

ASTRONOMÍA PASO A PASO

Segundo Ciclo
ESO

COLECCIÓN MANUALES

ANTONIO ARRIBAS



ASTRONOMÍA PASO A PASO

**Segundo Ciclo
ESO**

ANTONIO ARRIBAS



Dibujos y fotografías: *Antonio Arribas*
Diseño cubiertas: *L. Rolando Potts*
Diseño interior: *L. Rolando Potts / Jorge Ruiz*

© EQUIPO SIRIUS, S.A.

Desengaño 12, 4º - 1

Madrid 28004

ISBN: 84-86639-79-4

Dep. Legal: M-31468-1996

Imprime:

Industrias Gráficas AFANIAS

Printed in Spain

La Astronomía es una ciencia basada en la observación. Hasta el siglo XVII no se dispuso de ningún instrumento óptico que ayudase a la visión humana. Sin embargo, hay una gran cantidad de cuestiones que pueden abordarse a simple vista: conocer las constelaciones y las estrellas, comprender los mecanismos de los movimientos aparentes de la bóveda celeste o medir el paso del tiempo con la ayuda de los fenómenos astronómicos. No es imprescindible disponer de un telescopio o de unos prismáticos para iniciarse en la ciencia de los cielos. Te animo a que disfrutes reconociendo las principales constelaciones visibles un cierto día, a orientarte por medio de la Polar o de otras estrellas, a que sepas distinguir rápidamente si ese punto de luz tan brillante es un planeta, a observar las fases de la Luna y la distinta altura y recorrido del Sol según las estaciones.

Es conveniente empezar la construcción de una casa por los cimientos. Los nuestros serán un buen conocimiento de la esfera celeste y de sus movimientos, de manera que sepamos interpretar correctamente todo lo que observemos. A ello se dedica la primera mitad del libro. En la segunda aparecen otras cuestiones, como la posibilidad de vida extraterrestre, la exploración espacial, la observación telescópica, los agujeros negros o el Big-Bang, que serían algo así como el segundo piso de nuestro edificio.

Por la misma razón, cada tema de este libro comienza con una presentación de las observaciones que nos interesan. Algunas de estas observaciones podrás realizarlas directamente, mirando al Sol, a la Luna, a los planetas o a las estrellas. Pero la mayoría se pueden efectuar con ayuda del planisferio, que es un estupendo simulador de los principales movimientos celestes. Así, podremos observar aunque sea de día y esté nublado. Un buen número de actividades se dedican a utilizar el planisferio para recoger y organizar las observaciones que nos interesen en cada tema.

Una vez completada esta primera parte de recogida de datos, lo que tenemos que hacer es interpretarlos: buscar una teoría en la que encajen lo mejor posible los datos que hemos ido acumulando. A través de nuevas actividades y ejercicios, que, en muchos casos, consisten en realizar algún gráfico o en completar una lámina, irás conociendo estas teorías, con especial atención a sus aplicaciones prácticas.

En el libro no hay muchas definiciones ni demasiadas explicaciones. Casi todo el trabajo se hace a base de actividades gráficas, de algunos ejercicios y de la construcción de algún instrumento, maqueta o modelo. Una vez realizadas las tareas, tú mismo te habrás dado cuenta de cómo quedan explicados los fenómenos celestes. Las cuestiones que hay al final de cada tema te pueden ayudar a fijar o aclarar las ideas y a ampliar algún detalle.

No te va a hacer falta saber muchas Matemáticas, ni Física o Química. Hasta el tema 9, sólo será necesario manejar ángulos, leer e interpretar gráficas y tablas o realizar algunas cuentas de proporcionalidad. A partir del tema 10, dedicado al Sistema Solar, nos introducimos en el atractivo pero exigente terreno de la Astrofísica. Aparecen algunas fórmulas químicas de los elementos y compuestos más corrientes en nuestro sistema planetario y en el Universo. También se estudian, de forma gráfica y práctica, algunos métodos y algunas leyes fundamentales (como, por ejemplo, el método del paralaje para calcular la distancia a la que están las estrellas). Pero no se entra en su justificación teórica, ni en su formulación matemática, que corresponden a un piso muy alto del edificio astronómico.

Así pues, en este libro se hace un recorrido elemental por los principales temas de la Astronomía. Seguramente a lo largo del curso no será posible verlos todos. Tu profesor se encargará de seleccionar los que crea más apropiados.

Y se enfoca el trabajo de una manera activa. No hay demasiadas cosas que memorizar, pero sí bastantes tareas a realizar. La más importante de todas es analizar, interpretar y encontrar relaciones en las tablas de datos y en las gráficas que vayas construyendo. En dos palabras: razonar y descubrir.

ÍNDICE GENERAL

PRÓLOGO	5
ÍNDICE GENERAL	7
SIMBOLOGÍA	11
TEMA 1: ESTRELLAS Y CONSTELACIONES	13
Constelaciones de referencia	15
Geografía celeste	19
TEMA 2: COORDENADAS	23
Coordenadas geográficas	25
Coordenadas celestes	26
Mapas de constelaciones	27
TEMA 3: EL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN	31
El Sol y sus sombras	33
El planisferio	35
Semicírculos de visibilidad	36
El movimiento aparente de las estrellas	39
TEMA 4: EL MODELO DE LAS DOS ESFERAS	41
El modelo de las dos esferas	43
El movimiento de rotación	44
La latitud y la altura de la polar	47
El movimiento de rotación en otras latitudes	48
Antiguos y modernos	48
TEMA 5: RELOJES DE SOL	51
Partes de un reloj de Sol	53
Reloj horizontal-ecuatorial-vertical	55
La longitud geográfica y la hora solar	56
Hora solar y hora oficial	57

TEMA 6:	LA LUNA	61
	Observaciones sobre las fases lunares	63
	Explicaciones de los fenómenos	64
	Mareas	66
	La Luna como satélite	67
TEMA 7:	LAS CUATRO ESTACIONES	71
	Las observaciones	73
	Las explicaciones	74
	Geocentrismo y heliocentrismo	77
TEMA 8:	CALENDARIOS Y ECLIPSES	81
	El año de las estrellas	83
	La duración del año	84
	Eclipses	86
	La órbita de la Luna	89
TEMA 9:	LOS PLANETAS	91
	Astros errantes	93
	La revolución copernicana	94
	Posiciones planetarias	96
	Las leyes de Kepler	98
TEMA 10:	EL SISTEMA SOLAR	101
	El Sol	103
	Los planetas	104
	Descripción de los cuerpos planetarios	105
TEMA 11:	LA TIERRA Y LA VIDA	111
	Origen del Sistema Solar	113
	Evolución de la Tierra	114
	El Hombre y la Tierra	116
	Vida extraterrestre	117
TEMA 12:	PRISMÁTICOS Y TELESCOPIOS	121
	Lentes y espejos	123
	Características ópticas	124
	La montura	127
TEMA 13:	UNA NOCHE DE OBSERVACIÓN	131
	La fauna estelar	133
	El catálogo Messier	135
	Planificando la observación	137
TEMA 14:	DISTANCIAS A LAS ESTRELLAS	141
	El método del paralaje	143
	La magnitud absoluta	145
	Variables cefeidas	147

TEMA 15: VIDA Y MUERTE DE LAS ESTRELLAS	151
El espectro	153
Clasificación espectral de las estrellas	154
El diagrama H-R	155
Masa y tamaño de las estrellas	156
Evolución estelar	157
TEMA 16: LA VÍA LÁCTEA	161
Aspecto visual	163
Forma y tamaño	164
Un modelo a escala	166
TEMA 17: GALAXIAS	171
El Grupo Local	173
Clasificación de las galaxias	175
El Supercúmulo Local	177
TEMA 18: EL UNIVERSO	181
El efecto Doppler	183
La ley de Hubble	185
La expansión del Universo	186
El Big Bang	188

SIMBOLOGÍA



Para ampliar



Atención



Cuestiones



Taller

ESTRELLAS Y CONSTELACIONES

Es el primer hecho de la Historia de la Ciencia. Tan pronto como el Hombre vio las estrellas en la noche silenciosa, desde que se preguntó qué podían ser aquellas luces lejanas y qué servicios le podían ofrecer, hubo que crear grupos formados por estrellas próximas entre sí, o dispuestas según líneas, en figuras más o menos regulares. No se tardó en darles nombres relacionados con las propias figuras o con la asociación aparente de esas estrellas con las estaciones, los fenómenos meteorológicos, las fechas de los primitivos calendarios, los recuerdos, las fiestas, las reuniones; a lo largo de los tiempos, la política y la religión añadieron nombres nuevos a las constelaciones conocidas, transportando a los cielos los héroes que la veneración o el miedo quisieron inmortalizar.

Camille Flammarion, *Astronomie populaire*

Las estrellas y las constelaciones forman como el telón de fondo sobre el que se desarrolla toda la Astronomía. Continuamente hacemos referencia a las constelaciones para situar algún objeto del cielo. Nuestro primer paso debe ser conocer este espectacular marco, familiarizarnos con él, aprender a orientarnos entre el enjambre de puntos brillantes que pueblan la cúpula celeste.

Constelaciones de referencia

Para conseguir identificar y localizar las constelaciones es recomendable comenzar por algunas de las más llamativas y conocidas. Serán unas pocas constelaciones de referencia que marcarán algunas zonas del firmamento, de manera que utilizándolas como hitos, como señales orientadoras, sea posible recorrer después toda la geografía celeste sin pérdida.

La lámina 1.1, la primera del **cuaderno de láminas**, contiene un mapa del cielo. No hay ninguna línea ni ningún nombre; por eso se llama **mapa mudo**. En esa lámina verás que se han dibujado estrellas de diferentes tamaños, desde algunas bastante grandes hasta pequeños puntos. Es que hay estrellas muy brillantes (las dibujadas de mayor tamaño) y otras débiles (las dibujadas más pequeñas). Los astrónomos clasifican las estrellas por su brillo en diferentes magnitudes. Esta clasificación y el código utilizado para representarlas en el mapa de la lámina 1.1 son los siguientes:

Mapa

Magnitud

4

3

2

1

0

Brillo

muy débil

débil

alto

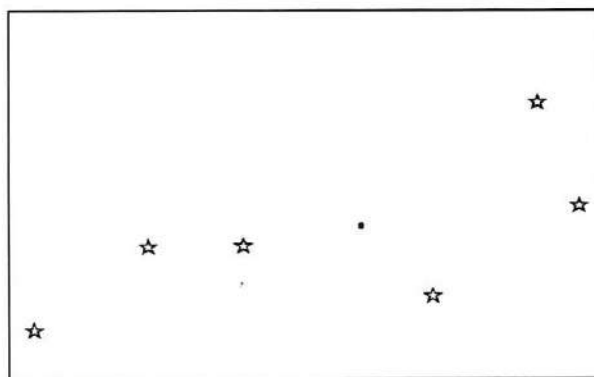
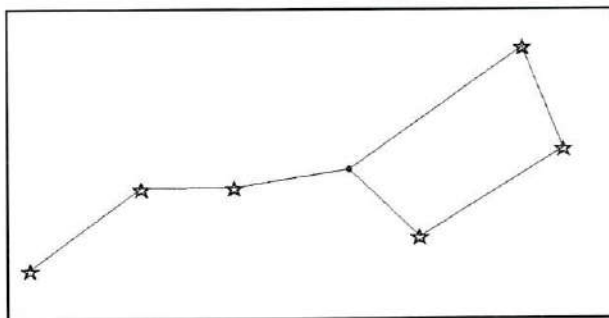
muy alto excepcional

I Con ayuda de las indicaciones que se dan en los textos siguientes para localizarlas, señala las constelaciones de referencia en el mapa mudo. Hazlo a lápiz para poder subsanar posibles errores. Escribe los nombres propios de las estrellas en minúsculas (la inicial mayúscula) y los nombres de las constelaciones con todas las letras mayúsculas.

La Osa Mayor

Gira el mapa mudo hasta que debajo quede la fecha 20 de septiembre. Imagina (pero no la dibujes) una línea recta vertical que vaya desde la marca correspondiente al 20 de septiembre, en el borde del mapa mudo, hasta el centro del mapa. En esa línea y bastante cerca del centro localiza este grupo de 7 estrellas:

Dibuja las líneas que aparecen en la ilustración contigua y escribe en el mapa mudo el nombre de la constelación: OSA MAYOR.



La Osa Mayor siempre se ve mirando hacia el norte. En otoño, poco después de anochecer, está muy baja, muy cerca del horizonte. A esa misma hora, en invierno, se ve más alta y algo hacia el este, en primavera está muy alta en el cielo y en verano a media altura y algo hacia el oeste.

En realidad esta figura no recuerda para nada a una osa. Los griegos la bautizaron así porque esta constelación siempre se ve en el norte y para ellos un animal típico de las re-

giones nórdicas era el oso. Más bien parece un cazo con su mango, o un gran cucharón, o quizá, un carro y la barra donde irían enganchados los animales de tiro.

Los romanos veían en esta zona del cielo un carro y como utilizaban generalmente bueyes para tirar de los carros, llamaron a esta figura formada por 7 estrellas «los siete bueyes», que en latín se dice «*septem triones*». Éste es el origen etimológico de nuestra palabra «septentrión» para designar el norte.

Las cuatro estrellas de la derecha, que forman un rectángulo se suelen llamar el «carro» y las tres de la izquierda la «cola» de la osa. Todas son de 2ª magnitud excepto la que enlaza el carro con la cola, que es de 3ª magnitud.

Vamos a poner algunos nombres propios. La última de la izquierda se llama Alkaid (que, en árabe quiere decir «el jefe», «el capitán»); la que está en medio de la cola recibe el nombre de Mizar; a las dos de la derecha del carro vamos a ponerles un nombre un poco especial, muy corriente entre las estrellas: la de arriba es α (la primera letra del alfabeto griego, alfa) y la de abajo es β (beta, segunda letra del alfabeto griego). Escribe estos nombres, o estas letras griegas, en el mapa mudo.

La estrella Polar

Imagina una línea que vaya desde β hasta α de la OSA MAYOR y prolongala (sin dibujarla) unas cinco veces. Llegarás al centro del mapa, donde hay una estrella aislada de 2ª magnitud: es la estrella Polar, la que nos indica siempre el norte y con la que podemos orientarnos por la noche. Esta misma regla es la más conocida para localizar la estrella Polar en el cielo. También puede servir de ayuda saber que siempre está bastante alta, de forma que hay que levantar la vista unos 40° para observarla por encima del punto cardinal norte.

Orión

Gira ahora el mapa mudo hasta que debajo se sitúe la fecha 15 de junio. Imagina una línea que vaya desde la Polar hasta esa fecha. Como a un tercio de camino desde el borde del mapa y a dos tercios de camino de la Polar, a ver si localizas el grupo de estrellas que aparecen en la figura.

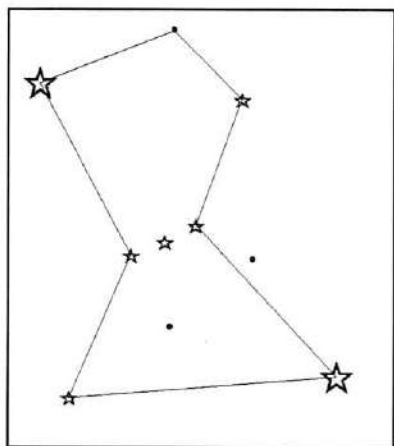
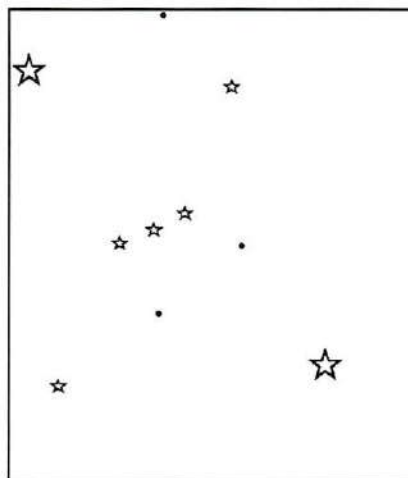
Las tres estrellas del centro de la figura, de 2ª magnitud y muy próximas, casi tocándose, forman «el cinturón» de ORIÓN.

Por encima del cinturón hay dos estrellas, la de la izquierda, que es de 1ª magnitud, se llama Betelgeuse, que en árabe quiere decir «el hombro del gigante», y la de la derecha, de 2ª magnitud, es Bellatrix.

Por debajo del cinturón hay otras dos estrellas importantes; la de la derecha es una impresionante estrella de magnitud 0 llamada Rigel («el pie» en árabe) y la de la izquierda (Saiph) completa la figura de ORIÓN.

En toda esta zona hay muchas más estrellas, pero estas 7 son las principales. Traza las líneas de esta constelación como aparecen en la figura y escribe en el mapa (¡si es que no lo has hecho ya!) los nombres de las estrellas y el de la constelación.

