionario de bolsillo.

WEID, J. von der, *La Astronomía*. Madrid Acento Editorial, 1994.

Historia

ABETTI, G. *Historia de la Astronomía*. México: Fondo de Cultura Económica, 1978.

Desde la más remota antigüedad hasta 1940: recorrido completo, pero denso.

BRANDMULLER, W. *Galileo y la Iglesia*. Madrid: Rialp, 1992.

Estudio interesante sobre la vida y el proceso de Galileo.

FERRYS, T. *La Aventura del Universo: de Aristóteles a la teoría de los cuantos*. Madrid: Grijalbo Mondadori, 1995.

Sugerentes lecturas sobre la historia de la Astronomía. Requiere cierta altura científica.

KOYRE, A. *Del mundo cerrado al Universo infinito*. Madrid: Siglo XXI, 1977.

Centrado en la historia de las ideas cosmológicas, sobre todo en los siglos XVI y XVII.

KUHN, T. S. *La revolución copernicana*. Barcelona: Ariel, 1978.

Desde la época griega hasta Copérnico; destaca el papel de la filosofía de la ciencia.

TATON, R. *Historia general de las ciencias*. Barcelona: Destino, 1971.
Monumental enciclopedia, completa y de gran calidad.

Mitología

BURN, L. *Mitos griegos*. Ed. AKAL. 1992.

Narración amena y rigurosa de los mitos griegos más importantes y de su vigencia hasta nuestros días.

GRAVES, R. *Los mitos griegos*. Madrid: Alianza, 1985.

Se trata de una obra enciclopédica, con abundancia de detalles y de referencias de gran erudición.

GRIMAL, P. *Diccionario de Mitología griega y latina*. Ed. Labor.
Muy bueno.

KADNER, U. *Quién es quién en el cielo*. Madrid: Planetario de Madrid, 1988.

Recorrido descriptivo por los diferentes mitos alusivos a las constelaciones, sin el rigor del anterior. Algo pesado y aburrido.

MARTOS, A. *Historia de las constelaciones*. 6 tomos. Madrid: Sirius.

Otra obra enciclopédica sobre el tema.

SECHI MESTICA, G. *Diccionario de mitología universal*. Ed. AKAL. 1990.

Completa enciclopedia sobre pensamiento mítico universal.

Fuentes de datos

Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid. Instituto Geográfico Nacional.

Contiene todas las efemérides del año correspondiente y numerosas tablas de objetos celestes.

Efemérides Astronómicas. Instituto y Observatorio de la Marina. San Fernando. Cádiz.

EKRUTT, J. *El firmamento*. Guía de la Naturaleza Everest. 1993.

Pequeña guía que muestra el cielo mes a mes, con tablas de la posición de los planetas, etc.

Revistas de Astronomía

En español:

Universo. Astronomía y Astronáutica. Antares, Ciencia y Ediciones S. A. Aptdo. 5314, 08080-Barcelona.

Mensual. Información de la actualidad astronómica y astronáutica. Bien editada, con buenas fotos y con un nivel divulgativo.

Tribuna de Astronomía. Revista mensual editada por el equipo Sirius.
Artículos de diverso contenido y nivel.

Astronomía, Astronáutica y Astrofotografía técnica. Editada por IMVO. Lérida.

Investigación y Ciencia. Prensa científica S.A. Barcelona.

Aunque no es específica de Astronomía, cada mes suele traer un artículo de buen nivel sobre esta materia.

Mundo Científico. C/ Valencia 359, 08009 Barcelona.
Similar al anterior.

Muy interesante.

Aunque intenta divulgar, su nivel científico es muy escaso.

En otros idiomas:

Sky and Telescope. 49 Bay State Rd, Cambridge, MA 02138, Estados Unidos.

Quizá la mejor revista de astronomía para aficionados. Se distribuye por correo en todo el mundo. Hacen descuentos para grupos y clubes astronómicos.

Astronomy. P.O. Box 1612, Waukesha, WI 53187, EEUU.

Ciel et Espace. Association française d'Astronomie. 17 rue Émile Deutsch de la Meurthe.
75014 París, Francia.

L'Astronomia. Edizioni Media Presse s.r.l. Via Nino Bixio 30. 20129 Milano, Italia.

B. MATERIALES Y RECURSOS

Para el desarrollo de esta materia sería muy conveniente disponer de los materiales que se relacionan a continuación.

Mapas y modelos

Planisferios. Son unas herramientas muy versátiles, utilizables en una amplia gama de trabajos. Se encuentran sin dificultad en el mercado. En el libro se incluye uno en la actividad 11 de la Unidad 3.

Esfera celeste. Existen modelos similares a globos terráqueos o también hinchables. Puede ser muy útil para la visualización de diversas cuestiones. No es fácil encontrarlas en los comercios.

Globo terráqueo. De bastante utilidad en simulaciones de movimientos. En todos los centros escolares se dispone de ellos.

Telurios. Son modelos que representan el sistema Sol-Tierra-Luna. Formaban parte de la dotación habitual de los Institutos. Existen, además, algunos modelos comerciales.

Anuario y revista mensual. Prácticamente imprescindibles como fuente de datos de todo tipo. Se pueden conseguir sin dificultades.

Instrumentos de observación

Prismáticos. Constituyen el mínimo instrumental con que se debe contar. Son recomendables para trabajos astronómicos los del tipo 7 x 50 (siete aumentos y 50 mm de diámetro). Si son ligeros, mejor. Se encuentran en ópticas y comercios de fotografía.

Telescopio. Aunque no es imprescindible, permite ampliar considerablemente las posibilidades de observación. Para observación planetaria son más aconsejables los anteojos de seis a ocho centímetros de diámetro.

Transparencias y diapositivas

Pueden encontrarse en el mercado diversas colecciones de **diapositivas**. Por lo general no tienen un claro carácter didáctico, sino que predominan las recopilaciones de imágenes telescópicas.

Las **transparencias** pueden confeccionarse fotocopiando sobre acetato los dibujos que se desee (existen acetatos de diversos gruesos, los hay especiales para fotocopias, pues los muy finos pueden quemarse y causar problemas). Para dibujar directamente sobre acetato se emplean rotuladores especiales (los hay de todos los gruesos y colores, resistentes al agua o solubles).

Producciones de vídeo

Nuestro Universo. (1996) Distribuido por Arait Multimedia, c/ Estudio 25, 28023 Madrid, tño: 91-357 32 00.

Cuatro programas de media hora cada uno. Con buen carácter didáctico, ofrece una visión general actualizada de la Cosmología y Astrofísica.

Enciclopedia galáctica. Distribuida por Antares, Gran Vía Corts Catalanes 646, 08007 Barcelona.

Serie de 10 vídeos con fascinantes escenas de los planetas y una buena guía de las constelaciones del cielo. Muy recomendable.

Astronomía (El Universo en directo), de DB Media S.r.l., editado por ORBIS-FABBRI, distribuido por Ediciones ORBIS. Apartado de Correos 35432. 08080 Barcelona. Es una colección de fascículos, con vídeos.