La figura de Orión se reconoce muy bien en el cielo mirando hacia el sur. Es invisible en verano pero en invierno se localiza sin ninguna dificultad.

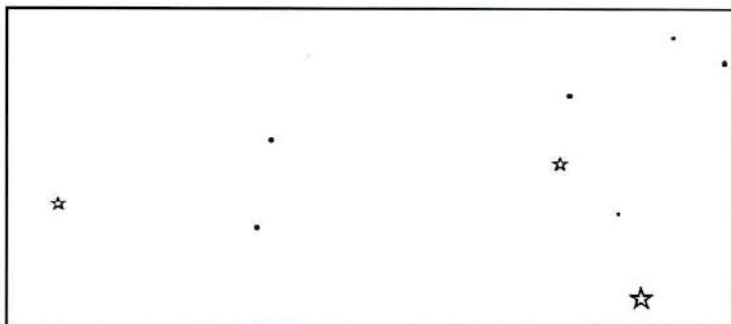


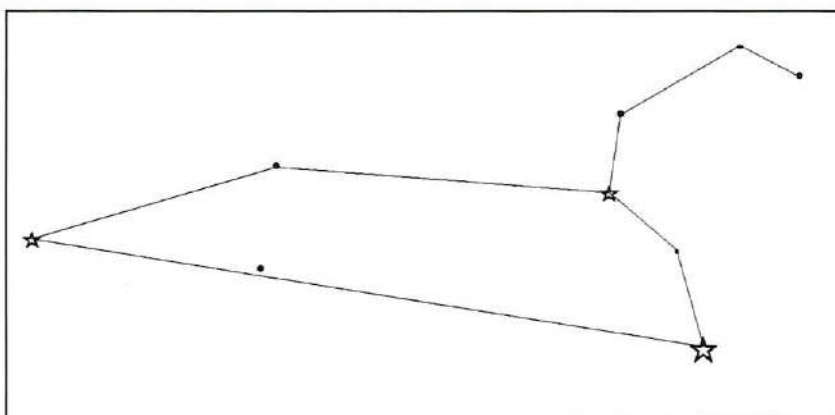
En la mitología griega Orión era un cazador armado con un arco y un puñal. Si unes imaginariamente Betelgeuse con Bellatrix y sigues hacia la derecha otro tanto llegarás a una hilera de estrellas en posición más o menos vertical (todas de 4ª magnitud menos una, la del centro, que es de 3ª) que dibujan bastante bien lo que podría ser un arco. El puñal cuelga del cinturón del cazador y se identifica con una estrella de 3ª magnitud situada debajo del centro del cinturón.

Leo

Vuelve a poner el mapa mudo en la posición que utilizaste para localizar la Osa Mayor, es decir, con la fecha 20 de septiembre abajo. Fíjate en la figura de la Osa Mayor. Su «carro» es un rectángulo formado por cuatro estrellas. El lado izquierdo de ese rectángulo está formado por la estrella de 3ª y por otra de 2ª. Sigue la dirección de ese lado hacia abajo y hacia la derecha hasta que llegues al grupo de estrellas que aparece en la figura.

Traza las líneas de unión como se indica en el dibujo siguiente y escribe el nombre de la constelación: LEO, el león. Posiblemente no te recuerde a un león sino, en todo caso, a algún otro animal bastante menos impresionante, pero si la observas en el cielo comprobarás que es una constelación muy gran-





de. Es visible sobre todo en primavera. Se supone que representa a un león tumbado en el suelo y con las patas recogidas. La cola estaría a la izquierda y la cabeza arriba y a la derecha.

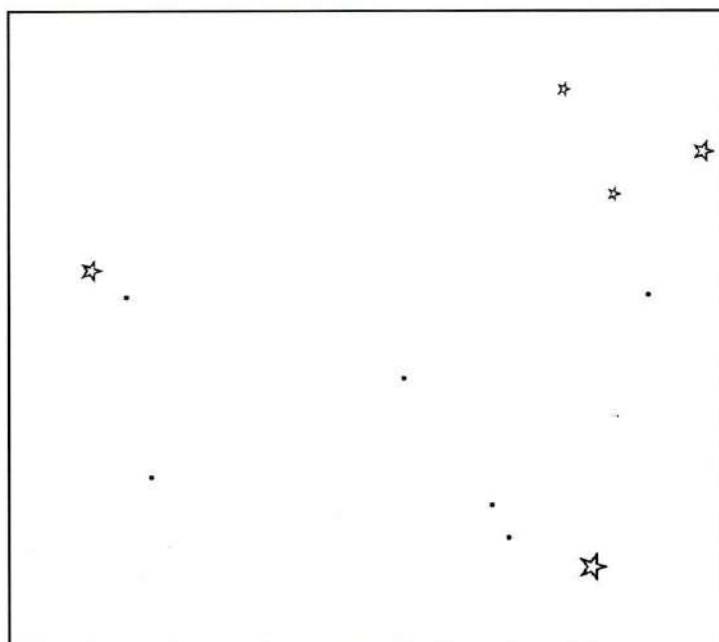
Su principal estrella, la de 1ª magnitud, abajo y a la derecha, se llama Regulus y la estrella de 2ª magnitud que está en el extre-

mo izquierdo recibe el nombre de Denébola («la cola del león»). En la mitología griega esta constelación evoca una de las hazañas de Hércules, su lucha con el león de Nemea, al que mató sólo con sus manos y con cuya piel se hizo una túnica.

El triángulo estival

Sigue con el mapa mudo en la misma posición. Busca la estrella Alkaid en la Osa Mayor. Únela imaginariamente con la Polar y al llegar a ella gira hacia la izquierda 90°. Esta nueva dirección te llevaría desde la Polar, más o menos, hasta la fecha 20 de enero. En esa línea, a mitad de distancia entre la Polar y el borde del planisferio intenta localizar un triángulo formado por las tres brillantes estrellas que se muestran en la figura.

Es un triángulo prácticamente isósceles. La estrella más brillante (de magnitud 0) es la que está en el vértice inferior del triángulo. Se trata de Vega, la principal estrella de la constelación de la LIRA. Los otros dos vértices del triángulo son sendas estrellas de 1ª magnitud, la de la derecha se llama Deneb (en la constelación del CISNE) y la de la izquierda, la más lejana de la Polar es Altair, en la constelación del ÁGUILA. El triángulo estival no es una constelación, sino una figura fácilmente reconocible en el cielo que nos ayudará a buscar y encontrar otras estrellas o constelaciones menos llamativas. Como su nombre indica es la figura más fácil de reconocer en el cielo de verano, aunque también se ve en otoño, al anochecer, cerca ya del horizonte oeste.



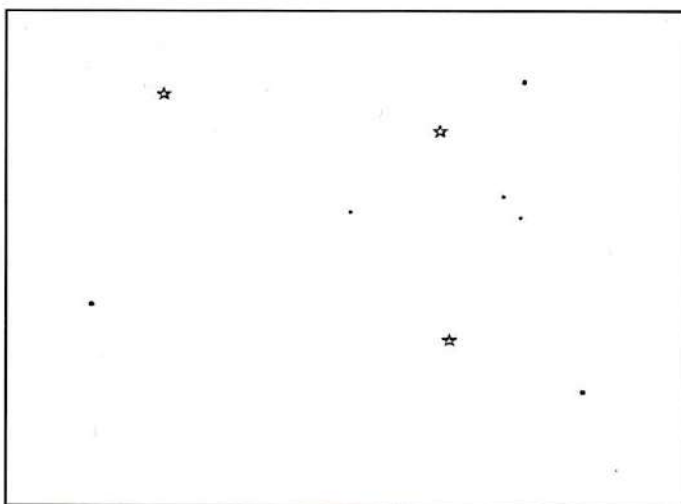
Vega y Altair son estrellas muy calientes y están muy cerca de la Tierra (a escala astronómica). En Vega se ha creído ver algo parecido a un sistema planetario en formación, pero este descubrimiento aún no ha sido confirmado. Deneb, en cambio, es una de las estrellas más lejanas que podemos ver a simple vista. Su distancia es nada menos que 1.600 años luz. Lo que vemos ahora es la luz que salió de ella en la época de la caída del imperio romano.

Pegaso

Dale ahora la vuelta al mapa y sitúalo de forma que la fecha del 20 de septiembre quede arriba. Desde la Polar dirígete (sin dibujar nada, sólo mentalmente) en vertical hacia abajo, hacia la fecha del 20 de marzo. En esa dirección y a igual distancia de la Polar y del borde inferior del mapa localiza un gran cuadrilátero, casi un cuadrado, formado por tres estrellas de 2ª magnitud y una (el vértice inferior izquierdo) de 3ª.

Dibuja las líneas que las unen para formar un cuadrado. Es la constelación de PEGASO, el caballo volador en el que Perseo acudió a rescatar a Andrómeda, liberándola de sus cadenas y del monstruo marino que la amenazaba. Todos los personajes de esta historia fueron convertidos en constelaciones por los griegos. La estrella de 2ª magnitud que está en el vértice superior izquierdo del cuadrado se llama Sirrah.

El gran cuadrado de Pegaso es una figura que se reconoce con cierta facilidad en el cielo. Es visible, sobre todo, en otoño y resulta muy útil para localizar a su alrededor otras constelaciones, porque en esta zona del cielo no hay muchas estrellas brillantes.



Geografía celeste

Ya conoces unas cuantas constelaciones, unas cuantas referencias repartidas por todo el cielo. Ahora se trata de ir conociendo más y más personajes.

En este libro se incluye, separado, un **planisferio**. El planisferio consta de dos partes, la lámina universal donde están representadas estrellas, constelaciones y otras líneas, y la lámina local, transparente, con unas pocas líneas.



1 (*)

Pega la lámina universal del planisferio en un cartón, en madera contrachapada, en cartón pluma o en cualquier otra superficie plana y rígida. Se va a utilizar con mucha frecuencia, así que interesa darle un soporte más sólido y práctico.

2

Con ayuda de la lámina universal del planisferio y de las constelaciones y estrellas de referencia, dibuja en el mapa mudo las líneas de las constelaciones, escribe sus nombres y los de las estrellas que aparezcan.

El mapa mudo es exactamente igual que el planisferio. La única diferencia es que en el planisferio, además de las estrellas hay varias líneas y unos pequeños círculos huecos. Algunos de estos círculos se identifican con la letra M seguida de un número. Otros no llevan identificación. Estos círculos no son estrellas, sino objetos interesantes cuando se observa con un telescopio, como nebulosas, cúmulos o galaxias. Procura no confundirlos con estrellas.

3 A medida que vas completando el mapa mudo, localizando más y más estrellas y constelaciones, puedes ir escribiendo «recetas», frases que sirvan para localizar e identificar estrellas o constelaciones. Tienen que ser frases cortas que hagan referencia a otras constelaciones o estrellas más conocidas, frases como las que aparecen en el texto para llegar al triángulo estival o a LEO.

Puede ser cómodo utilizar las direcciones norte o sur. En el planisferio, cuando nos dirigimos hacia la Polar estamos avanzando hacia el norte. En cambio si nos desplazamos hacia fuera, hacia el borde del planisferio, entonces estamos yendo hacia el sur. Así, Leo está al sur de la Osa Mayor, mientras que Deneb está al norte de Altair.

Escribe 5 «recetas».

Las láminas 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5 son otros tantos mapas mudos. Cada uno de ellos corresponde a la zona del cielo que mejor se ve en cada una de las cuatro estaciones. Estos mapas reproducen mejor que el planisferio las formas de las constelaciones tal y como se ven en el cielo. El planisferio deforma mucho las constelaciones que están cerca de su borde.

4 Con ayuda del planisferio, completa los mapas por estaciones que aparecen en las láminas 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5. Busca en cada una de ellas alguna constelación que te sirva de referencia y, a partir de ella, localiza y dibuja las líneas de las demás que aparezcan en ese mapa. Ten cuidado con la distorsión del planisferio. En el cielo las figuras son más parecidas a las de los mapas por estaciones.



2 (*)

Sobre una cartulina negra o azul oscuro, confecciona un mural de una constelación que te interese. Es mejor que copies la forma de la constelación de los mapas por estaciones. Para las estrellas puedes recortar pequeños círculos blancos de diferentes tamaños según la magnitud y pegarlos sobre la cartulina.



3 ()**

Sobre un paraguas de color oscuro puedes dibujar las estrellas y constelaciones, copiándolas del planisferio. Las varillas del paraguas pueden servirte de orientación, junto con las líneas rectas del planisferio, para situarlas correctamente.

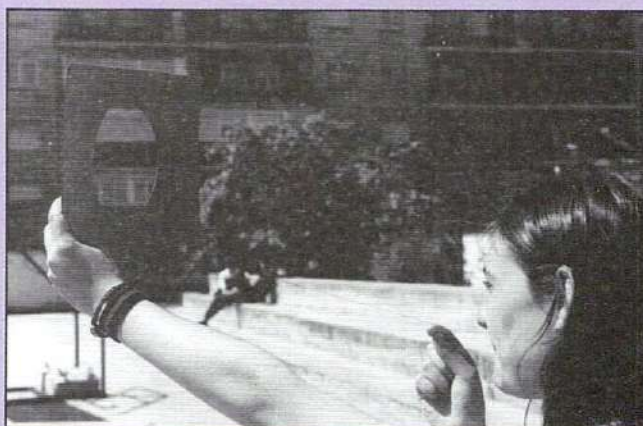
¿Cuántas estrellas podemos ver en la cúpula celeste? Seguramente la respuesta correcta te asombrará, aunque hay varios factores que influyen en el resultado: si observas desde una ciudad o desde el campo, si hay luna o no y la constelación hacia la que mires.

En el planisferio sólo están representadas las estrellas más brillantes, pero por la noche, en el campo, el firmamento parece abarrotado de ellas.



4 (*)

Para hacer alguna estimación con fundamento científico del número de estrellas visibles, puedes construir un contador de estrellas. En una tabla fina de madera o cartón rígido haz un agujero circular de 7 cm de radio y sitúalo a 50 cm del ojo. Con estas medidas, a través del agujero circular se ve exactamente la centésima parte de la superficie de la cúpula celeste. Así, sólo tienes que contar cuántas estrellas ves a través del círculo y multiplicar por 100 para obtener el número total de estrellas que podrías ver en todo el cielo. Hazlo mirando hacia diferentes constelaciones, en el campo o desde la ciudad, en una noche con Luna y en otra sin Luna. Anota tus observaciones.



5 (***)

Mediante una cámara fotográfica con trípode, no es muy difícil obtener fotografías de constelaciones. Hay que hacerlo en una noche sin luna y lejos de las luces de una ciudad. Se sitúa la cámara sobre el trípode, orientada hacia alguna región del cielo, con el enfoque en infinito, el diafragma abierto al máximo y el tiempo de exposición en la posición B (abierto mientras se apriete el disparador). El tiempo de exposición debe ser de unos 20 ó 30 segundos. Es mejor utilizar películas de mucha sensibilidad (400 ASA) y un disparador de cable para evitar vibraciones.



5

Busca en libros, guías, diccionarios, etc. las mitologías de las principales constelaciones o de los planetas, del Sol o de la Luna; puedes hacerlo en diferentes culturas (griega, egipcia, mesopotámica, centroamericana, china, etc.).



Edmund J. Webb, *Los nombres de las estrellas*, Editorial Fondo de Cultura Económica.

Ute Kadner, *¿Quién es quién en el firmamento?*, editado por el Planetario de Madrid.



1. ¿Cuáles son las estrellas de magnitud 0 que hay en el planisferio?
2. ¿Qué constelación está al sur de OPHIUCUS?
3. ¿Qué constelación está al norte de LEPUS?
4. ¿Qué estrellas hay cerca de la línea que une la Polar con Procyon?
5. Hay dos estrellas que parecen estar en dos constelaciones a la vez, porque sirven de unión a sus figuras. ¿Cuáles son?
6. ¿Cuáles son las doce constelaciones del Zodíaco?
7. ¿Qué constelaciones intervienen en la leyenda de Andrómeda?
8. Si prolongas la curva de la cola de la Osa Mayor hacia el sur, ¿a qué estrella de magnitud 0 llegas? Si sigues aún más hacia el sur con la misma curvatura alcanzas una estrella de 1ª magnitud en una constelación zodiacal. ¿Cuál es esa estrella?

COORDENADAS

Los mapas celestes son una herramienta muy importante, tanto para el astrónomo profesional como para el aficionado. Gracias a ellos podemos localizar las estrellas, los cúmulos, las nebulosas o las galaxias que queremos observar, bien con un modesto telescopio casero, o bien con los enormes y costosos equipos que hay en los grandes observatorios. Los mapas son los mejores amigos en el momento de planificar una observación.