La creación del Universo. Metrovídeo. C/ Torres Quevedo 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. Tño: 803 21 42 y 803 19 87.

Programa muy interesante y divulgativo, de 90 minutos.

Astronomía, de Selecta Visión. Colección de 10 vídeos de 60 minutos sobre supernovas, la estructura del Universo, etc. Distribuye: Equipo Sirius.

El Universo Mecánico. Distribuye Arait Multimedia. Madrid.

Curso de Física de 52 capítulos. Varios tratan sobre temas astronómicos: Leyes de Kepler, Gravitación, Navegación planetaria, etc.

Programas de ordenador

Normalmente reproducen el aspecto celeste en cualquier lugar, fecha y hora y señalan las posiciones planetarias:

La Aventura del Espacio. Enciclopedia Interactiva. ANAYA.

Enciclopedia interactiva del espacio, en castellano, en diskettes y CD ROM. Interesante.

Danza de los planetas. Distribuye: Antares, Barcelona.

Vista de los planetas, con animación, desde cualquier punto de vista. También es planetario. Realmente extraordinario.

Planetario 1.2. Distribuye Equipo Sirius. En castellano.

EZCosmos. Sky Plot, de Astrosoft, Inc.

Buen planetario.

Sky Map 2.2. Bill Dickson, JASC Inc. 10901 Red Circle Drive, Minnetonka, MN 55343, Estados Unidos.

Buen planetario, con cartas celestes de muy buena calidad.

Orbits. Software Marketing Co. 9831 South 51st. Phoenix, AZ 85044. EEUU.

Animación y datos sobre el sistema solar.

SKYGLOBE, de Mark A. Haney, editado por Klassm Software, 5772 Blaze Trail, Roscommon, MI (Michigan) 48653, USA.

C. DIRECCIONES DE INTERÉS

Planetarios y museos

Planetario de Madrid. Parque Enrique Tierno Galván. 28045 Madrid. Teléfono: 467 38 98 y 467 34 61.

Planetarium Barcelona. Fundació Mediterrànea. Escoles Pies, 103, 08017 Barcelona. Teléf.: 418 45 12 y 211 64 16.

Planetario del Museo de la Ciencia. Teodor Roviralta 55, 08022 Barcelona. Teléf.: 212 60 50.

Planetario de Pamplona. Sancho Ramírez s/n, 31008-Pamplona, Tfno: 26 26 28 y Arrieta 16, 31002-Pamplona. Tfno: 22 63 00.

Casa de las Ciencias. Parque de Santa Margarita, 15005 La Coruña. Tfno: 27 77 77.

Museo de la Ciencia y el Cosmos. C/ Vía Láctea s/n, 38200-S.Cristóbal de la Laguna, Tenerife.

Aula del Cosmos. C/ Alegre de Dalt 14. 08024 Barcelona. Tfno: 213 39 80 y 589 58 45. Alquilan planetarios hinchables portátiles, con monitores. Tienen sucursales en algunas ciudades.

E.P.C. C/ Portugal 10, 28224 Madrid. Tfno: 91-352 66 17. Alquilan planetarios hinchables portátiles, con monitores.

Editoriales y distribuidores

En las instituciones y casas comerciales que se incluyen en esta relación se pueden encontrar a menudo tanto libros como materiales de todo tipo: carteles, diapositivas, globos, etc.

Antares, Ciencia y Ediciones. Apdo. 5314. 08080 Barcelona. Tfno: 301 17 17. Edita la revista *Universo*, y distribuye libros, posters, diapositivas, programas de ordenador, etc.

- Equipo Sirius*. C/ Desengaño, 12, 4.ª 1ª. 28004 Madrid. Teléf.: 521 60 08. Editor de la revista *Tribuna de Astronomía* y numerosos libros.
- IMVO*. Calle Col.legi, 26. 25001 Lleida. Teléf.: 973-20 19 49. Diapositivas, libros, carteles, telurios, planetarios, etc.
- Instituto Geográfico Nacional* (editor del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional). General Ibáñez Ibero, 3. 28003 Madrid.
- Zócalo*. Parque Empresarial "El Carralero", edificio 15, 28220 Majadahonda, Madrid. Teléf.: 634 02 88. Material didáctico en general.
- EBRISA*. Apartado de Correos 30115. 08080 Barcelona. Gran Vía de Carlos III, 58-60. 08028 Barcelona. Material didáctico.
- Learning Technologies Inc.* 50 Walden Street. Cambridge, MA 02140, EEUU. Venden por correo materiales de bajo costo para enseñanza de la astronomía. Envían catálogo. Material muy interesante para la enseñanza secundaria.
- Sky Publishing Corp.* P.O. Box 9111, Belmont, MA 02178, EEUU. Editora de la revista *Sky & Telescope*, distribuye por correo libros, posters, mapas, programas de ordenador, etc. todo en inglés. Envían catálogo.
- The Astromical Society of the Pacific*. 390 Ashton Avenue, San Francisco. CA 94112, EEUU. Como la anterior, distribuye por correo, usando una simple tarjeta de crédito, material (libros, posters, diapositivas, etc.) de excelente calidad, especialmente para profesores de Astronomía de enseñanza secundaria. También envían catálogo.
- Cabiers Clairaut* Comité de Liaison Enseignants et Astronomes (CLEA). Laboratoire d'Astronomie. Bâtiment, 426, Université Paris XI, 91405 ORSAY CEDEX. Publicaciones didácticas.
- UKSTU* (United Kingdom Schmidt Telescope Unit) Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh EH9 3HJ, Scotland. Disponen del Edinburgh Astronomy Educational Package for Schools. Imágenes tomadas con el citado telescopio.
- Paul Mac Alister & Associated, Publishers*. Box 157, Lake Bluff, Illinois 60044, USA. Recortables.
- MMI Corporation*. 2950 Wyman Parkway, P. O. Box 19907, Baltimore. Maryland 21211, USA. Todo tipo de materiales de Astronomía.
- JPL (Jet Propulsion Laboratory)*. 4800 Oak Grove Drive. Pasadena, CA 91109. EEUU. En este centro de la NASA, si se solicitan, envían por correo fotos y material astronómico a profesores.

Telescopios y accesorios

Algunos también comercializan libros u otros objetos de interés:

- Microciencia S.A.* C/ Montnegre 2-6. 08029 Barcelona. Tfno: 410 58 55/6.
- Óptica Prado*. C/ Príncipe 12, 28012 Madrid. Tfno: 521 84 85. C / Balmes 129 bis, 08008 Barcelona, tfno: 253 58 29/30.
- Óptica Roma*. Plaza de Manuel Becerra, 18. 28028 Madrid. Tfno: 401 88 34.
- Vulkanik-Zeiss*. Pl. Jacint Verdaguer 18, 08221 Terrasa, Barcelona. Tfno: 93-780 08 07.
- Galeote*. Gran Vía 26, Madrid.
- Industrias Pedret*, S. A. Cuartel de Levante, 7. Paret del Vallés (Barcelona). Teléf.: 562 08 08.
- IMVO*. Calle Col.legi, 26. 25001 Lleida. Teléf.: 973-20 19 49.
- Catalana de telescopios*. C/ John Lennon 18, 08800 Vilanova i la Geltrú (Barcelona). Tfno: 93-815 01 53.
- Retina Ibérica*. Importador. C/ Río Tormes 22 E, 28110 Algete (Madrid). Tfno: 628 29 46. Tiene distribuidores en muchas ciudades.
- Konus España*. C/ Caucho 53, 28850 Torrejón, Madrid. Tfno: 677 86 63.

Tasco. C/ Monte Esquinza 28, 28010 Madrid. Tfno: 410 50 96.

Optic's. C/ Cuartel de Levante 7, Parets del Valles, Barcelona. Tfno: 562 08 08.

Lambda. Apdo Correos 249. 08220 Terrasa, Barcelona. Tfno: 788 24 61.

Cottet Opticos. C/ Príncipe 18, Madrid, tfno: 91-5213356. Avda. Portal de l'Angel 40, Barcelona, Tfno: 93-301 22 32.

Centros de recursos

En ellos se pueden encontrar, fundamentalmente, vídeos:

Centros de Profesores

Acción Educativa. C/ Príncipe, 35. 28012 Madrid. Teléfono: 429 50 29.

Associació de Mestres Rosa Sensat. C/ Córcega, 271. Barcelona. Teléf.: 237 07 01.

Colegio Profesional de la Educación. Colegio Oficial de Doctores y Licenciados. Calle Fuencarral 101, 3ª. 28004 Madrid. Teléf.:91-447 14 00.

Materiales plásticos

Los materiales plásticos un poco especiales (porexpan, metacrilato, esferas...) se pueden encontrar en:

CEPLASA (Central de Plásticos, S. A.). C/ Cardenal Cisneros, 45. 28010 Madrid. Teléf.: 447 68 51, y C/ Gonzalo de Córdoba, 14, 28010 Madrid. Teléf.: 447 69 50.

RESOPAL. Plaza de Cronos, 7. 28037 Madrid. Teléf.: 327 04 11, y C/ Cardenal Cisneros, 47. 28010 Madrid. Teléf.: 445 28 60.

Internet

En esta red informática se puede acceder a muchos Webs para información, fotos, etc. de carácter astronómico. En la actividad 12 de la Unidad 3 hay muchas direcciones electrónicas. Hay que advertir que algunas pueden variar con el tiempo.

12. Respuestas a las actividades

1 UNIDAD

HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA

1 Nivel estrella ⁽¹⁾

Sale $R=6.560$ km, lo que da un error del 3%. Se debería destacar la buena precisión conseguida con tan pocos medios.

Hay que tener cuidado en poner las medidas a y b en las mismas unidades. Incluso convendría ponerlo en las mismas unidades que L , para acostumar al alumno/a a un uso correcto de las unidades en cualquier fórmula.

2 Nivel estrella

Esta actividad es muy sencilla y aclara bastante el concepto de epiciclo y su razón de ser. Se puede hacer como actividad de demostración para toda la clase.

3 Nivel galaxia

La construcción de la antena especial se debería dejar sólo para los más avanzados. Con la antena ordinaria de la radio también se captan esas emisiones, aunque, al ser omnidireccionales, falta la prueba de que provienen de Júpiter.

Hay que asegurarse de que Júpiter está por encima del horizonte, aunque no importa si es de día o está nublado. Como cualquier onda de radio, se oye mejor de noche. El momento óptimo, cuando la atmósfera está más tranquila y transparente, es sobre las 4 de la madrugada.

En cualquier caso, se requiere bastante dosis de paciencia, y no hay que desanimarse si durante varios días no se consigue escucharla.

4 Nivel estrella

Las estrellas se pueden imitar con papel autoadhesivo blanco (etiquetas de ordenador por ejemplo). Se pueden hacer con una agujereadora de papel. La tiza no es buena porque al cerrar el paraguas se manchan los dibujos.

(1) Las actividades con "Nivel estrella", en principio las pueden hacer todos, al ser sencillas de realizar. Las de "Nivel medio" requieren una capacidad algo superior. Las de "Nivel Galaxia" deberán hacerlas sólo los más aventajados, o si van a hacerlas todos los alumnos requerirán más explicación y supervisión del profesor.

En algunos comercios de regalos o papelerías venden sobres con estrellitas autoadhesivas fosforescentes, que pueden servir muy bien. También se puede conseguir en tiendas de adornos de navidad.

Se podría hacer un modelo definitivo que quedara en el centro.

5 Nivel estrella

Son tres instrumentos fáciles de construir. En el caso del contador de estrellas, se debe usar sólo en noches oscuras sin Luna, alejados de luces exteriores, para que sea patente la dificultad de contar el número de estrellas del cielo sin este instrumento. Para obtener una medida lo más aproximada posible, se debería contar en varias zonas del cielo y sacar un promedio.

También puede servir para comparar cuantitativamente la disminución de visibilidad de estrellas en una noche de Luna llena o en las cercanías de luces exteriores.



CONTRIBUCIÓN DE LA ASTRONÁUTICA

1 Nivel estrella

Aunque es una actividad de apariencia sencilla, es difícil conseguir buenos resultados. Los paraguas deben estar empapados, cosa difícil en los tejidos antiagua actuales. Se tiene que hablar y escuchar justo en el foco de la *parábola*: si son paraguas muy cóncavos, ese punto puede estar dentro del varillaje. Por eso son preferibles los paraguas plegables, que son más planos y con el foco más exterior. También es muy importante la correcta alineación de los mangos, enfrentados entre sí.

En algunos Museos o Casas de la Ciencia se consiguen excelentes resultados con antenas parabólicas grandes, que están fijas.

2 Nivel medio

Esta actividad tiene éxito asegurado entre los alumnos, es muy entretenida y espectacular.

Por supuesto hay que hacerla al aire libre: se consiguen alturas de 30 ó 40 metros, y se moja el suelo y los que estén muy cerca.

Para los alumnos más avanzados, se les puede proponer que investiguen mejoras en su prototipo: nivel óptimo de agua, alerones o punta de papel o cartulina, tamaño del orificio de salida del agua, presión interior, etc. Es una oportunidad excelente para que investiguen en sus casas, con medios a su alcance, y para que aprendan a presentar e interpretar de forma adecuada datos obtenidos por ellos.

La altura máxima se obtiene si se llena la botella sólo hasta un cuarto de su capacidad.

3 Nivel estrella

Es muy sencilla de realizar. También se pueden hacer estudios de profundización variando la cantidad de agua, el perfil del barco, etc.

4 Nivel medio

Aunque se puede hacer individualmente, es más adecuado que haya debates posteriores en clase.