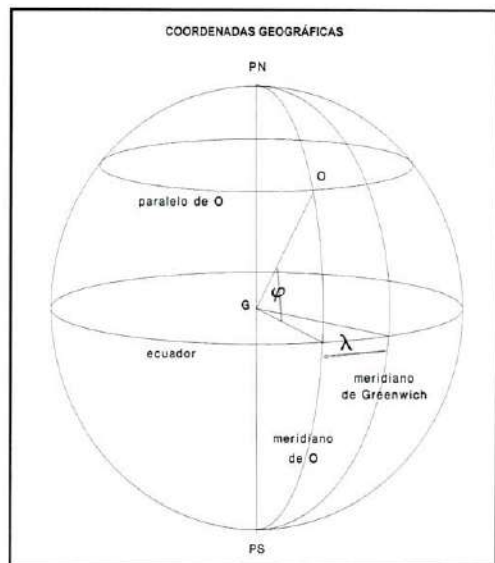


Además, en muchos casos, los mapas celestes son verdaderas obras de arte, especialmente los antiguos, en los que se representaba la nebulosa de Orión como una joya engastada en la empuñadura del puñal que cuelga de su cinturón. Actualmente ya no se usan estas referencias tan poéticas, sino unos sistemas de coordenadas mucho más prácticos, cómodos y precisos. Todas las guías de Astronomía incluyen algunas tablas con las coordenadas de los astros más interesantes, para que puedan ser localizados con facilidad.

Coordenadas geográficas

Como la Tierra es muy aproximadamente esférica, se ha podido establecer un sistema bastante sencillo que permite situar cualquier punto sobre su superficie.

La figura es una representación de la Tierra. PN y PS son los polos y G el centro. Los círculos máximos que pasan por los dos polos se llaman meridianos. El círculo máximo perpendicular al eje terrestre por G es el ecuador. Los círculos más pequeños paralelos al ecuador se llaman paralelos.



Se ha señalado un punto O cualquiera de la superficie terrestre, así como el meridiano y el paralelo que pasan por ese punto O.

La posición de O queda determinada por su paralelo y su meridiano, y recíprocamente, un paralelo y un meridiano definen con precisión la situación de un punto sobre la superficie de la Tierra. Se definen así dos coordenadas: la latitud y la longitud.

La **latitud** de O es la distancia angular entre el ecuador y el paralelo que pasa por O. También se puede definir como el ángulo ϕ que forma la línea GO con el plano del ecuador. Los valores de ϕ pueden variar entre 0° (para un punto en el ecuador) y 90° (para el polo) y pueden ser norte o sur. La latitud de Madrid es de unos 40° norte, la de Barcelona $41^\circ 30'$ norte, mientras que Buenos Aires está a unos 35° de latitud sur.

Para definir la segunda coordenada, la longitud, necesitamos escoger arbitrariamente un meridiano como origen, como meridiano 0. El privilegiado es el de Greenwich, localidad cercana a Londres en la que se construyó en el siglo XVII uno de los primeros observatorios astronómicos del mundo. La **longitud** λ del punto O es la distancia angular entre el meridiano de Greenwich y el que pasa por O. λ puede oscilar entre 0° (para un punto situado justo en el meridiano de Greenwich, como Castellón o el Monte Perdido en los Pirineos) y 180° (para un punto situado en el lado opuesto de la Tierra, como el extremo oriental de Siberia), y puede ser este (como Alemania) u oeste (como Portugal).

- 1** La lámina 2.1 es un mapa de Europa con algunos meridianos y paralelos señalados. Localiza el meridiano 0 y la graduación de los demás meridianos y paralelos. Calcula, aproximadamente, las coordenadas de las siguientes ciudades: Oslo, Atenas, Lisboa, Moscú y Dublín. Identifica las ciudades o accidentes geográficos cuyas coordenadas son: A (64° norte, 22° oeste), B (60° norte, 11° este), C (37° norte, 9° oeste), D (49° norte, 2° este) y E (40° norte, 26° este).

Coordenadas celestes

Por la noche, el cielo estrellado parece formar una cúpula o una bóveda sobre nuestras cabezas, como si hubiera una esfera cuajada de estrellas envolviéndonos. Es la esfera celeste, una esfera imaginaria, pero muy útil, en la que aparentemente están alojadas todas las estrellas del firmamento. En esta esfera se establece también un sistema de coordenadas, muy parecido a las

geográficas, que nos va a permitir determinar las posiciones de los astros.

O es el centro de la esfera celeste. P y P', los polos norte y sur. La línea recta POP' es el eje del mundo, prolongación en el espacio del eje de la Tierra. El círculo máximo perpendicular al eje por su centro es el ecuador celeste.

Al igual que en la Tierra, la posición de un astro A cualquiera sobre la imaginaria esfera celeste queda perfectamente determinada por el paralelo y el meridiano que pasan por él. Cada estrella tiene su posición en la esfera celeste, y la podemos encontrar conociendo sus coordenadas.

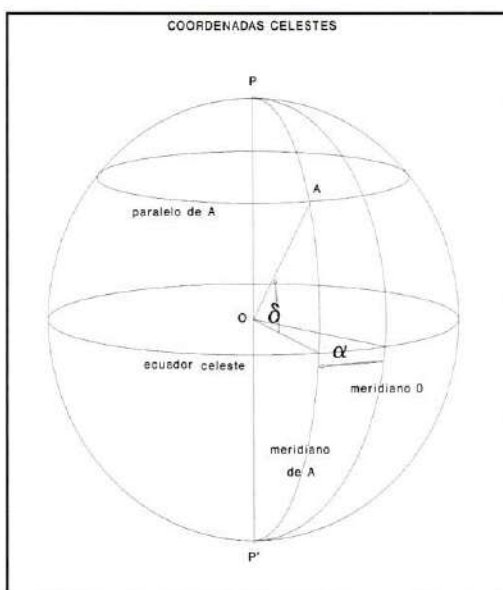
La primera coordenada celeste, equivalente a la latitud en la Tierra, se llama **declinación**. La declinación de un astro A es la distancia angular entre el ecuador celeste y el paralelo de A, o bien el ángulo δ que forma la línea OA con el plano del ecuador.

También puede variar entre 0° y 90° , norte (+) o sur (-). La constelación de Orión está prácticamente en el ecuador y su declinación es de 0° , mientras que la estrella Polar (que se llama así porque está casi en el polo norte de la esfera celeste) tiene una $\delta = 90^\circ$.

La segunda coordenada celeste es equivalente a la longitud sobre la Tierra, aunque difiere de ésta en algunos detalles. También es preciso elegir, arbitrariamente, un meridiano origen. La definición astronómica de este meridiano 0 es algo compleja y no nos hace falta aquí. Trataremos de ello en el tema 7. Lo que interesa ahora es que la segunda coordenada, que se llama **ascensión recta**, es el ángulo α que forman el meridiano 0 y el meridiano que pasa por el astro A. No se mide en grados, sino en horas, desde las 0 hasta las 24 horas, sin que haga falta precisar si es al este o al oeste.

En la lámina universal del planisferio hay dibujadas una serie de líneas que nos permiten averiguar las coordenadas de las estrellas.

Las circunferencias concéntricas corresponden a los paralelos de declinación. Hay una circunferencia un poco más gruesa: es el ecuador. Las demás están dibujadas de 15 en 15 grados; las interiores al ecuador son paralelos hacia el norte y las exteriores hacia el sur. La última corresponde a $\delta = -50^\circ$. Por ejemplo, la declinación de Capella es de unos 45° norte ($\delta = +45^\circ$). En cambio Sirio está hacia el sur, a unos 16° de declinación ($\delta = -16^\circ$).



Las líneas rectas que salen de la Polar y terminan en la circunferencia externa son los meridianos celestes. Los números situados al final de cada meridiano indican la hora de ascensión recta que corresponde a ese meridiano. Así, la constelación de Orión está entre las 5 y las 6 horas de ascensión recta, Arturo tiene una $\alpha = 14$ horas 15 minutos y Deneb unas 20 h 40 m de ascensión recta.

- 2** Encontrar, con el planisferio, las coordenadas aproximadas de las siguientes estrellas: Pollux , Spica , Aldebarán , Antares y Altair.
 ¿Qué constelación está situada entre 55° y 65° de declinación norte y entre 0 y 2 horas de ascensión recta? ¿Cuál está entre $\delta = -15^\circ$ y $\delta = -25^\circ$ y $\alpha = 5$ h y $\alpha = 6$ h? ¿Qué constelación tiene su centro en $\delta = 30^\circ$, $\alpha = 14$ h 45 m?
 Averigua, aproximadamente, las coordenadas del centro de las siguientes constelaciones: Auriga , Hércules , Corvus , Pegaso y Capricornio.
 Identifica los objetos (estrellas u objetos telescópicos señalados con la letra M) cuya posición viene dada por las coordenadas siguientes:

A (12° , 10 h 10 m) , B (-25° , 18 h 52 m) , C (41° , 0 h 41 m) ,
 D (38° , 18 h 35 m) y E (-12° , 12 h 40 m).

Mapas de constelaciones

Esta tabla recoge las coordenadas y la magnitud de las principales estrellas de la Osa Mayor.

Estrella	α	δ	magnitud
β (Merak)	11h 00m	$56^\circ 30'$	2
α (Dubhe)	11h 03m	$62^\circ 00'$	2
γ	11h 55m	$54^\circ 00'$	2
δ	12h 15m	$57^\circ 00'$	3
ϵ	12h 55m	$56^\circ 00'$	2
ζ (Mizar)	13h 25m	$55^\circ 00'$	2
η (Alkaid)	13h 45m	$49^\circ 30'$	2

La lámina 2.2 es una cuadrícula con unas cuantas rectas horizontales y otras rectas, más o menos verticales, que parecen converger por la parte de arriba (el punto de convergencia sería el polo norte celeste). Las líneas horizontales son paralelos de declinación y están trazadas de 5 en 5° . Las otras líneas representan los meridianos de ascensión recta.

Lo primero que vas a hacer es graduar los paralelos y los meridianos en función de los valores que aparecen en la tabla. Fíjate primero en la δ de las estrellas de la Osa Mayor. ¿Cuál es el menor valor de δ en la tabla? ¿Y el mayor? Para graduar los paralelos escribe a la derecha del inferior 45° , 50° en el siguiente, hasta 65° en el más alto.

Vamos con los meridianos. Los que están dibujados con trazo grueso corresponden a una hora exacta de ascensión recta; los dibujados con trazo más fino son de media hora (30 minutos). Los valores de α que hay en la tabla están entre 11 y 14 horas. Ten cuidado: el primer meridiano es el de la derecha. Señala en él 11 h; luego 12 h, 13 h y 14 h en el meridiano de la izquierda. Así, el meridiano central, el único que es del todo vertical, será el de las 12 h 30 m.

3 Sitúa ahora, aproximadamente, cada estrella de la tabla en su posición en la cuadrícula conforme a sus coordenadas. Ten presente la magnitud. Dibuja un pequeño círculo para las de 2ª magnitud y haz un poco más pequeña la de 3ª. Escribe la letra griega de cada estrella. Tienes que obtener la figura conocida de la Osa Mayor. Si no fuera así revisa la posición de las estrellas que no te encajen. Une las estrellas con líneas como ya sabes.

4 Gradúa y completa los mapas de Orión, Scorpius y Sagittarius utilizando las cuadrículas de la lámina 2.3 y las tablas siguientes. Ten cuidado con la graduación de las constelaciones del hemisferio sur.

ORIÓN

	AR	DEC	MAG		AR	DEC	MAG
β (Rigel)	5 14	-8 00	0	λ	5 32	+10 00	3
γ (Bellatrix)	5 25	+6 30	2	δ	5 30	-0 30	2
ϵ	5 35	-1 15	2	ζ	5 40	-2 00	2
χ	5 45	-9 40	2	α (Betelgeuse)	5 55	+7 25	0

SAGITARIO

γ	18 04	-30 26	3	δ	18 20	-29 50	3
ϵ	18 23	-34 24	2	λ	18 27	-25 27	3
ϕ	18 44	-27 01	3	σ	18 54	-26 19	2
ζ	19 01	-29 54	3	τ	19 06	-27 42	3

SCORPIO

β	16 05	-20 00	3	α	16 00	-22 30	2
π	15 59	-26 00	3	ρ	15 57	-29 00	4
α	16 29	-26 30	1	σ	16 21	-25 30	3
τ	16 36	-28 00	3	ϵ	16 50	-34 00	2
μ	16 52	-38 00	3	ζ	16 55	-42 30	3
η	17 12	-43 00	3	λ	17 32	-37 05	2
θ	17 36	-42 59	2	κ	17 41	-39 01	2

5 La constelación fantasma

En la lámina 2.2 ha quedado una cuadrícula sin utilizar. Aquí tienes una tabla como las anteriores, sólo que no sabemos a qué constelación corresponde. Gradúa la cuadrícula y señala en ella las estrellas de la tabla. Obtendrás la figura de una conocida constelación. ¿Cuál es? ¿Cómo se llama su principal estrella?

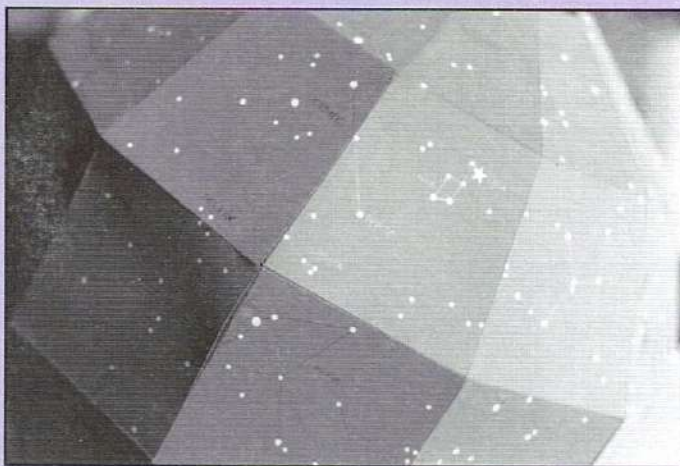
β	16 20	-8 00	2	α	16 45	-6 30	0
θ	16 50	-2 00	4	ι	16 55	-7 00	4
γ	17 05	-5 30	4	ϵ	17 00	-19 00	1
δ	17 10	-16 30	2	η	17 25	-19 15	2

El dibujo se ajusta bastante bien a la visión que tenemos de esta constelación en el cielo, pero, si consultas el planisferio, verás que las coordenadas no coinciden. ¿Sabrías corregir la tabla para adjudicar a cada estrella sus verdaderas coordenadas?



1 (**)

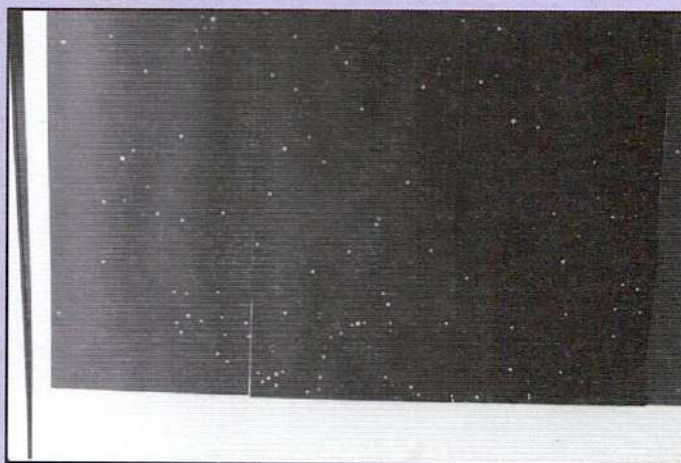
Construcción de una esfera celeste. Utilizando un objeto esférico (de porexpán, un globo hinchable, un balón, ...) se puede realizar una esfera celeste. Hay que situar las estrellas según sus coordenadas, que se pueden obtener del planisferio. Para las estrellas se pueden utilizar alfileres de cabeza blanca, o bien pintarlas con algún rotulador, o pegar pequeños círculos de papel.



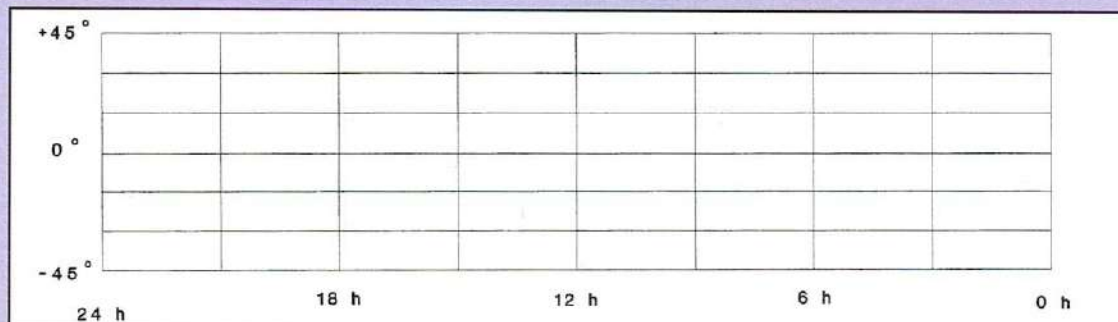
2 (**)

Mapa mural del cinturón ecuatorial.