Otros ejemplos que se pueden comentar, además del que viene en el texto, son: en las películas de *Star Trek*, el sistema de transporte de personas se basa en la conversión de materia en energía y en su posterior tele-transporte. Es un concepto físico correcto, aunque todavía no sea realizable. Sin embargo un fallo de la película es que no aparece en el lugar de destino ningún aparato *receptor*, que además sea capaz de reconstruir la materia.

En la película *Star Trek: la nueva generación*, se habla de un producto que consigue detener la fusión dentro de las estrellas, y se ve cómo funciona en un caso: la estrella desaparece y el campo gravitatorio de los alrededores se modifica. Todo eso es posible teóricamente, excepto la volatilización de la estrella: si una estrella se apagara, su materia no desaparecería, y por lo tanto el campo gravitatorio exterior no debería ser perturbado. Sin embargo es un buen detalle científico el mostrar que los campos gravitatorios de los cuerpos celestes influyen en las trayectorias de naves espaciales y de otros objetos que viajan por el universo.



MEDIOS CON QUE CUENTA EL ASTRÓNOMO

1 Nivel medio

1. Dependerá del tamaño del alumno, pero siempre es posible conseguir una forma de mano que abarque 10° .
2. Normalmente es 2 ó 3 grados.
3. 15° grados.
4. En el norte de España, 43° , en el centro 40° y en el sur 37° . En las Islas Canarias, 22° .
6. Es interesante hacerlo en varias estaciones y compararlo. En invierno la altura es pequeña y el período de sol corto. En verano la altura que llega a alcanzar el Sol es grande y hay muchas horas de luz.

2 Nivel medio

Las plantillas de las constelaciones sirven además para que aprendan a reconocerlas en el cielo, según el apartado 1 del texto. Están dibujadas al tamaño adecuado para que al sujetarlas con el brazo extendido, se vean del mismo tamaño que se ven en el cielo.

5. La escala mejor para cada constelación dependerá de la distancia de la estrella más alejada. Se sugiere:

Estrella más distante (a.l.)	Escala a.l.: cm
> 1.600	100:2
1.600 - 1.400	100:3
1.400 - 1.200	100:4
1.200 - 1.000	100:5
1.000 - 800	100:6
800 - 600	100:7
600 - 400	100:10
400 - 200	100:15
< 200	100:30

6. Se recomienda usar hilos gruesos, para evitar que se líen unos con otros. Si se da una capa de pegamento a los hilos, se pueden quedar rígidos y aptos para una exposición de final de curso.

3 Nivel medio

Esta actividad es muy útil si se hace a lo largo del curso, o al menos un par de semanas en cada estación. Se verá claramente que alrededor del 21 de marzo y del 21 de septiembre, el Sol se pone exactamente por el oeste. Alrededor del 21 de diciembre se pone bastante al sur, y el 21 de junio muy al norte. Conocer estas variaciones puede ayudarles a orientarse con más precisión. Muchos son los que creen que el Sol siempre se pone justamente por el oeste.

5. Se puede hacer un mural para la clase con los datos recogidos en este punto. Los días con menos horas de luz solar son alrededor del 21 de diciembre, y los que tienen más, alrededor del 21 de junio. El 21 de octubre y el 21 de marzo, el día y la noche duran 12 horas (por esa razón se hace el cambio de hora oficial alrededor de esas fechas).

4 Nivel medio

1. Recortar la parte cercana al cuello de la botella puede resultar difícil. Se puede hacer con un cuchillo caliente. De todas formas no es imprescindible quitar esa parte si se va a hacer en invierno: el Sol nunca estará en esa zona.

4. Puede haber dificultades para que las marcas sobre el plástico no se borren. Por eso son necesarios rotuladores "grasos" o de los llamados "permanentes", que no se borran con agua.

Cuestiones:

1. Sólo cerca del verano, al mediodía.
2. De Este a Oeste.
3. A las 12 solares, que son las 13 en invierno y las 14 después del cambio del horario oficial. En Canarias son las 12 y 13 respectivamente.
4. En invierno, la línea empieza hacia el Sur y es muy tendida. En primavera y otoño empieza justo en el Este y Oeste, y en verano comienza hacia el Norte y llega muy alto.

5 Nivel medio

El telescopio es muy modesto y no debe esperarse grandes cosas de él. Servirá sobre todo para familiarizarse con los elementos y ver cómo funciona.

Los aumentos son la distancia focal del objetivo dividido por la del ocular. Por tanto cuantas menos dioptrías de las gafas y menor distancia focal (mayores aumentos) del ocular, más aumentos.

El primer telescopio de Galileo tenía 16X, similar a los que se obtienen aquí.

Para usarlo, se debería fijar en un trípode de cámara de fotos.

Para evitar posibles accidentes, hay que insistir mucho en el punto 5. Sí que sirve para observar el Sol por proyección, según se explica en la actividad 5 de la Unidad 4.

6 Nivel medio

Esta construcción es algo más compleja que la anterior, por lo que quizá no deberían hacerla todos.

Conviene que el espejo sea de la mejor calidad posible, para evitar distorsiones en la imagen. Además, cuanto mayor sea su diámetro, más luminoso será el telescopio.

El resultado también será un objeto de demostración, para ver cómo funciona, más que para hacer grandes observaciones.

En este caso, no se debe usar para ver el Sol, ni siquiera por proyección, pues al concentrarse los rayos solares dentro del tubo se puede romper el espejo de 45° o el ocular.

7 Nivel galaxia

Esta actividad sólo se hará si se ha dado el capítulo 3.8.

Las velocidades que salen son 500 Km/s y 1.300 Km/h.

8 Nivel galaxia

4. y 5. Las medidas que salen son:

JÚPITER Para todas las lunas $R = 0,9 \text{ mm}$	SATURNO Para todas las lunas $R = 1,4 \text{ mm}$
IO : $L = 5'5 \text{ mm}$ $T = 156.413 \text{ s}$ $\rho_1 = 1.317 \text{ Kg/m}^3$	ENCELADO: $L = 5 \text{ mm}$ $T = 119.172 \text{ s}$ $\rho_1 = 603 \text{ Kg/m}^3$
EUROPA : $L = 8'2 \text{ mm}$ $T = 305.379 \text{ s}$ $\rho_1 = 1.145 \text{ Kg/m}^3$	THETIS: $L = 7 \text{ mm}$ $T = 171.310 \text{ s}$ $\rho_1 = 601 \text{ Kg/m}^3$
GANIMEDES: $L = 13 \text{ mm}$ $T = 633.103 \text{ s}$ $\rho_1 = 1.061 \text{ Kg/m}^3$	DIONE: $L = 9 \text{ mm}$ $T = 245.793 \text{ s}$ $\rho_1 = 621 \text{ Kg/m}^3$
CALISTO: $L = 23,5 \text{ mm}$ $T = 1.474.758 \text{ s}$ $\rho_1 = 1.156 \text{ Kg/m}^3$ $\rho_{\text{medio}} = 1.170 \text{ Kg/m}^3$	REA: $L = 13 \text{ mm}$ $T = 387.310 \text{ s}$ $\rho_1 = 754 \text{ Kg/m}^3$
	TITÁN: $L = 29'5 \text{ mm}$ $T = 1.415.172 \text{ s}$ $\rho_1 = 660 \text{ Kg/m}^3$ $\rho_{\text{medio}} = 648 \text{ Kg/m}^3$

Los resultados difieren de los reales un 10% y un 6 % respectivamente, que es una buena precisión.