Es un mapa rectangular, con el ecuador celeste en el centro. Hay que dibujar una cuadrícula rectangular, como la del mapa de Orión, pero que ocupe todo el cielo, desde las 0 hasta las 24 horas y desde $\delta=+45^\circ$ hasta $\delta=-45^\circ$. Si se hace de buen tamaño, podría ponerse en alguna pared del aula.



El resultado final tiene que ser parecido a las dos láminas 6.2a y 6.2b unidas. Un buen material para confeccionarlo es el cartón-pluma, que es blanco y sobre el que se dibuja muy bien. También puede hacerse sobre cartulinas de color azul oscuro y dibujar en blanco las estrellas. Luego esas cartulinas se podrían pegar sobre el car-



tón-pluma y fijar éste a la pared. Lo ideal es repartirse el trabajo entre todos. Para comprobar que todo va saliendo bien se pueden utilizar los mapas por estaciones (láminas 1.2 a 1.5).



Bakulin, Kononovich, Moroz, *Curso de Astronomía General*, Editorial Mir.



1. ¿Qué ciudad está situada 20° al este de Oslo y en su mismo paralelo?
2. ¿Qué ciudad española está situada casi en el mismo meridiano que París?
3. ¿Qué estrella de 1ª magnitud está situada prácticamente en el mismo meridiano que Mizar?
4. ¿Qué estrella está situada justo 45° al sur de Capella?
5. ¿Qué estrella está en el mismo paralelo que Pollux, pero con 2 h 20 m menos de ascensión recta?
6. ¿Qué constelación tiene la misma declinación pero 1 h 45 m menos de ascensión recta que las Pléyades?
7. ¿Cuáles son las coordenadas de Denébola?
8. ¿Qué objeto está en $\delta = -23^\circ$, $\alpha = 18$ h 37 m?

EL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN

Imagínese a usted mismo en el mar hace unos pocos miles de años. Con una buena carga de pescado a bordo, su esquife se desliza lentamente hacia la orilla que comienza a ser invadida por las tinieblas; ¡un raro momento en la lucha por la vida! Es la hora de contemplar los titilantes cielos. Aunque sin mucho tiempo para reflexionar sobre ellas, las estrellas habrían constituido para usted un importante hecho natural. La aurora, el arco circular del vuelo del Sol a mediodía y, luego, su inmersión de fuego en el mar occidental serían algo familiar, así como el giro nocturno de las estrellas. Estas serían las seguras experiencias de su vida. Este es, pues, el primer gran hecho de los cielos. Todos los observadores antiguos se sentían justamente impresionados con la observación del Sol, las estrellas y la Luna moviéndose sobre la tierra en sus círculos perfectos.

Norwood R. Hanson, Constelaciones y conjeturas

Ya nos hemos familiarizado con las figuras que forman las luces celestes. Es el primer paso para conocer el firmamento, y todos los pueblos antiguos agruparon las estrellas según les dictaba su imaginación, bautizando estos grupos con los nombres de sus animales destacados, de sus dioses o héroes. Pero el cielo no está quieto, sino en un movimiento perpetuo, ordenado y preciso. Las primeras civilizaciones, que no vivían en grandes ciudades iluminadas, pudieron contemplarlo pausadamente y quedaron maravilladas de la armonía y perfección de estos movimientos. Para comprenderlos adecuadamente hace falta observar con atención el cielo, noche tras noche, a lo largo de muchos meses, anotando de forma continua las posiciones de las estrellas hasta detectar sus lentos, pero inexorables movimientos.

Nosotros no tenemos esta experiencia acumulada. Apenas vemos nada en los cielos contaminados de nuestras ciudades. Tenemos que acumular la misma información que cosechó la especie humana en la Antigüedad, repetir su mismo camino, pero más deprisa y con una bóveda celeste mucho menos oscura. Afortunadamente el planisferio es una valiosa ayuda para simular lo que se vería en el cielo. Gracias a él podemos realizar cuantas observaciones queramos, como si todas las noches estuvieran despejadas de nubes y dedicáramos algunas horas a su tranquila contemplación. De cualquier manera, el planisferio no deja de ser un simulador de lo que pasa en el firmamento. Es un buen sustituto, pero nunca podrá reemplazar a la observación directa. Mira hacia las estrellas siempre que puedas. Es un espectáculo que nunca decepciona.

El Sol y sus sombras

Todos conocemos el movimiento aparente del Sol a lo largo de un día: sale por el este, va ganando altura hasta el mediodía y luego desciende hasta que se pone por el horizonte oeste. A mediodía el Sol nos indica el sur.

En una habitación orientada hacia el sur, el Sol da buena parte del día; en cambio en una habitación que mira hacia el norte

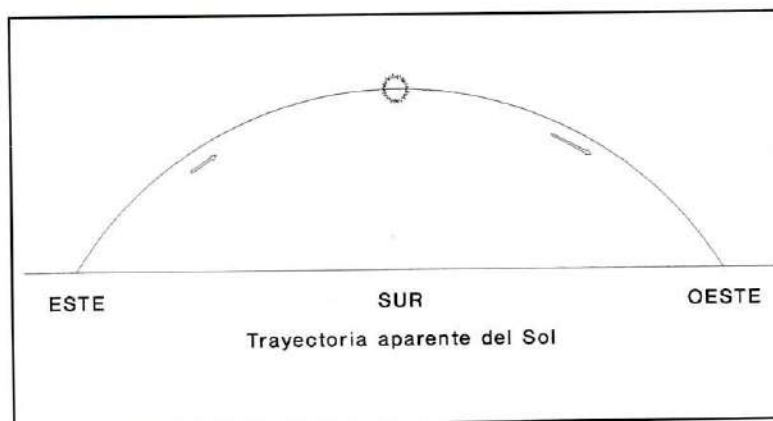


Fig. 1

casi nunca entra. El camino, la trayectoria que parece describir el Sol desde que sale hasta que se pone es una línea curva, un arco desde el este hasta el oeste.

Éste es el recorrido que todos hemos apreciado alguna vez sin más que mirar al cielo. Si queremos precisar un poco, averiguar con mayor exactitud cómo es esta trayectoria, tendremos que **medir** las posiciones del Sol utilizando algunos instrumentos sencillos.



1 (*)

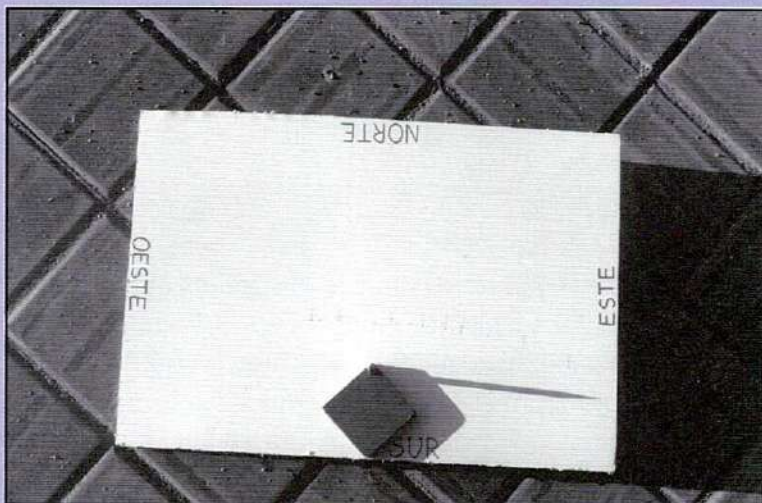
El gnomon

Consiste en una varilla vertical colocada sobre una tabla horizontal. Se orienta como se indica en la fotografía.

La sombra de la varilla cambia de dirección y de longitud a medida que el Sol va recorriendo su camino sobre el horizonte. Se trata de ir marcando la posición del extremo de la sombra sobre la tabla. Conviene hacerlo cada diez minutos, desde que sale el Sol hasta que se pone.

Uniendo los puntos obtenidos resulta una línea curva que permite analizar con más detalle cómo vemos moverse el Sol.

Es muy interesante utilizar el gnomon varias veces al año, una en cada estación. Para poder comparar los resultados hay que situar siempre el gnomon en la misma posición exactamente. Lo más práctico es hacerlo en el patio del centro escolar, buscando un lugar en el que dé el Sol todo el día. La primera vez que se realice la práctica se coloca el tablero, orientado aproximadamente como se indica en la fotografía 1, y se señala sobre el cemento del patio todo el contorno del tablero con pintura resistente. Así, al cabo de uno o dos meses se puede repetir la experiencia colocando el gnomon en la misma posición.



1 Longitud de las sombras

Coge cualquier objeto que pueda colocarse en posición vertical (una caja pequeña, un lápiz grueso, un aparato de radio portátil con antena vertical). Colócalo al Sol y mide la longitud de su sombra sobre la mesa en la que esté colocado o sobre el suelo. Hazlo durante todo un día, cada media hora, cambiando de habitación para que le siga dando el Sol o saliendo a la calle si es preciso.

Anota una tabla con dos columnas: (a) hora y (b) longitud de la sombra.

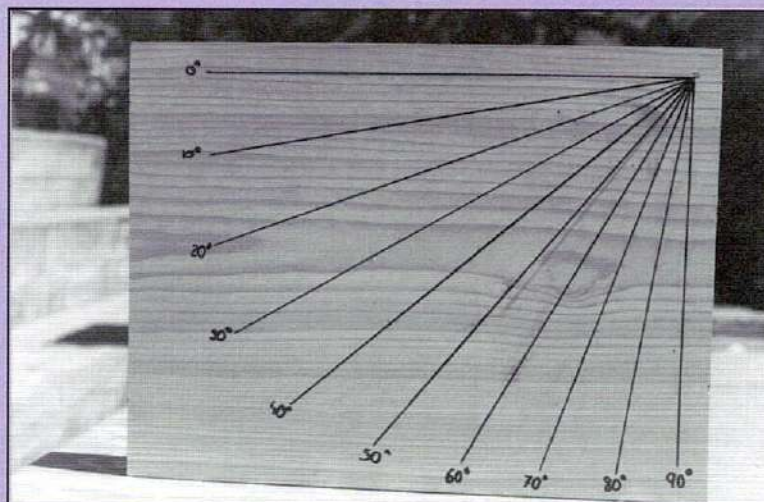
Realiza una gráfica, situando en el eje horizontal las horas y en el vertical las longitudes obtenidas.



2 (*)

El zócalo de Ptolomeo

Consiste en un tablero cuadrado, pequeño (20x20 cm por ejemplo) pero grueso (podría ser aglomerado de 19 mm), de manera que se mantenga vertical sin dificultad. Sobre una de las caras del tablero se dibuja un cuadrante, graduado desde 0° hasta 90° , y se clava en su vértice un pequeño clavo que sobresalga, como se ve en la fotografía.



Sirve para medir la altura del Sol, es decir el ángulo que forman sus rayos con la horizontal. Para ello se mueve el tablero, siempre vertical sobre el suelo o sobre una mesa, hasta que la sombra del clavo sea muy larga y alcance la graduación del cuadrante. El valor señalado por la sombra del clavo es precisamente la altura del Sol en ese momento.

Conviene utilizarlo durante todo un día, cada media hora, anotando los valores que se van midiendo. También es interesante hacerlo varias veces al año.

2 El movimiento diario de la Luna

Localiza con ayuda de algún calendario qué día estará la Luna en fase de Cuarto Creciente. Ese día, o en días próximos, observa por dónde sale la Luna, qué trayectoria parece recorrer y por dónde se pone. Redacta alguna frase que describa esa trayectoria y haz un dibujo del estilo de la figura 1. Compara las trayectorias aparentes del Sol y de la Luna.

El planisferio

El planisferio se va a utilizar muchas veces. Lo primero que hay que hacer es construirlo. Para ello hay que ensamblar sus dos piezas, la fija (la que hemos utilizado en los dos primeros temas, con las estrellas, meridianos y paralelos) y la móvil, que es transparente. En la parte móvil hay dibujadas las siguientes líneas:

(a) Una circunferencia límite, graduada de 0 a 24 horas.

(b) Una elipse gruesa, el horizonte, con los puntos cardinales.

(c) Una línea recta que va del punto cardinal norte al sur, que es el **meridiano**.

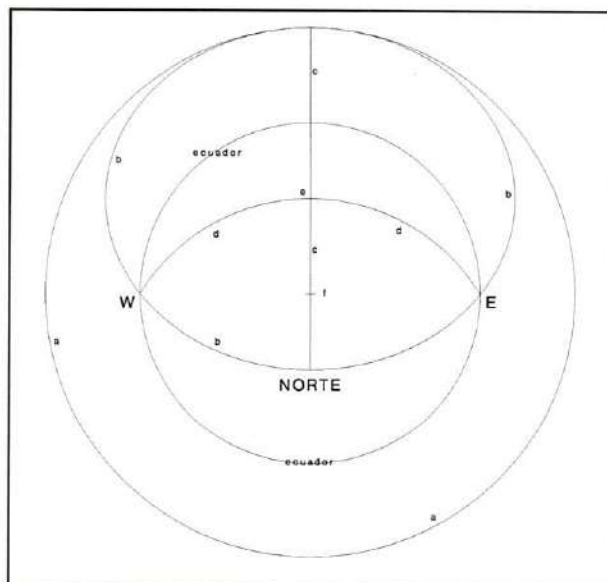


Fig. 2

- (d) Una línea curva que va del punto cardinal este al oeste, llamada **primer vertical**.
- (e) El punto donde se cortan el meridiano y el primer vertical está marcado con una z y es el **cenit**.
- (f) Sobre el meridiano, a medio camino entre el norte y el cenit, hay una pequeña marca que señala el centro de la circunferencia exterior graduada de 0 a 24 horas.



3 (*)

Montaje del planisferio.

Sitúa la parte móvil sobre la fija de manera que las circunferencias externas coincidan. La marca que señala el centro de la parte transparente del planisferio tiene que coincidir casi exactamente con la estrella Polar. Tienes que unir ambas piezas mediante un alfiler, una chincheta, o un clavo muy fino colocado justamente en el centro, de manera que la parte móvil pueda girar a su alrededor. Una grapa suele dar muy buen resultado.



Gira la parte móvil hasta que su graduación 20 horas coincida con la fecha 15 de noviembre (marcada en la parte fija). Todas las estrellas y constelaciones que están dentro de la elipse (horizonte) son las que se pueden ver el día 15 de noviembre a las 20 horas (las 8 de la tarde). Las que quedan fuera de la elipse no se pueden ver (estarían debajo del horizonte). Por ejemplo, la Osa Mayor sí que se ve, cerca del horizonte norte. Casiopea y Pegasus también son visibles y están cerca del cenit. En cambio Orión es visible a medias. Betelgeuse y Bellatrix sí están por encima del horizonte, pero Rigel no. Del triángulo estival sólo se ven Vega y Deneb, pero no Altair.

Las horas indicadas en la parte móvil son horas solares. Hay que tener en cuenta el adelanto oficial (1 hora en invierno, 2 en verano). Tal y como está colocado el planisferio representa lo que se vería el 15 de noviembre a las 20 horas del Sol, que son las 21 horas oficiales (las 9 de la tarde del reloj).

- 3 Haz una lista de las principales estrellas y constelaciones visibles hoy a las 20 horas (hora oficial). ¿Cuáles se podrían ver el día y hora de tu nacimiento?
- 4 Sitúa el planisferio para el día de hoy a las 20 horas (oficial). Haz una lista de las constelaciones por las que pasa el meridiano. Haz otra lista con las constelaciones que atraviesa el primer vertical. Indica qué estrella u objeto está más cerca del cenit. Escribe los nombres de las constelaciones que son visibles sólo a medias (que tienen una parte visible y otra invisible).

Semicírculos de visibilidad

El planisferio se va a utilizar para reproducir lo mejor posible lo que se vería una noche a cierta hora. Hay que tener cuidado, porque deforma mucho las figuras, sobre todo las que están muy lejos de la Polar.

El cielo presenta el aspecto de una semiesfera que nos envuelve por encima del horizonte. El cenit es el punto que está justo encima de nosotros, en vertical. Si estamos de pie mirando hacia

el Norte sólo podremos ver una mitad de la bóveda celeste, la que queda desde el horizonte norte hasta el primer vertical. El meridiano parte esa zona por la mitad y en él se encuentra, a media altura, la estrella Polar. Vamos a dibujar la zona visible hacia el norte en un semicírculo, el semicírculo de visibilidad norte.