- $\rho_{\text{Tierra}} = 5.897 \text{ Kg/m}^3$, un 7 % mayor que el estimado de 5.500 Kg/m^3 .
- Porque debe haber un núcleo más pesado en su interior. Por ejemplo, la densidad del hierro es 7.500 Kg/m^3 .
- En ese caso, el T es un año y la densidad sale $\rho_{\text{Sol}} = 1.397 \text{ Kg/m}^3$, muy próximo al valor más aceptado es de 1.410 Kg/m^3 .

9 Nivel estrella

Es muy sencilla y apta para todos.

Se pueden introducir mejoras técnicas, como alojar una brújula fija en el reloj para poder orientarlo correctamente, o artísticas, decorando a gusto del alumno los relojes.

10 Nivel medio

Se puede hacer como demostración en el aula, con debate posterior sobre diversos aspectos relacionados:

- noches y días perpétuos por encima de los círculos polares
- ausencia de estaciones en el ecuador
- mantenimiento de la inclinación del eje de la Tierra por el efecto giróscopo
- variación de las horas de la luz solar con las estaciones (punto 4)

11 Nivel estrella

Algunos alumnos pueden tener alguna dificultad para entender que la ventana representa *toda* la semiesfera del cielo.

La construcción es sencilla y el aparato será una gran ayuda para los alumnos.

12 Nivel estrella

Según el interés del alumno, podrá sacar más o menos información de esas direcciones



EL SISTEMA SOLAR

1 Nivel estrella

2. Se puede dibujar una circunferencia que encaje en la sombra de la Tierra, a lápiz, haciendo las correcciones necesarias hasta que quede de una forma aceptable. El diámetro será de unos 5'5 cm.

El diámetro de la Luna de la foto es 1'7 cm. Por tanto una simple regla de tres nos dará el diámetro de la Luna:

$$\begin{array}{rcl} 5'5 \text{ cm} & \text{---} & 12.750 \text{ Km} \\ 1'7 \text{ cm} & \text{---} & x \end{array}$$

Sale $x = 3.966 \text{ Km}$. El valor real es 3.476 Km , un 14 % mayor. La razón de esa disparidad es que la sombra que proyecta la Tierra no es realmente cilíndrica, sino cónica. Por eso deberíamos tomar un diámetro de la Tierra algo mayor.

2 Nivel medio

4. $AB = 1 \text{ cm} = 10^{-5} \text{ Km}$. Por tanto $D = 388.500 \text{ Km}$., muy parecido al valor medio aceptado de 385.000 Km que se indica en la pregunta 4.4.
5. El diámetro de la Luna en la foto es $a = 1'8 \text{ cm}$.

$$\frac{a}{L} = \frac{b}{D} \quad \text{por lo que}$$

$$b = \frac{a \cdot D}{L}$$

Tomando como D la medida que nos ha salido en el punto anterior, y $L = 210$ cm, el radio de la Luna saldría $b = 3.330$ Km, buena aproximación al valor real de 3.476 Km.

3 Nivel medio

2. $D_1 = 11'2$ cm
 $D_2 = 9'9$ cm
 $D_m = (11'2 + 9'9)/2 = 10'55$ cm

Como a mayor distancia de la Luna, menor diámetro, se puede aplicar una regla de tres inversa:

$$\begin{array}{lcl} 10'55 \text{ cm} & \text{—} & 385.000 \text{ Km} \\ 9'9 \text{ cm} & \text{—} & x \end{array}$$

$$\text{de donde } x = (10'55 \times 385.000)/9'9 = 410.277 \text{ Km}$$

Por otra parte:

$$\begin{array}{lcl} 10'55 \text{ cm} & \text{—} & 385.000 \text{ Km} \\ 11'2 \text{ cm} & \text{—} & x \end{array}$$

$$\text{de donde } x = (10'55 \times 385.000)/11'2 = 362.656 \text{ Km.}$$

4 Nivel estrella.

El retroproyector se puede sustituir por una bombilla ordinaria.

Cuestiones:

1. A la izquierda cuando es creciente, y a la derecha cuando es decreciente.
2. Al anochecer sólo se ve la Luna cuando está creciente, pues la Luna está a la izquierda del Sol: primero se pone él y luego la Luna. Al amanecer se ve la Luna cuando está en fase decreciente, pues está a la derecha del Sol: primero sale la Luna y luego el Sol.
3. La parte iluminada de la Luna indica dónde está el Sol por debajo del horizonte. Así se puede determinar por dónde se ha puesto el Sol, que es aproximadamente el Oeste.
4. Al extremo opuesto del horizonte. La iluminación de la Luna indica que el Sol está enfrente de ella, con la Tierra entre medias.
5. Para observar al Luna, en cuarto creciente, para que sea visible después del atar-

decer. Para ver objetos débiles, la Luna debe estar en fase decreciente, para que se haya puesto por el horizonte antes que el Sol.

5 Nivel medio

Hay que repetir con insistencia que no se mire al Sol directamente con los prismáticos o telescopio: las quemaduras en los ojos pueden ser irreparables.

En el punto 4, el período medio de la rotación del Sol es de 28 días. Por tanto una mancha será visible durante 14 días. Para minimizar la distorsión debida a la curvatura de la superficie solar, es conveniente tomar las medidas cuando las manchas solares pasan cerca del meridiano central.

Los más aventajados podrían hacer una proyección, vista desde el norte solar, de la situación de las manchas, y así obtener resultados más precisos del tiempo que tarda el Sol en dar una vuelta.

6 Nivel estrella

2. Si el tubo tiene 50 cm, el diámetro del Sol es unos 5 mm. Si el tubo tuviese 1 m, el diámetro del Sol sería de unos 3 mm.
4. El diámetro real del Sol es de 1'4 millones de Km.
5. Con la Luna salen diámetros parecidos a los del Sol en el papel semitransparente. Hay que hacerlo a oscuras, y servirse de una pequeña linterna para poder ver las medidas. El diámetro de la Luna es 3.476 Km.

7 Nivel medio

1. La parafina se obtiene en droguerías. Es el material básico para hacer velas, por lo que también se obtiene en algunas tiendas de bricolaje o de adornos. En el caso de obtenerla a partir de velas, conviene que tengan los menos aditivos posibles (olorosos, de color, etc.), por lo que son preferibles las velas sencillas y baratas.
3. El funcionamiento del fotómetro suele fascinar a los alumnos, no acostumbrados a objetos similares.
4. Se trata de que comprueben la ley inversa del cuadrado de las áreas. No es necesario que entiendan su deducción.
5. Pueden tener dificultad al comparar la luz amarillenta de la bombilla con la blanca del Sol. Hay que insistirles en que comparen el brillo, no el color. Hay que hacer la medida de a desde el filamento (centro de la bombilla). Será del orden de 7 cm. Con bombillas de 150 ó 200 w esa distancia sale mayor y por lo tanto más precisa. La potencia del Sol es $3'83 \times 10^{26}$ w. Puede haber fallos en los cálculos por las unidades.
6. $m = 4'25$ millones de toneladas.
7. $t = 15$ billones de años ($1'5 \times 10^{13}$ años).

8 Nivel medio

Fecha	Diámetro del Sol en cm a	Distancia Tierra - Sol en Km D
12 - Ene.	11'9	$147'1 \times 10^{13}$
11 - Feb.	11'8	$148'3 \times 10^{13}$
26 - Mar.	11'6	$150'9 \times 10^{13}$
10 - Abr.	11'5	$152'2 \times 10^{13}$
23 - May.	11'5	$152'2 \times 10^{13}$
15 - Jun.	11'4	$153'5 \times 10^{13}$
12 - Jul.	11'4	$153'5 \times 10^{13}$
17 - Ago.	11'5	$152'5 \times 10^{13}$
14 - Sep.	11'5	$152'5 \times 10^{13}$
15 - Oct.	11'6	$150'9 \times 10^{13}$
15 - Nov.	11'8	$148'3 \times 10^{13}$
15 - Dic.	11'9	$147'1 \times 10^{13}$

1. En Diciembre/Enero.
2. En Junio/Julio.
3. No.

9 Nivel estrella

3. Un globo terráqueo normal tiene un diámetro de 40 cm. En ese caso, la Luna tendrá un diámetro de 10 cm, y la distancia entre ellas será de 12 m.
4. 1'5 cm.
5. 110 cm.
- 6., 7. y 8. Dependerá de las esferas que se escojan. Pero el procedimiento es similar a los puntos anteriores.

10 Nivel estrella

2. Desde toda la mitad de la Tierra que es de noche.
3. No se ve desde toda la Tierra, sólo desde una pequeña línea. Las zonas de eclipse parcial son aquéllas donde hay sombra borrosa, que es más amplia.
4. Dura más el de Luna. El de Luna.

5. Sí.
6. En Luna nueva para eclipse de Sol, y en Luna llena para eclipse de Luna.
7. Porque el plano de giro de la Luna no es el mismo que el de la Tierra alrededor del Sol, y a veces la Luna pasa por encima o por debajo de la sombra.

11 Nivel medio

OBJETO	DISTANCIA AL SOL (KM)	DIÁMETRO (KM)	DISTANCIA A ESCALA (CM)	DIÁMETRO A ESCALA (CM)
SOL		1.390.000		1'3
MERCURIO	58.000.000	4.880	58	0
VENUS	108.000.000	12.100	108	0
TIERRA	150.000.000	12.800	150	0
MARTE	228.000.000	6.800	228	0
CERES	420.000.000	1.000	420	0
JÚPITER	780.000.000	143.000	780	0'1
Diámetro del anillo exterior		261.000		0'3
SATURNO	1.430.000.000	120.000	1.430	0'1
Diámetro del anillo exterior		273.000		0'3
URANO	2.870.000.000	51.000	2.870	0
Diámetro del anillo exterior		100.000		0'1
NEPTUNO	4.500.000.000	49.000	4.500	0
Diámetro del anillo exterior		106.000		0'1
PLUTÓN	5.900.000.000	2.300	5.900	0

PLANETA	DISTANCIA DESDE EL PLANETA (KM)	DIÁMETRO (KM)	DISTANCIA A ESCALA (CM)	DIÁMETRO A ESCALA (CM)
TIERRA		12.800		0
Luna	400.000	3.480	0'4	0
MARTE		6.800		0
Fobos	9.400	21	0	0
Deimos	23.500	12	0	0
JÚPITER		142.800		0'1
Anillo exterior	130.400		0'1	
Amaltea	180.000	170	0'2	0
Io	422.000	3.630	0'4	0
Europa	671.000	3.140	0'7	0
Ganimedes	1.070.000	5.260	1	0
Calisto	1.885.000	4.800	1'9	0
SATURNO		120.000		0'1
Anillo A	91.700 - 117.600		0'1	
Anillo B	121.900 - 136.300		0'1	
Mimas	187.000	390	0'2	0
Encelado	238.000	500	0'2	0
Tethis	295.000	1.060	0'3	0
Dione	378.000	1.120	0'4	0
Rhea	526.000	1.530	0'5	0
Titán	1.221.000	5.150	1'2	0
Hiperión	1.481.000	255	1'5	0
Japeto	3.561.000	1.460	3'6	0
URANO		51.200		0
Anillo exterior	50.000		0	
Miranda	130.000	485	0'1	0
Ariel	190.000	1.160	0'2	0
Umbriel	266.000	1.190	0'3	0
Titania	436.000	1.610	0'4	0
Óberon	583.000	1.550	0'6	0
NEPTUNO		48.600		0
Anillo exterior	53.000		0	
Tritón	354.000	2.785	0'4	0
Nereida	5.600.000	300	5'6	0
PLUTÓN		2.300		0
Caronte	20.000	1.200	0	0

2. La longitud de la cuerda es de 59'3 metros. El Sol es una esfera de 1'3 cm.
3. Las distancias de las lunas son casi despreciables frente a las distancias al Sol.
4. Los planetas salen muy pequeños, casi no se pueden representar. No es un error: se trata de que tomen conciencia de las distancias mucho mayores al Sol que de ellas mismas.
5. Se puede explicar que los viajes interplanetarios no se hacen en línea recta, sino siguiendo una cónica (elipse, hipérbola o parábola).

Cuestiones:

1. Prácticamente nada.
2. Unos 2 s.
3. Unos 4 s.
4. Tardaríamos unos 8 s, luego el *Voyager* tardaría unos 4 años. A Urano 8 y a Neptuno 16 años (realmente tardó 12 porque se fue acelerando en cada paso con los planetas).
5. Unos 20 años.
6. A Plutón yo tardé 1 minuto, a Alfa Centauro serían 2 horas. El *Voyager* tardaría 140.000 años.

12 Nivel galaxia

1. Porque es más interior.
2. Porque la órbita de Mercurio es más elíptica, y la de Venus más circular.
3. Distancia Tierra - Venus = 42 millones de Km.
Distancia Tierra - Sol = 150 millones de Km.
Distancia Venus - Sol = 108 millones de Km.
Distancia Mercurio - Sol = 58 millones de Km.

Se debe resaltar cómo hemos podido dibujar las órbitas de los planetas con observaciones sencillas. Y con ese modelo y un nuevo dato (la señal de radar), obtenemos las distancias de varios planetas.

De forma similar, Kepler fue capaz de dibujar la órbita de Marte con los datos de Tycho Brahe.