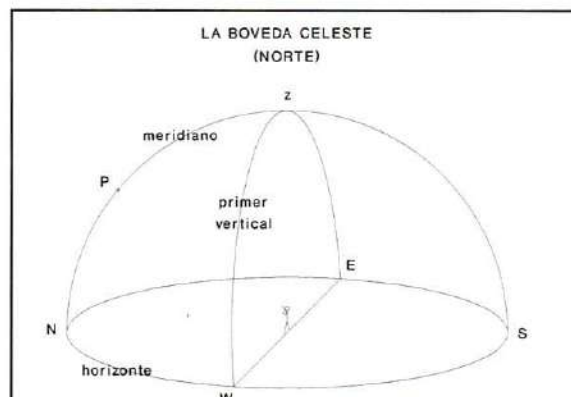


Fig. 3

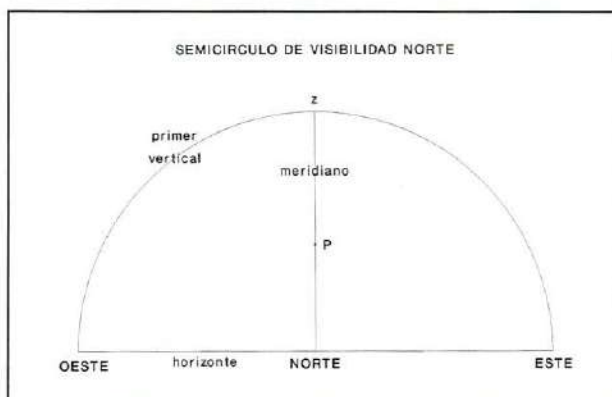


Fig. 4

Ejemplo

Dibujar el semicírculo de visibilidad norte para el día 2 de diciembre a las 21 horas (oficial).

Gira la parte móvil hasta hacer coincidir la señal de las 20 horas con la fecha del 2 de diciembre. Ahora mueve todo el planisferio en bloque hasta que te quede como en la figura 5, es decir, que la palabra norte quede abajo y la palabra sur arriba. Vamos a ir trasladando las principales estrellas del planisferio al semicírculo (figura 6), utilizando siempre como referencias para situarlas el horizonte, el meridiano, la Polar y el primer vertical.

- La Osa Mayor está muy cerca del horizonte norte, la «cola» a la izquierda del meridiano y el «carro» a la derecha.
- Casiopea está muy arriba, entre la Polar y el cenit (z), más cerca del cenit y casi toda ella queda a la derecha del meridiano.
- Capella está a la derecha, a medio camino entre la Polar y el este.
- Castor y Pollux, justo encima del horizonte, en el noreste.

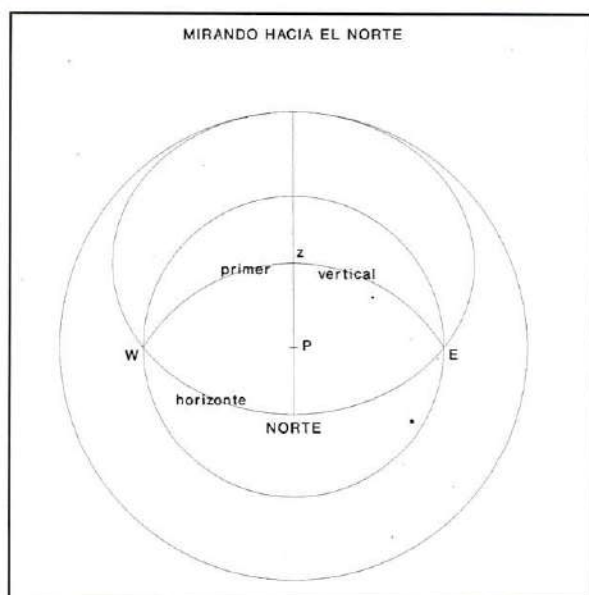


Fig. 5

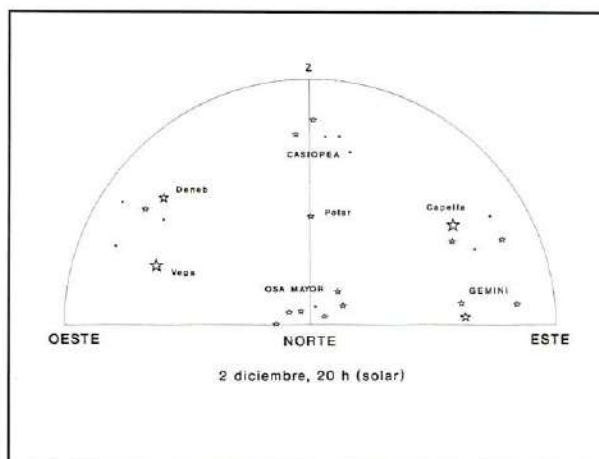


Fig. 6

- Deneb, cerca del primer vertical, a medio camino entre el cenit y el oeste, cerca del oeste.
- Vega, aproximadamente en posición simétrica de Capella respecto a la Polar, es decir algo más baja que la Polar, pero hacia la izquierda, más cerca del oeste que de la Polar.

Aunque en el planisferio parece que los puntos cardinales este y oeste están más altos que el norte, esto se debe a la deformación de aquél. Nosotros, naturalmente, vemos el horizonte horizontal. Lo que nos muestra el semicírculo de visibilidad se parece más a la realidad que lo que observamos en el planisferio.

5 Dibuja el semicírculo norte para el día 1 de enero a las 0 horas (solar). Utiliza la lámina 3.

Cuando nos ponemos mirando hacia el sur, nuestras referencias cambian. Ahora el este quedará a la izquierda y el oeste a la derecha. No vemos la Polar, pero, en cambio, podemos utilizar como referencia el ecuador, que siempre pasa por los puntos cardinales este y oeste con la misma inclinación.

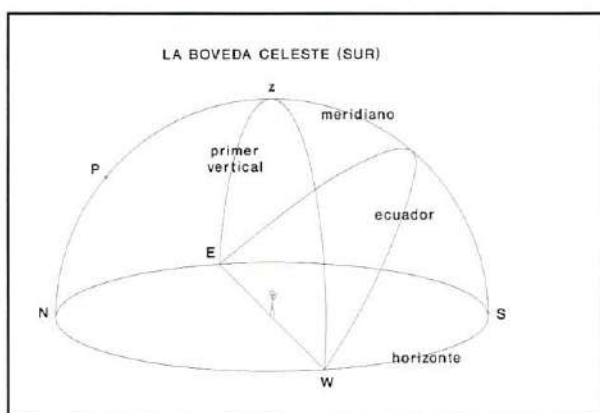


Fig. 7

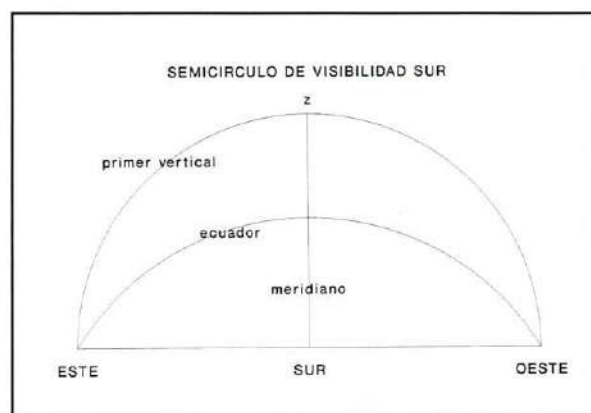


Fig. 8

El dibujo del semicírculo de visibilidad sur es algo más complejo que el norte, porque el planisferio deforma en esas zonas mucho más las figuras.

Ejemplo

Dibujar el semicírculo de visibilidad sur para el 2 de diciembre a las 21 horas (oficial).

Coloca la fecha y la hora en el planisferio. Muévelo ahora todo junto hasta que te quede, como en la figura 9, con la palabra sur legible abajo y el norte arriba y al revés. Como siempre, sólo nos interesa la zona del planisferio comprendida entre el horizonte (sur) y el primer vertical. Utilizaremos el ecuador como referencia para ir trasladando las estrellas desde el planisferio al semicírculo (figura 10).

- El cuadrado de Pegaso está entre el ecuador y el primer vertical, a la derecha del meridiano.
- Altair está entre el ecuador y el primer vertical, muy cerca del oeste.
- Fomalhaut, bastante cerca del horizonte, un poco a la derecha del meridiano.
- Diphda, un poco más cerca del ecuador que del horizonte y algo a la izquierda del meridiano.
- Orión, justo sobre el horizonte este.
- Aldebarán, muy cerca del primer vertical, por encima de Orión.
- Aries, entre el ecuador y el primer vertical, más cerca del cenit que del este.

- 6** Dibuja el semicírculo sur para el día 1 de enero a las 0 horas (solar). Utiliza la lámina 3.
- 7** Dibuja en la lámina 3 los semicírculos norte y sur para el día y hora de tu nacimiento.

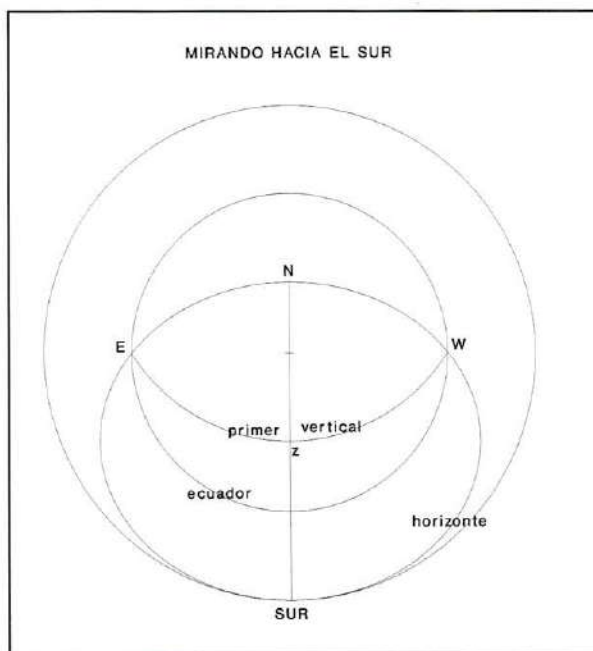


Fig. 9

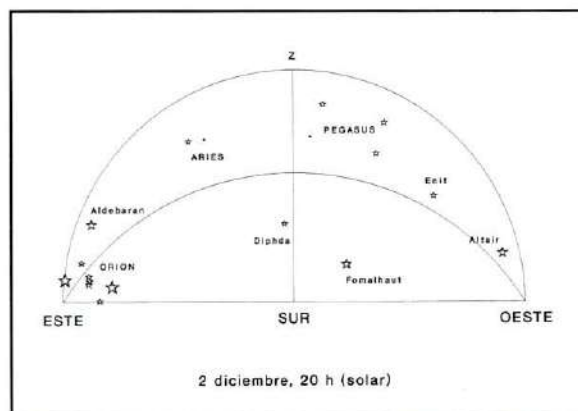


Fig. 10

El movimiento aparente de las estrellas

- 8** Señala en el semicírculo norte (lámina 3) las posiciones de la estrella Alkaid el 1 de diciembre, de 4 en 4 horas, desde las 0 h hasta las 24 h.
- 9** Señala en el semicírculo norte (lámina 3) las posiciones de Deneb el 1 de diciembre, de 4 en 4 horas, desde que salga hasta que se ponga. Indica a qué hora sale, pasa por el meridiano y se pone. ¿Por qué punto cardinal sale? Para responder a esta pregunta puedes utilizar el código de las rosas de los vientos: NE (noreste) para un punto a medio camino entre el norte y el este, SE (sureste), NW (noroeste), SW (suroeste). Si eres capaz de afinar más puedes utilizar posiciones intermedias (NNE: nor-noreste, por ejemplo).
- 10** Señala en el semicírculo sur (lámina 3) las posiciones de Rigel el 1 de diciembre, de 2 en 2 horas, desde que sale hasta que se pone. Indica las horas de salida, culminación y puesta. ¿Por qué punto cardinal sale? ¿Por cuál se pone?

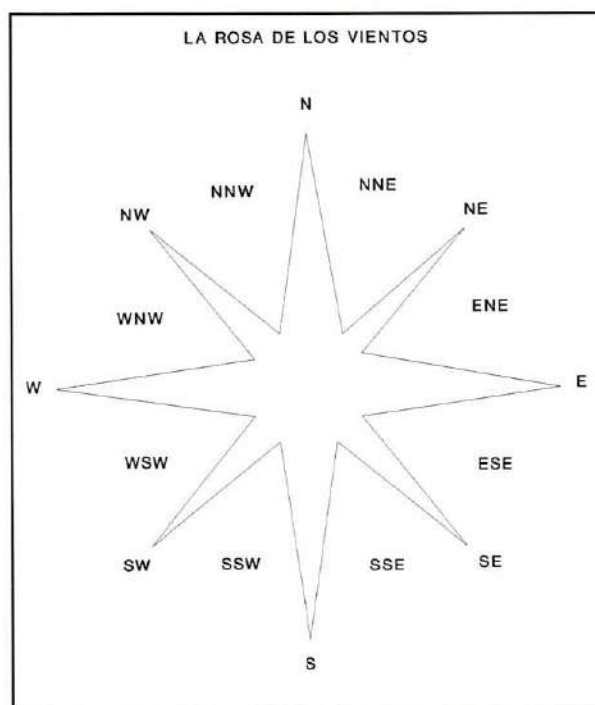


Fig. 11

- 11 Señala en el semicírculo sur (lámina 3) las posiciones de Antares el 1 de diciembre, de 2 en 2 horas, desde que sale hasta que se pone. Indica las horas de salida, culminación y puesta. ¿Por qué punto cardinal sale? ¿Por cuál se pone?
- 12 Para el día de hoy, averigua con el planisferio las horas de salida, paso meridiano y puesta de Sirio, Pollux, Capella y Mizar. Indica los puntos del horizonte de salida y puesta de cada una de esas estrellas.



Grupo Azarquiel, *Astronomía en la escuela*



1. ¿A qué hora del día son más cortas las sombras producidas por el Sol?
2. ¿Qué te parece mejor, una casa orientada al norte o al sur?
3. ¿Por qué zona del horizonte suele salir la Luna?
4. Si el día 27 de octubre se ve a Proción saliendo prácticamente por el horizonte este, ¿qué hora marca el reloj?
5. Cierta día, a las 11 de la noche Vega estaba casi en el cenit. ¿Qué día era?
6. ¿Hasta qué hora habrá que trasnochar para ver salir a Orión el 20 de agosto?
7. ¿Durante cuántas horas es visible Fomalhaut el 6 de septiembre?
8. El 20 de enero, cuando nuestro reloj marque las 10 y cuarto de la noche, ¿qué estrellas podremos ver en el meridiano o muy cerca de él?

EL MODELO DE LAS DOS ESFERAS

Las observaciones descritas en las secciones precedentes constituyen una parte importante de los datos utilizados por los astrónomos de la Antigüedad para analizar la estructura del Universo. Son las claves para resolver un rompecabezas del que son tentativas de solución las diversas teorías inventadas por los astrónomos. La cosmología de las dos esferas es totalmente pertinente, es decir, da cuenta con toda precisión de las observaciones de los cielos. Es un producto de la imaginación humana. Se trata de un esquema conceptual, una teoría desarrollada a partir de las observaciones y que, a un mismo tiempo, las trasciende. La característica más sorprendente del universo de las dos esferas es quizá la ayuda que presta a la memoria del astrónomo, su economía conceptual. Quien observe el cielo teniendo presente el modelo de las dos esferas descubrirá que la lista de observaciones se convierte por primera vez en un todo coherente y que de este modo es mucho más fácil recordar los diversos elementos de dicha lista. El universo de las dos esferas es aún utilizado ampliamente en nuestros días dada su capacidad de proporcionar un compacto resumen sintético de una vasta cantidad de importantes hechos de observación. La teoría y la práctica de la navegación y de la topografía pueden ser expuestos con gran sencillez y precisión a partir de este modelo.

Thomas S. Kuhn, La revolución copernicana

El modelo de las dos esferas

Ya hemos avanzado antes que el aspecto que presenta el cielo nocturno es el de una gran esfera abarrotada de estrellas que nos rodea por todas partes. Vamos ahora a precisar esta imagen intuitiva y a comprobar que podemos explicar satisfactoriamente tanto los fenómenos astronómicos vistos hasta el momento, como otros que irán apareciendo a partir de ahora.

El modelo de las dos esferas es muy sencillo: consiste en suponer que la Tierra está rodeada por otra esfera mucho mayor que ella, la **esfera celeste**, en la que se sitúan todas las estrellas.

En la esfera terrestre hay algunas líneas y puntos que destacan de manera natural: los dos polos, el eje y el ecuador. Los llamaremos **elementos universales**.

Hay otros que dependen del lugar O en el que estemos, por lo que son llamados **elementos locales**:

- El plano del horizonte.
- La línea meridiana (recta que va de norte a sur).