13 Nivel estrella

Es muy apta para ser realizada en casa. Es sencilla, da buenos resultados y gusta a los alumnos.

14 Nivel medio

La mayor dificultad es conseguir que la cuerda anudada mida esa longitud tan precisa. Pequeños errores dan elipses bastante más anchas.

Se puede hacer un mural con esas órbitas, decorándolo con algunas fotos de planetas y del Halley.

15 Nivel estrella

Esta actividad es sencilla y gusta a los alumnos. En ella pueden mostrar sus cualidades artísticas.

16 Nivel medio

Conviene remarcar que esos micrometeoritos provienen directamente de la nebulosa que dio origen al sistema solar.



LAS ESTRELLAS

1 Nivel medio

5. Corrimiento de la estrella = 0'5 mm. Por tanto

$$AB = 0'05 \text{ mm} = 0'005 \text{ cm.}$$

$$D = \frac{3 \times 10^8 \text{ km} \times 10 \text{ km}}{5 \times 10^{-5} \text{ m}} = 6 \times 10^{13} \text{ km} = 6 \text{ a.l.}$$

Cuestiones:

1. $D = 4'1 \cdot 10^{13} \text{ Km} = 4'1 \text{ a.l.}$

2. $D = 8'6 \text{ a.l.}$

3. Procyón: $D = 10'7 \text{ a.l.}$; Aldebarán: $D = 63'8 \text{ a.l.}$

2 Nivel medio

1. Normalmente es del orden de 1 mm.
4. Si hay dificultad de conseguir fibra óptica, se puede sustituir con un pequeño orificio hecho con la punta de un alfiler en el aluminio. La precisión será menor.
5. La superficie del círculo es πr^2 (r = radio de la fibra óptica), y el de la esfera es $4\pi R^2$ (R = radio de la bombilla). Se debe tener cuidado con no tomar como radio la longitud del diámetro.
6. Esa medición puede hacerse con una cinta métrica larga o, en su defecto, con pasos.
7. Esta suposición introduce fuertes errores en los resultados finales, ya que la mayoría de las estrellas brillantes del cielo son mucho más luminosas que nuestro Sol. Sin embargo es una suposición justificable desde un punto de vista científico. Al discutir este tema en clase se puede aclarar que este tipo de suposiciones son frecuentes en el trabajo científico, cuyos resultados se van mejorando al ir afinando los datos de partida. En nuestro caso, al menos se consigue una idea de la orden de magnitud de las distancias a las estrellas.
8. La fórmula es la que se comprobó en la actividad 7 de la Unidad anterior.

3 Nivel medio

Algunos alumnos pueden tener dificultad en leer las escalas logarítmicas, a las que no están acostumbrados, pero después de dos o tres medidas, aprenderán a hacerlo.

El artificio matemático que supone el Nomograma resta precisión en las medidas, pero facilita mucho el trabajo y al nivel en el que nos movemos, es suficiente. Se puede aclarar que en estudios científicos superiores, los cálculos se hacen con otras herramientas como el ordenador.

3. $4 \cdot 10^{27}$ w = 10 soles.
4. $3 \cdot 10^{26}$ w, equivalente al Sol.
5. 600 a.l.
6. 500 a.l.
7. 250 a.l.
8. 500 a.l.

4 Nivel galaxia

La variación de la magnitud no es muy grande, por lo que se requiere cierto entrenamiento para afinar al determinar la magnitud.

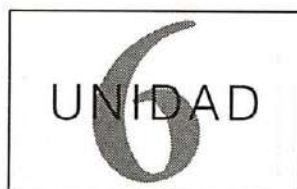
Lyra está en buena posición, a primeras horas de la noche, desde primeros de junio hasta primeros de noviembre. En primavera habría que observarla de madrugada. Con el planisferio de la actividad 11 de la Unidad 3 se puede determinar la hora mejor para la fecha en que se vaya a hacer. La situación óptima de la constelación es el cenit, para evitar las luces y la bruma cerca del horizonte.

4. El período real es 12'3 días. La variación es continua, con dos máximos, uno mayor que el otro. La explicación de esta variación es que las estrellas están tan próximas entre sí que tienen forma de pera por la atracción mutua. En su órbita presentan hacia la Tierra áreas distintas y por lo tanto su brillo varía continuamente.

5 Nivel medio

La malla debe ser muy elástica, para que pueda mantenerse su mayor parte horizontal.

Es un modelo bidimensional del espacio, que es tridimensional. Es uno de los postulados de la Teoría de la relatividad, que se ve en la Unidad 3. Esta actividad también se puede realizar al desarrollar esa unidad.



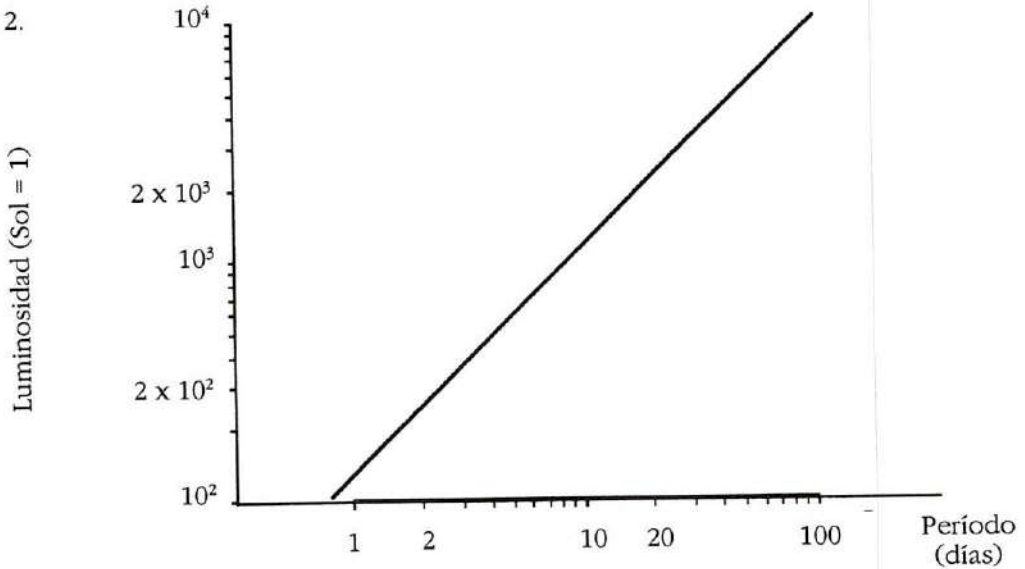
LAS GALAXIAS

1 Nivel medio

2. 10.000 a.l.
3. 100.000 a.l.
4. Distancia media = $(10.000 + 100.000)/2 = 55.000$ a.l.
El diámetro de nuestra galaxia es de unos 110.000 a.l.
5. 200.000 a.l.

2 Nivel medio

2.