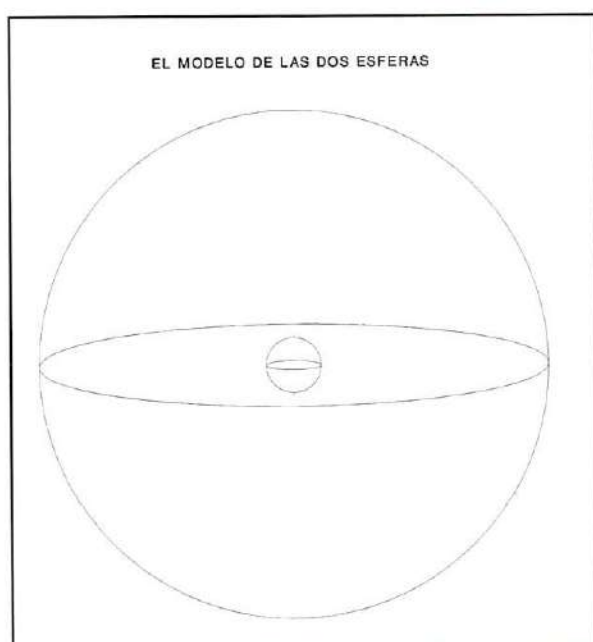


Fig. 1

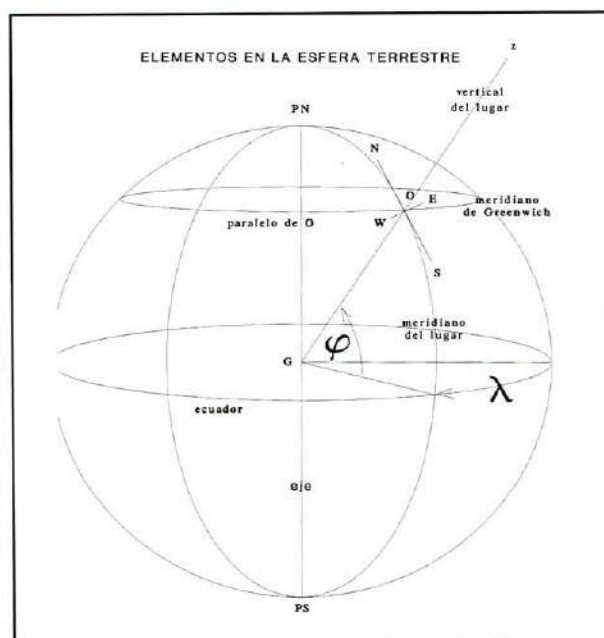


Fig. 2

- La vertical del lugar (que se dirige por una parte hacia el centro G de la Tierra y por la otra hacia el cenit).
- La latitud y la longitud del punto O.

De forma semejante, en la esfera celeste también hay elementos universales y locales.

Elementos universales:

- El polo norte celeste (P).
- El polo sur celeste (P').
- El eje del mundo PP'.
- El ecuador celeste QQ'.

Elementos locales:

- El horizonte del lugar, círculo máximo de la esfera celeste, que la divide en dos semiesferas: la superior (visible desde O) y la inferior (oculta).
- El cenit (z) del observador, punto de la esfera celeste donde termina la vertical del lugar (GO).
- El meridiano del lugar, círculo máximo que pasa por los polos y por el cenit.
- La altura h de un astro A, ángulo que forma la visual OA con el horizonte.

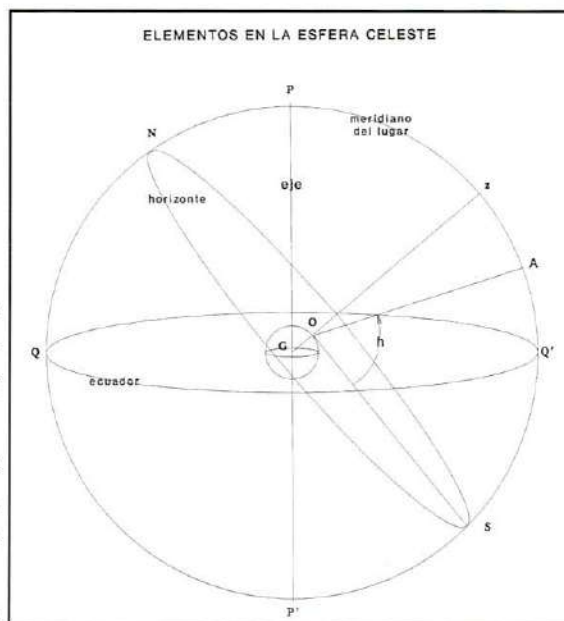


Fig. 3

Como el tamaño de la Tierra es despreciable en comparación con el de la esfera celeste, es perfectamente válido considerar aquélla como un punto. Así los puntos G y O pueden confundirse en uno sólo. La figura 3 es una imagen de nuestro universo de las dos esferas como si pudiéramos verla desde el exterior. En realidad, nosotros estamos situados en un punto O de la superficie terrestre, y naturalmente, siempre vemos el horizonte horizontal, como se presenta en la figura 4. Compara ésta con las figuras 3 y 7 del tema anterior.

I Identifica los elementos de cada figura de la lámina 4, escribiendo junto a cada número el nombre que corresponda

El movimiento de rotación

En el tema anterior has realizado varias actividades con el planisferio (n^{os} 8 a 12) que muestran en los semicírculos de visibilidad el movimiento aparente de las estrellas por la noche. Has observado que las estrellas se mueven, que unas cuantas siempre están visibles y que la mayoría salen y se ponen describiendo trayectorias más o menos parecidas a la del Sol. Pero, ¿estás seguro de que **todas** se mueven? Fíjate bien. Hay una estrella que permanece inmóvil. ¿Cuál es?

Si hacemos una foto con una cámara puesta sobre un trípode, apuntando hacia esa estrella y deja-

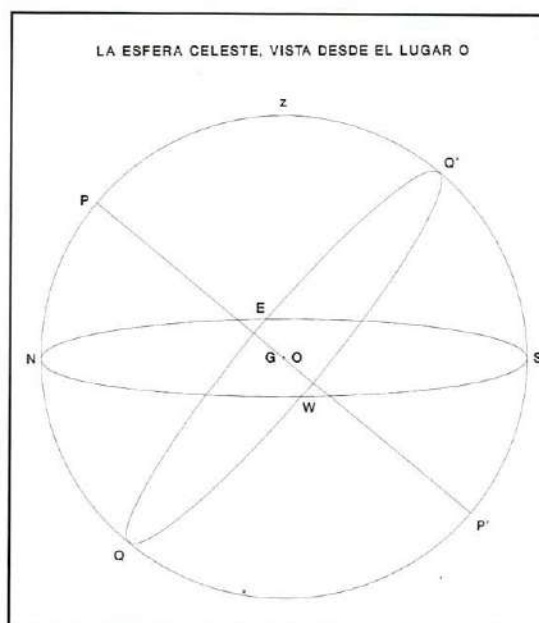
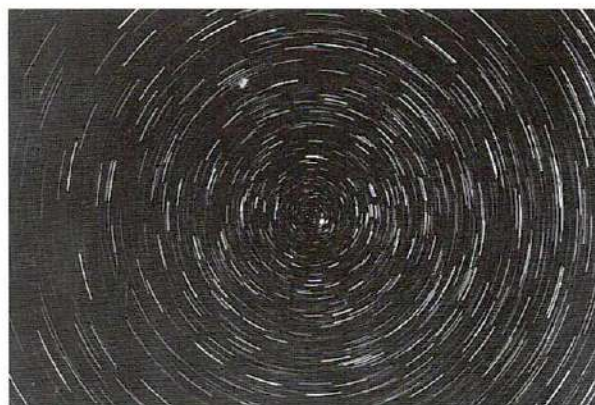


Fig. 4

mos el objetivo abierto durante mucho tiempo (una hora, por ejemplo), se obtiene una imagen como la de la fotografía. Cada estrella ha dejado un rastro como si estuviese girando alrededor del centro. ¿Qué estrella está en el centro de esta foto?

Da la impresión de que toda la esfera celeste en bloque gira alrededor del eje del mundo, con lo cual vemos que cada estrella recorre un paralelo celeste en 24 horas.



2 En la figura 5 tienes dibujados los paralelos recorridos por diversas estrellas. Ten a mano los dibujos de las actividades 8 a 12 del tema anterior.

¿En qué semicírculo se verá la estrella x, en el norte o en el sur? ¿Sale y se pone, o es siempre visible? Si sale y se pone, ¿por qué puntos del horizonte lo hace? ¿A la estrella de qué actividad del tema 3 se parece? ¿Qué estrella podría ser? ¿Cuál es su declinación? Sobre esta figura 5 mide, con un transportador, la distancia angular entre el ecuador y el paralelo de esa estrella.

Responde a idéntico cuestionario con respecto a las estrellas y, t y u.

¿Y la estrella v? ¿Qué puedes decir de ella? ¿Crees que vendrá en el planisferio? ¿Por qué?

Para simplificar un poco los dibujos y que puedas hacerlos sin complicaciones, vamos a dibujar la esfera celeste tal y como la vemos nosotros, pero sin perspectiva, es decir plana, como **en sección**.

Así, el ecuador y los paralelos serán un simple segmento de recta. N es el punto cardinal norte; S, el sur; O, nuestra posición; la circunferencia representa la esfera celeste. P es el polo norte; P', el sur; z, el cenit. La línea recta QQ' es el ecuador (perpendicular al eje PP') y el segmento CC' es el paralelo de una estrella, como Deneb, que tiene una declinación $d=+45^\circ$. Fíjate en que los ángulos QOC y Q'OC' tienen que medir justamente 45° . La línea CC' cruza el horizonte entre O y N, pero muy cerca del norte; esto quiere decir que Deneb sale y se pone, no por el este y el oeste, sino por el nor-noreste y por el nor-noroeste. El punto C' es el más alto en la trayectoria de Deneb. Mide el ángulo NOC': ésa es la máxima altura que alcanza Deneb.

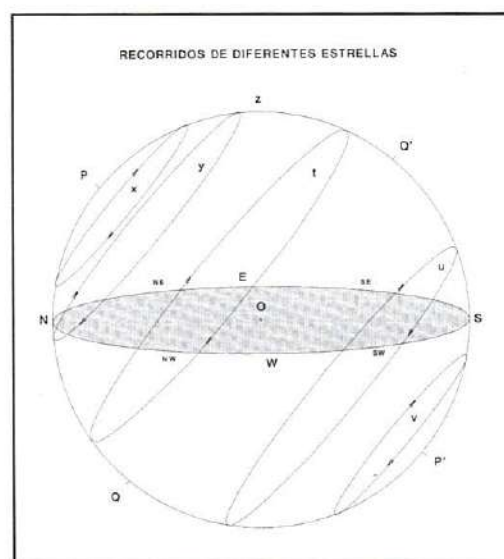


Fig. 5

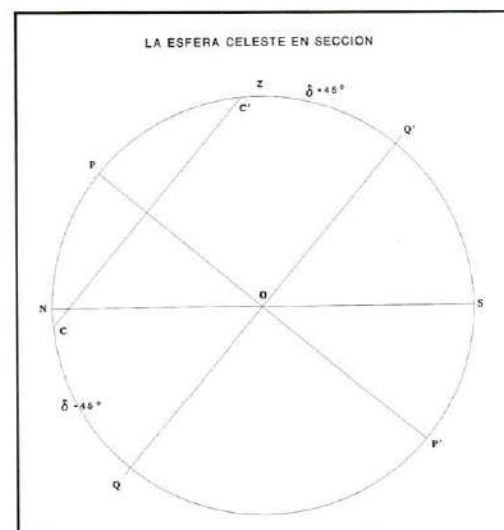


Fig. 6

3 Dibuja en tu cuaderno la esfera celeste en sección, siguiendo estos pasos (necesitas un transportador de ángulos, que vas a utilizar continuamente en este tema):

(a) Dibuja una circunferencia utilizando el borde del transportador. Marca primero el centro con la letra O y después, colocando el transportador con su centro en O, marca con un lápiz el borde del transportador.

(b) Dibuja un diámetro horizontal (que representa el horizonte). Marca los puntos N (a la izquierda) y S (a la derecha).

(c) Señala el punto P, de manera que el ángulo NOP sea de 40° (en la pregunta siguiente verás por qué debe ser así).

(d) Traza la recta PO. Prolóngala hasta P'.

(e) Traza el ecuador QQ', perpendicular a PP'.

Ya tenemos lo básico. Ahora queremos dibujar el paralelo correspondiente a Altair. Busca en el planisferio la declinación de Altair. Marca los puntos C y C' de manera que los ángulos QOC y Q'OC midan precisamente la declinación de Altair. Únelos. La línea CC' que acabas de trazar representa el paralelo que recorre Altair. ¿Cruza el horizonte? ¿Altair sale y se pone o no? ¿Cuál es el punto más alto del paralelo de Altair? Mide el ángulo SOC', que es la máxima altura que alcanza Altair.

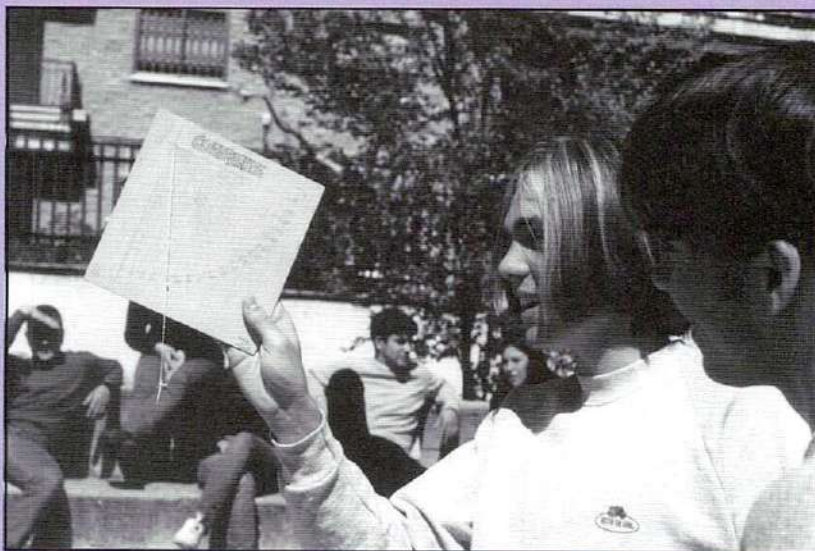
En la misma figura dibuja ahora el paralelo de Sirio. ¿Cuál es su máxima altura?



1 (*)

El cuadrante

Es muy parecido al zócalo de Ptolomeo (taller 2 del tema 3), pero construido sobre una madera más fina, como contrachapado. También se puede realizar en cartón pluma o en cualquier cartón grueso y rígido. Se dibuja un cuarto de círculo y se gradúa igual, pero ahora



hay que colocar una cuerda fina con una plomada sujeta del clavo situado en el vértice del cuadrante.

Se utiliza como indica la figura, mirando hacia un astro (¡que no sea el Sol!) de forma que el ojo, el borde superior del cuadrante y el astro queden alineados. El hilo quedará sobre alguna línea de la graduación. Ésa es la altura del astro al que estamos mirando.

Localiza con el planisferio la hora a la que Sirio pasará por el meridiano el día que vayas a utilizar el cuadrante. Mide a esa hora la altura de Sirio utilizando el cuadrante y compara tu resultado experimental con el teórico que has obtenido en el último apartado de la actividad nº 3. Mide también la altura de la Polar.



2 (***)

Si se dispone de una esfera celeste sólida y que pueda girar alrededor de su eje, se puede realizar un modelo físico tangible del universo de las dos esferas. Hay que inclinar la esfera celeste hasta que el eje tenga la orientación adecuada y construir con madera fina, cartón o similar una banda que simule el horizonte. Se pueden así visualizar mejor todas estas actividades.



La latitud y la altura de la polar

¿Por qué hemos puesto antes el polo norte celeste P precisamente a 40° del punto cardinal norte N? Hasta ahora todas las figuras que hemos hecho están pensadas para un punto O sobre la Tierra en la posición de España. ¿Qué pasaría si nos desplazásemos hacia el norte o hacia el sur? Fíjate en la figura 3. Al mover el punto O, el horizonte también variará y, asimismo, la distancia angular entre N y P.

Hay una relación precisa entre la latitud del lugar O de observación y la altura del polo P respecto al horizonte. La figura 7 representa la esfera terrestre. Se ha situado un punto cualquiera O, cuya latitud es φ , y su horizonte. Si desde O miramos hacia el polo norte celeste, como la esfera celeste es infinitamente más grande que la terrestre, la línea visual hacia el polo P será paralela al eje de la Tierra. El ángulo h es la altura del polo, el ángulo que hay que levantar la vista desde el horizonte para apuntar hacia la Polar. Fíjate en los ángulos φ y h y en las líneas que forman esos ángulos: OP es perpendicular a GQ' y ON es perpendicular a GO. Por tanto, los ángulos φ y h tienen que ser iguales: $\varphi = h$.

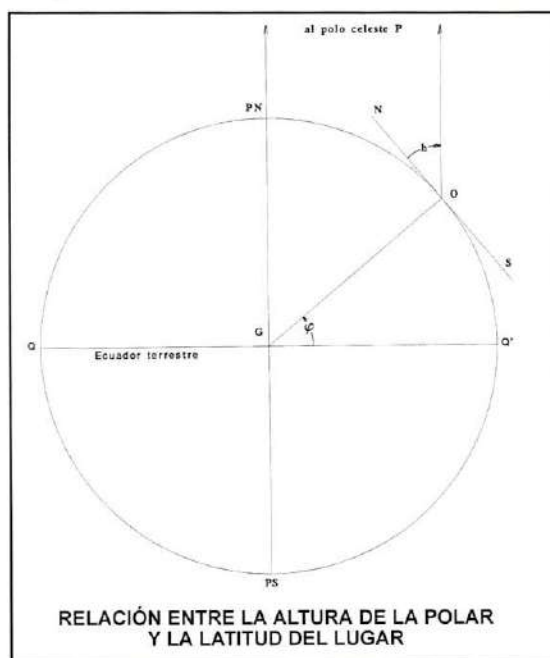


Fig. 7

Esto es una demostración matemática rigurosa que nos permite escribir un importante resultado teórico deducido del modelo de las dos esferas: **la altura del polo sobre el horizonte es igual a la latitud del lugar de observación.**

Este resultado teórico tiene muchas consecuencias. Aquí hablaremos de dos de ellas.

La primera es que tenemos a nuestra disposición un método práctico para calcular nuestra latitud: medir con un cuadrante la altura de la Polar. Así fue como se orientaron todos los navegantes desde tiempo inmemorial. Colón hizo esto para mantener sus naves siempre a 28° de latitud, midiendo por las noches la altura de «la estrella del norte» para confirmar que su posición era la correcta mientras se dirigían hacia América. Sólo muy recientemente se han sustituido los procedimientos astronómicos por otros (electrónicos) para poder calcular la posición de un punto en la Tierra.

- 4 Busca en algún mapa la latitud de tu ciudad. Mide la altura de la Polar con el cuadrante y compara los resultados. Seguramente habrá alguna discrepancia. ¿Crees que es importante? ¿A qué puede ser debida esa diferencia?

La segunda consecuencia es que podemos simular cómo ven el movimiento de los astros en otros países sin más que tener en cuenta la inclinación adecuada del eje respecto al horizonte. Haremos algunas simulaciones en la pregunta siguiente.

El movimiento de rotación en otras latitudes

- 5 Dibuja la esfera celeste en sección tal y como se vería desde San Petersburgo, ciudad rusa situada a 60° de latitud norte. Repite los mismos pasos que en la actividad 3, pero en el apartado (c) tienes que situar P de modo que el ángulo NOP mida 60° . Dibuja el paralelo de Deneb. ¿Sale y se pone esta estrella en San Petersburgo? ¿Cuál su altura máxima? ¿Y su altura mínima? Dibuja el paralelo de Fomalhaut. ¿Qué ocurre? ¿Se ven más estrellas desde Madrid o desde San Petersburgo? ¿Cuál es la declinación del paralelo que separa las estrellas siempre visibles de las que salen y se ponen, visto desde San Petersburgo?
- 6 Dibuja la esfera celeste en sección tal y como se vería desde Caracas, la capital de Venezuela, que está situada a 10° de latitud norte. Dibuja los paralelos de Dubhe (α de la Osa Mayor), Betelgeuse y Fomalhaut. ¿Alguna de ellas es siempre visible? ¿Alguna pasa por el cenit de Caracas?

Antiguos y modernos

Como sabes perfectamente es la Tierra la que gira sobre su eje en 24 horas provocando ese movimiento aparente de la esfera celeste. Sin embargo hay que hacer dos precisiones:

(a) En cuanto a las observaciones de los movimientos celestes, da absolutamente igual considerar la Tierra en reposo y la esfera celeste girando de este a oeste, que la alternativa de suponer la esfera celeste inmóvil y la Tierra rotando de oeste a este. En ambos casos veríamos lo mismo: los dos modelos son equivalentes y ambos igualmente válidos y rigurosos.

(b) Para explicar, comprender y visualizar claramente los movimientos del cielo, tal y como los vemos nosotros, es mucho más cómodo y seguro utilizar la primera alternativa: la Tierra fija y la esfera celeste girando sobre su eje.

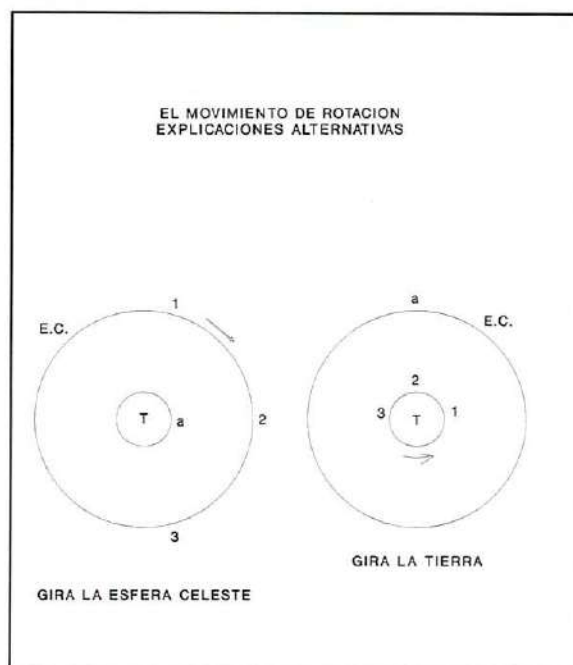


Fig. 8



1. El meridiano de Greenwich, ¿es un elemento universal o local? ¿Destaca de los demás de forma natural?
2. Si extiendes un brazo de forma que apunte hacia el polo norte de la Tierra, ¿tienes que poner el brazo horizontal, hacia arriba o hacia abajo? (Mira la figura 7).
3. Los paralelos celestes, ¿son elementos universales o locales?
4. Fíjate en la ilustración 5. ¿Cuál de esos paralelos crees que se parece más al que recorre el Sol?
5. ¿Cuál es la menor declinación posible que tiene que tener una estrella para ser siempre visible desde un lugar situado a 40° de latitud norte?
6. Localiza en una guía algunas de las estrellas y constelaciones que nunca podemos ver desde nuestras latitudes.
7. ¿Cuál es la declinación que tiene que tener una estrella para que pase por el cenit de San Petersburgo? ¿Y por el de Caracas?
8. Sabemos que desde cierto lugar de la Tierra se observa que Mirfak (α Persei) pasa por el cenit. ¿Cuál es la latitud de ese lugar? ¿Qué capital europea podría ser?

RELOJES DE SOL

No es muy difícil medir longitudes: una barra con dos marcas en los extremos puede servirnos como unidad. La podemos transportar y hacer copias idénticas para que otros la utilicen igual que nosotros. Pero ¿cómo medir el tiempo, esa magnitud tan intangible, que siempre transcurre hacia delante, y sin embargo tan familiar? ¿Cómo construir una unidad de tiempo? Los fenómenos astronómicos, que marcan nuestro ritmo vital, fueron los primeros relojes en todas las culturas: el día se dividía en varias partes según el curso del Sol y, por la noche, la circulación de las estrellas, su salida o su puesta, señalaban el momento propicio para hacer el relevo de la guardia, para retirarse a descansar o para comenzar a preparar las faenas de una nueva jornada de duro trabajo. Los relojes de Sol fueron los primeros instrumentos astronómicos y, por su necesidad y su belleza, alcanzaron una gran difusión: en todos los campanarios había uno y las ciudades rivalizaban por poseer el más preciso y el más llamativo. En los relojes de sol se reúnen la Ciencia, el Arte y la Tecnología, los conocimientos cosmográficos acumulados a lo largo de los siglos de atenta observación del cielo, la imaginación y la creatividad inagotables del espíritu humano para diseñar, dibujar y decorar y la habilidad para utilizar y modelar diferentes materiales.

Partes de un reloj de Sol

Todos los relojes de sol, como el de la fotografía, constan de dos piezas: una barra (el **estilete** o **gnomon**) convenientemente orientada y una superficie (el **limbo**) donde se proyecta la sombra del estilete y donde deben estar marcadas las líneas horarias (a menudo aparecen otras líneas más complicadas).

El limbo puede diseñarse de muchas maneras. Puede ser una superficie plana horizontal, vertical o inclinada de diferentes modos y con distintas orientaciones (hacia el sur, hacia el este). También puede ser una superficie curva, como un cilindro o una esfera. Los diferentes tipos de relojes de Sol dependen sobre todo de la elección que se haga del limbo.

Desde la Tierra vemos cómo el Sol, desde que sale hasta que se pone, describe un paralelo celeste por el que avanza con toda regularidad, como todos los astros situados en la esfera celeste. El Sol da una vuelta completa (360°) en un día (24 horas), así que cada hora recorre 15° girando, como toda la esfera celeste, alrededor del eje del mundo. Si se coloca una barra **paralela al eje de la Tierra** y un plano perpendicular a esa barra, las sombras de ésta avanzarán sobre el plano con la misma regularidad que el Sol: cada hora la sombra se desplazará 15° .

Éste es el fundamento de todos los relojes de Sol y, en particular, del más sencillo: el ecuatorial. El principio básico es que el estilete quede paralelo al eje del mundo o, dicho de otra manera, que apunte al polo norte celeste: tiene que estar orientado hacia el norte y debe estar levantado un cierto ángulo, justo el correspondiente a la latitud ϕ del lugar en el que estemos.

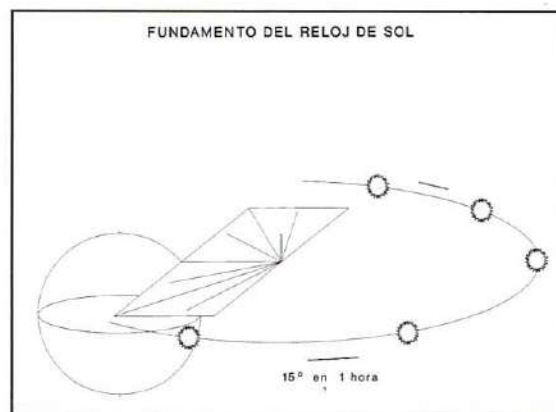
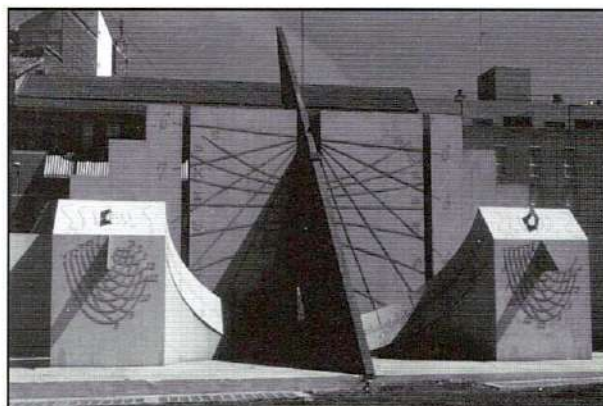


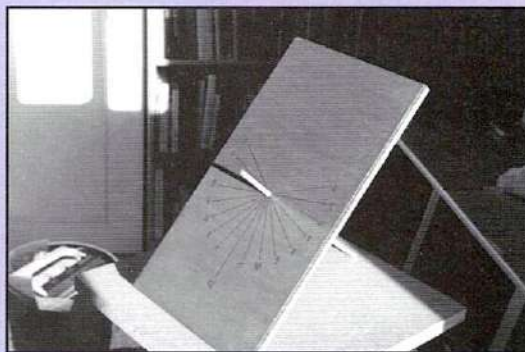
Fig. 1



1 (*)

Ecuatorial plano:

Sobre una plancha cuadrada de unos 20x20 cm de madera fina o cartón pluma, señala el centro y traza líneas de 15° en 15° en las dos caras del tablero. Haz un taladro en el centro y atraviesa el tablero con una varilla de madera fina (una espiga). La varilla tiene que quedar perpendicular al tablero y sólidamente sujeta. Además debe sobresalir lo justo para que al apoyarlo todo en el suelo,



como puedes ver en la fotografía, la varilla quede con una inclinación igual a la latitud (tendrás que buscar la latitud de tu localidad en algún mapa).

Gradúa las líneas horarias como se indica en la fotografía y, por último, orienta el reloj de manera que la varilla apunte hacia el norte.

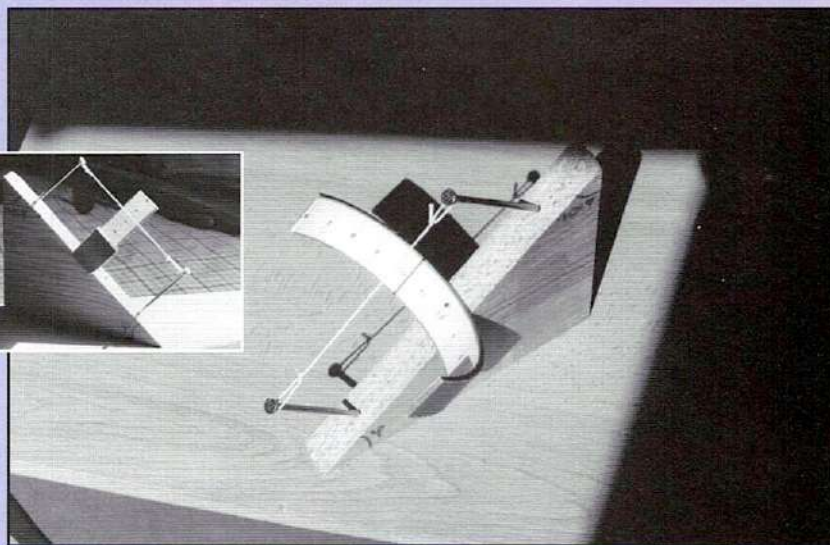
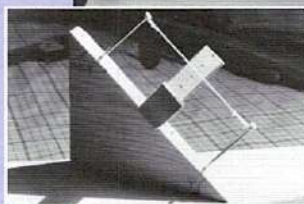
Ya tienes construido tu primer reloj de Sol. Este tipo recibe el nombre de ecuatorial plano. ¿Por qué se llama así? Si la varilla queda paralela al eje de la Tierra, ¿a qué plano queda paralelo el tablero?



2 (**)

Ecuatorial anular:

Intenta conseguir en una fontanería un resto de tubo de PVC (el que se utiliza para las tuberías) que tenga entre 10 y 15 cm de diámetro. Corta un anillo de 2 cm de grosor y córtalo por la mitad. Una mitad va a ser el limbo y la otra te sobra. Corta una tira de papel que se ajuste a la cara interior del semianillo de PVC y divídela en doce partes iguales, señalando las marcas correspondientes, que van a ser las líneas horarias: las de la mañana a la izquierda; las 12 del mediodía, en el centro; y las de la tarde, a la derecha.



De una pieza de madera gruesa (aglomerado de 19 mm, por ejemplo) corta un triángulo rectángulo de forma que uno de sus ángulos agudos coincida con la latitud. La hipotenusa tiene que medir unos 15 cm, y en cada uno de sus extremos vas a colocar dos clavos largos que sobresalgan bastante. Ata un hilo grueso en las cabezas de los

clavos de forma que quede tirante. El hilo tiene que quedar paralelo a la hipotenusa y separado de ella por una distancia igual al radio del tubo de PVC.

Clava el semianillo de PVC sobre la hipotenusa, como se ve en la fotografía, y pega sobre aquél la tira de papel con las marcas horarias. El hilo, que es el estilete, tiene que pasar por el centro del semianillo de PVC. Si no fuera así, mueve un poco los clavos hasta que consigas que el hilo quede como conviene.

(Para más detalles: Arribas, Rivière; *Taller de Astronomía*, Ed. Equipo Sirius)

Reloj horizontal-ecuatorial-vertical

Hasta ahora, las principales dificultades han sido tecnológicas, de construcción, pero el trazado de las líneas horarias ha sido bastante sencillo. Cuando el limbo no es ecuatorial, este trazado resulta un poco más complicado y casi todo el trabajo es de dibujo.



3 (**)

Vamos a describir por partes la construcción de un reloj de Sol triple (horizontal, ecuatorial y vertical).

Lo primero que hay que hacer es dibujar un triángulo rectángulo, como el de la figura 2 (recuerda que φ es la latitud). Hazlo de manera que la longitud del segmento e sea 4 cm. Mide (o calcula utilizando trigonometría) las longitudes d , h y v .