3. Tendrá una luminosidad de 3.000 soles y una distancia de 16.000 a.l.
4. Tendrá una luminosidad de 2.000 soles y una distancia de 70.000 a.l.
5. La luminosidad será de 300 soles, a una distancia de 25.000 a.l.
6. La luminosidad será de 4.000 soles, a 2 millones de a.l.
7. La cefeida tiene una luminosidad de 800 soles y está a una distancia de 50 millones de a.l.

3 Nivel medio

Objeto	a = Tamaño en la foto en cm.	D = Distancia (en millones de a.l.)
M 31	15	2'1
M 51	0'9	34
M 101	1'2	26
M 104	0'6	52
NGC 5371	0'3	103
NGC 4565	1'2	26
NGC 4725	0'5	62
Galaxia del Cúmulo de Hércules	0'1	310

4 Nivel medio

Aquellos alumnos con poca visión espacial pueden tener alguna dificultad en identificar como un plano la proyección cilíndrica de la Vía Láctea.

1. En la zona llamada *Vía Láctea* o *Camino de Santiago* hay más.
3. En un brazo. El bulbo central aparece en la foto.
4. Sí.
6. En un brazo exterior.
8. Las nebulosas, por su poco brillo, deben estar cerca de nosotros, dentro de nuestra galaxia. Abundan más en la *Vía Láctea*. Estamos en un brazo exterior.
9. Se acumulan en el plano de la Vía Láctea, que es donde hay más estrellas. Estamos en un brazo exterior.
10. Apenas hay en el plano de nuestra galaxia, como cabría esperar.
11. Sólo se ven fuera del plano de nuestra galaxia. Están fuera, por eso el polvo y gas de nuestra galaxia, especialmente hacia su centro, impide su visión en el propio plano galáctico. Es de suponer que su distribución real en el Universo sea más o menos uniforme.
12. En nuestra galaxia.
13. Están fuera de nuestra galaxia.

5 Nivel galaxia

2. La masa será:

$$M = \frac{4\pi^2 \times R^3}{T^2 \times G} = \frac{4\pi^2 \times (5 \times 10^4 \times 10^6)^3}{(2 \times 10^8 \times 3,2 \times 10^7)^2 \times 6,67 \times 10^{-11}} = 18 \times 10^{41} \text{ Kg}$$

3. $N = 9 \times 10^{11} = 900.000$ millones de estrellas. En realidad se estima que hay 300.000 millones de estrellas, muchas de ellas más masivas que el Sol. También hay gas, polvo, etc. y la llamada materia oscura que se verá en el siguiente capítulo.



EL UNIVERSO

1 Nivel medio

1. Aunque al principio se pueda hacer que la primera marca represente nuestra galaxia, es importante que después se haga no siendo así, para que vean que nuestra galaxia puede ocupar cualquier posición, y nosotros ver a todas las demás alejándose.
3. Se entiende que nuestra galaxia se debe mantener en la misma marca en la que estaba. Todas las galaxias han duplicado su distancia a nosotros.
4. La galaxia más cercana se aleja a 2 cm/s, la siguiente a 4 cm/s, la siguiente a 6 cm/s, etc. Por tanto, cuanto más alejada está de nosotros, se aleja más deprisa.

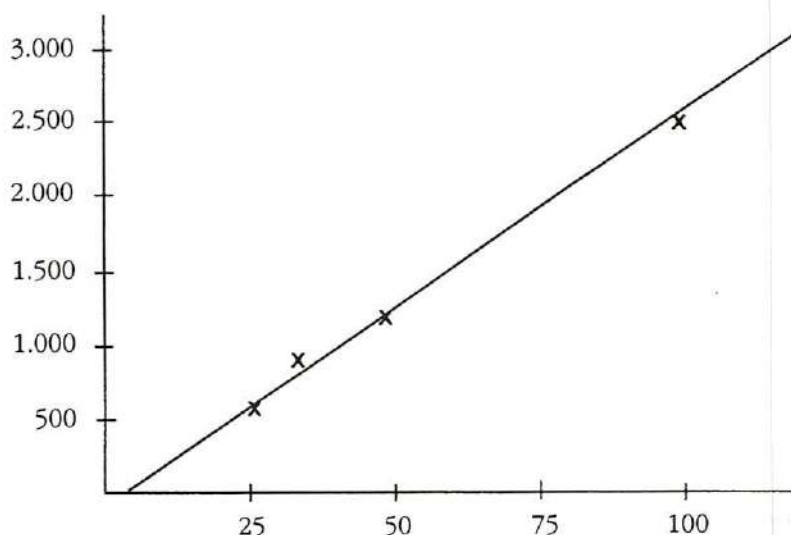
5. Verá a la nuestra alejarse a 2 cm/s. La siguiente a la suya también se aleja a 2 cm/s, la siguiente a 4 cm/s, etc. Por tanto también verá que todas se alejan de él. Y eso pasa en cualquier galaxia que nos situemos.
6. No es necesario.

2 Nivel medio

1. Los datos tomados de la actividad 2 y 3 de la Unidad anterior son:

Objeto	Velocidad (millones de a.l.)	Distancia
M 51	800 Km/s	34
M 101	600 Km/s	26
M 100	1.200 Km/s	50
NGC 5371	2.400 Km/s	103

2.



La constante de Hubble H sale aproximadamente 24 Km/s por millón de año luz (m.a.l.). Por tanto $v \text{ (Km/s)} = 24 \times d \text{ (m.a.l.)}$

3. Distancia = 310 millones de a.l., a la que corresponde, según el punto anterior, una velocidad de 7.400 Km/s.

4.

NGC / Nº Messier	Velocidad (km/s)	Distancia (millones de a.l.)
M 55	215	9
NGC 2.903	600	25
NGC 4.649 / M 60	1.200	50
NGC 4.736 / M 94	850	35
NGC 5.055 / M 63	570	24
Cúmulo de Coma	7.700	320
Cúmulo de Hydra	47.000	2.000
Quásar 3C 273	50.000	2.083
Quásar 3C 9	160.000	6.666

3 Nivel estrella

Actividad sin ninguna complicación.

4 Nivel estrella

Algunas respuestas son:

Comidas y otros:

Cervezas La Estrella
Cervezas La Cruz del Sur
Mahou cinco estrellas
Cafés La Estrella
Chocolatina Mars
Texaco
Marisol
Movistar

Periódicos:

El Mundo
Levante
El Sol de Andalucía

Camiones Pegaso

Opel Astra
Ford Orión
Ford Galaxy
Renault Espace
Colonia Quásar
Universal Pictures
Orión Motion Pictures
Ciudades satélite
Costa del Sol

Canciones:

Supernova
La cara oculta de la Luna
Claro de luna

Banderas:

Unión Europea
Comunidad de Madrid
Brasil
Australia
Chile
China
EEUU
Malasia
Singapur
Turquía
Nueva Zelanda
Rusia

ESO

TALLER DE

ASTRONOMÍA

SEGUNDO CICLO



ISBN 84-460-0663-4



9 788446 006633