Fíjate ahora en la figura 3. Vas a repetir esos dibujos sobre una cartulina de tamaño folio o DIN A4 (unos 30x21 cm) tal y como aparecen en ella, es decir, el rectángulo abajo, casi en el borde, y la otra figura en la parte de arriba. De momento hazlo todo a lápiz. Dibuja el contorno del rectángulo con las dimensiones de e , h y v que has medido antes.

(a) Dibuja la línea recta HOV por el centro del rectángulo así como las transversales H_1H_2 , E_1E_2 y V_1V_2 .

(b) Con centro en O y de 15° en 15° , traza todas las líneas horarias en el cuadrado central ($V_1V_2H_1H_2$, que va a ser el limbo ecuatorial).

(c) Para dibujar las líneas horarias en el limbo vertical une los puntos extremos de las líneas horarias ecuatoriales en la línea V_1V_2 con el punto V. Aquí se presenta una dificultad: las líneas desde las

TRIÁNGULO BASE PARA EL RELOJ
HORIZONTAL-ECUATORIAL-VERTICAL

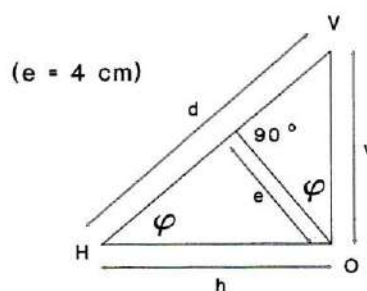


Fig. 2

ESTILETE Y LIMBOS

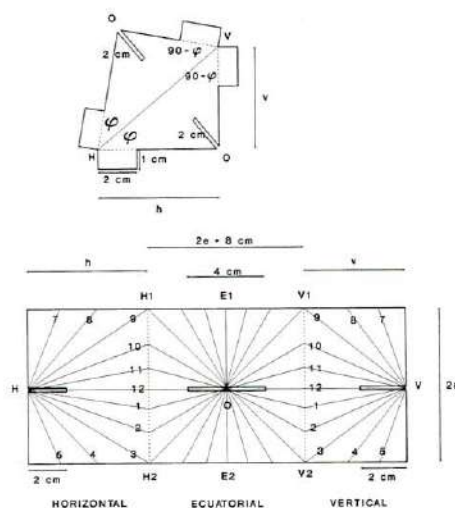


Fig. 3

9 de la mañana hasta las 3 de la tarde no ofrecen problema, pero ¿y las demás? Tienes que prolongar la línea V_1V_2 hacia arriba, alargar las líneas horarias de las 7 y de las 8 ecuatoriales, hasta que lleguen a la recta V_1V_2 ampliada, y unir el punto obtenido con el V. Como la figura es simétrica respecto a la línea de las 12 (la línea central VOH), traza ahora, por simetría, las líneas horarias de las 4 y de las 5 en el reloj vertical.

(d) Repite lo mismo que en (c) para el limbo horizontal.

(e) Dibuja los rectángulos alargados que hay sobre la línea VOH. Tienen que medir unos 2 mm de anchura. Son las ranuras para encajar después el estilete.

Ahora dibuja todas las líneas con bolígrafo o rotulador. Trázalas igual que en la figura 3, tanto las continuas (finas o gruesas) como las discontinuas.

Dibuja ahora el rombo, que será el estilete de tu reloj, con las dimensiones y ángulos que aparecen en la parte de arriba de la figura 3.

Ahora vas a recortar las dos piezas. Hay que hacerlo por las líneas gruesas. Las finas o las discontinuas son para doblar, no para cortar.

(a) Recorta el contorno del rectángulo y las ranuras que hay en V y en H.

(b) Dobla por la línea E_1E_2 , de manera que todos los dibujos queden por fuera. Una vez que hayas doblado por la línea E_1E_2 , los puntos V y H no tienen que coincidir. Esta línea no está en el centro porque h mide más que v. Con el rectángulo doblado te será más fácil recortar la ranura central.

(c) Dobla por las líneas V_1V_2 y H_1H_2 hasta que te quede como en la figura 4.

(d) Recorta el rombo siguiendo las líneas gruesas y dóblalo por la diagonal VH. Dobla también hacia fuera las cuatro 'solapas' que miden 1x2 cm.

Para el montaje final del reloj vas a pegar entre sí las dos mitades del limbo ecuatorial, que han quedado superpuestas al doblarlo. Pega también las dos mitades del rombo una con otra, con lo que te quedará un triángulo rectángulo, que va a ser el estilete del reloj; pero no pegues las solapas.

Ahora fíjate en la fotografía y encaja las dos piezas. Las solapas que hay en el estilete tienen que pasar a través de las ranuras que hay en el limbo, en los puntos V y H. Una vez que hayan pasado, dóblalas y pégalas a la parte trasera de los limbos.

Sólo falta orientar el reloj de manera que el borde del estilete apunte hacia el polo norte celeste y mirar la hora observando entre qué líneas horarias está la sombra.

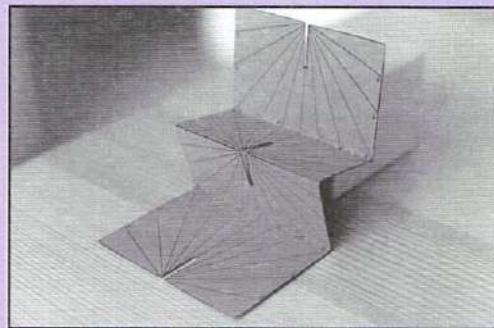
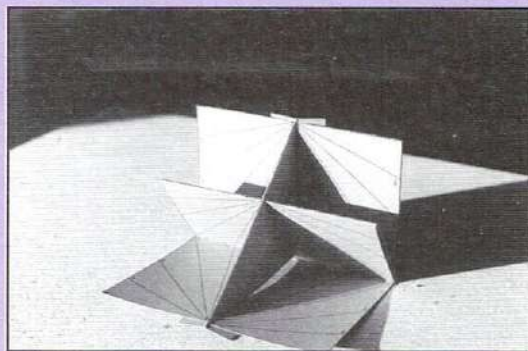


Fig 4



La longitud geográfica y la hora solar

Los relojes de Sol señalan la hora local, lo que se llama hora solar verdadera. Esta hora es diferente para lugares situados en distinta longitud geográfica.

En la figura 5 se representan la Tierra y el Sol como si pudiéramos verlos desde muy por encima del Polo Norte. En la Tierra hay señalados tres lugares a, b y c, que tienen diferente longitud geográfica.

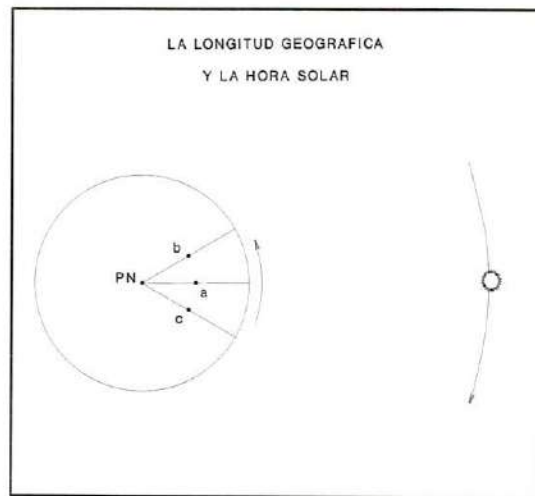


Fig 5

1 Con respecto al punto a, ¿dónde está el punto b, al este o al oeste? ¿Y el punto c? Ya sabemos que, a efectos de lo que estamos viendo, es igual considerar que la Tierra rota sobre su eje o que es el Sol el que avanza por el cielo. En la ilustración se indica con una flecha el sentido de rotación de la Tierra o el equivalente del Sol. Tal y como está la figura, el Sol aparece justo en el meridiano del punto a, por lo que allí son las 12 hora solar: en el lugar a los relojes de sol señalarán las 12 en punto. ¿Qué hora marcará un reloj de Sol situado en b? ¿Ha pasado ya el Sol por el meridiano de b o todavía no? ¿Y en c?

2 Si en Londres un reloj de Sol marca las 12 en punto, ¿qué hora señalará un reloj de Sol situado en un punto que esté 15° al este de Londres? ¿Y en una localidad situada 30° al oeste? Busca en algún mapa la longitud geográfica de tu localidad. ¿Qué diferencia horaria hay con el meridiano de Greenwich? ¿Qué hora solar será en tu localidad cuando en Greenwich sean las 12?

Hora solar y hora oficial

Como cada localidad tiene su propia hora solar, se han establecido unos convenios para que en cada estado la hora oficial sea la misma. Para ello se elige un meridiano como referencia; la hora oficial en ese país será la hora solar en ese meridiano. En España se ha elegido el de Greenwich. Por lo tanto, un primer desacuerdo entre la hora que marca el reloj de Sol y la oficial se debe a la diferencia de longitud respecto al meridiano de Greenwich.

3 Imagínate que estamos situados 5° al oeste de Castellón (por donde pasa el meridiano de Greenwich). Cuando nuestro reloj de pulsera marque las 12, es decir, cuando sean las 12 oficiales, ¿qué marcarán los relojes de pulsera en Castellón? ¿Y los relojes de Sol en Castellón? ¿Qué hora solar marcarán, en cambio, nuestros relojes de Sol? En esa misma población el reloj de Sol señala las 4 menos 20 de la tarde. ¿Cuál es la hora oficial?

Pero hay que hacer otras correcciones. Los gobiernos, con el fin de ahorrar algo de energía, adelantan el horario oficial una hora en otoño e invierno y dos en primavera y verano. Por eso, si el día 15 de enero un reloj de Sol en Castellón señalase las 12 horas, los relojes de pulsera indicarían la 1 de la tarde.

Y aún queda la corrección más complicada. Debido al movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol siguiendo una trayectoria elíptica, la Tierra no avanza con una velocidad absoluta-

mente constante, sino con pequeñas desviaciones que alteran un poco el cálculo de la hora. Esta corrección es muy compleja y se llama «ecuación de tiempo». En la tabla siguiente se dan sus valores aproximados a lo largo del año.

Valores aproximados de la Ecuación de Tiempo

(en minutos)

Mes	días 1 al 10	días 11 al 20	21 al 30
Enero	6	10	2
Febrero	14	14	13
Marzo	11	9	6
Abril	3	0	-2
Mayo	-3	-3	-3
Junio	-1	0	2
Julio	4	6	6
Agosto	6	4	2
Septiembre	-1	-4	-8
Octubre	-11	-14	-16
Noviembre	-16	-15	-13
Diciembre	-9	-5	0

Sin signo: añadir los minutos que se indican.

Con signo «-»: restar los minutos que se indican.

En resumen, para conocer la hora oficial a partir de la que marca el reloj de Sol es preciso hacer las siguientes correcciones:

(a) Longitud geográfica: añadir (para un lugar al oeste) o restar (para un lugar al este) la diferencia de longitud convertida en tiempo ($15^\circ = 1$ hora).

(b) Añadir una hora en otoño e invierno y dos horas en primavera y verano.

(c) Ecuación de tiempo: añadir o restar los minutos que marca la tabla anterior según la época del año.

$$\text{HORA OFICIAL} = \text{HORA SOLAR VERDADERA} + \text{CORRECCIÓN POR LONGITUD} + \text{CORRECCIÓN GUBERNAMENTAL} + \text{ECUACIÓN DE TIEMPO}$$



Miquel Palau, *Rellojes de Sol*, Biblioteca Popular Catalana, Ed. Millá, Barcelona 1977.

Rafael Soler Gayá, *Diseño y construcción de relojes de sol*, Turner Libros, Madrid, 1989.



1. ¿Cómo se llaman las dos partes principales de que consta un reloj de Sol?

2. ¿Por qué razón una varilla colocada verticalmente no es útil para los relojes de Sol?

3. La ciudad de Nueva York está situada, aproximadamente, en el meridiano 75° oeste. ¿Cuál es la diferencia horaria entre España Y nueva York?
4. Un empresario tiene que celebrar una reunión de negocios en Nueva York. Sale de madrid a las 9 de la mañana y el viaje en avión dura 8 horas. ¿A qué hora (de Nueva York) aterrizará?
5. ¿Cuánto tiempo transcurre desde que ese viajero vio salir el Sol en Madrid hasta que vuelve a verlo salir, al día siguiente, en Nueva York?
6. ¿Qué diferencia horaria tenemos con respecto al Japón? Cuando aquí son las 12, ¿qué hora es el País del Sol Naciente?
7. ¿Cuál será la hora oficial en Sevilla (longitud 6° oeste) el 15 de agosto cuando el reloj de Sol señale las 3 de la tarde?
8. ¿Cuál será la hora oficial en Bilbao (longitud 3° oeste) el 5 de febrero cuando el reloj de Sol señale las 10 de la mañana?

LA LUNA

Después del Sol, el astro que más llama la atención en el cielo es la Luna, nuestra compañera, que extiende su luz plateada rompiendo la oscuridad nocturna. Para los egipcios era la diosa Isis; los babilonios la llamaron Istar y la Selene griega era la triple diosa blanca, la gran diosa madre. El ciclo de sus fases fue el primer calendario utilizado por la Humanidad que siempre ha querido ver en su disco blanco una cara, con sus ojos y su nariz, que siempre ha soñado con alcanzarla escribiendo con pasión relatos fantásticos sobre la forma de llegar a ella, hasta que, en nuestro siglo XX, fuimos testigos del último prodigio de la aventura humana: la conquista de la Luna.

Observaciones sobre las fases lunares

La Luna tiene el aspecto de un disco circular cuya parte iluminada cambia de aspecto. La línea que separa la zona brillante de la oscura se llama **terminador**.

I Vas a hacer un diario lunar. Durante un mes observa cada día la forma de la parte iluminada de nuestro satélite. Dibuja diariamente una circunferencia (el contorno de toda la Luna) y el terminador. Anota siempre la fecha y la hora de la observación. Mientras está creciendo, su parte iluminada ¿queda a la derecha o a la izquierda? ¿Y cuando está menguando?



A medida que avanzan sus fases, se va retrasando con respecto al Sol. Cuando se produce la Luna Nueva, el Sol y ella salen y se ponen más o menos al mismo tiempo. Pero a medida que pasan los días y la Luna va creciendo, se pone cada vez más tarde, alejándose del Sol. En la siguiente tabla aparece el tiempo (en minutos) que se retrasa cada día con respecto al Sol, a partir del 5 de octubre de 1994, día de Luna Nueva.

Día	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Retraso	57	59	60	60	59	56	53	50	47	45	44	44	44	44

Estos retrasos se van acumulando, de manera que el día 8, por ejemplo, ya se había atrasado $57+59+60 = 176$ minutos = 2 horas 56 minutos. Cuando el Sol se puso, la Luna todavía tenía que recorrer casi 3 horas, es decir, le faltaban por recorrer casi 45° (1 hora = 15°).

- 2 Calcula el retraso acumulado de la Luna los días 8, 11 (Cuarto Creciente), 15 y 19 (Llena). Expresa esos tiempos como ángulos y dibuja en la lámina 6.1, dentro de la franja graduada, la posición y la forma de su parte iluminada.

Como la Luna puede observarse por la noche a la vez que las estrellas, si apuntamos su posición sobre el telón de fondo de las constelaciones podremos apreciar si ocupa una posición fija o si se desplaza entre ellas. Si tienes ocasión de hacerlo, obsérvala por la noche y anota su posición en los mapas de las láminas 6.3 A y 6.3 B.

De cualquier modo, con la tabla siguiente podemos reproducir estas observaciones. En la tabla aparecen las coordenadas de la Luna durante el mes de octubre de 1994.

día	5	8	11	15	19	23	27	30	3 nov
fase	LN		CC		LL		CM		LN
A.R.	12 29	15 27	18 30	22 03	1 09	4 23	7 45	10 18	13 59
δ	-6°	-18°	-19°	-7°	+10°	+19°30'	+16°	+5°	-13°

- 3 Sobre los mapas de las láminas 6.3 A y 6.3 B dibuja la Luna en la posición y con la fase que vienen en la tabla anterior. Los dos mapas van, en realidad, unidos por la línea de las 12 horas de ascensión recta y por la de las 24 horas que coincide con la de las 0 horas. Forman como un cinturón de la esfera celeste centrado en el ecuador.

¿Cuántos días han transcurrido entre la primera Luna Nueva y la siguiente? ¿Por delante de qué constelaciones ha ido pasando nuestro satélite? ¿Coinciden siempre las mismas fases en las mismas constelaciones?

- 4 Las fechas de la Luna Nueva a lo largo de 1996 son 20-I, 18-II, 19-III, 17-IV, 17-V, 16-VI, 15-VII, 14-VIII, 12-IX, 12-X, 11-XI y 10-XII. Averigua la duración media del ciclo de las fases. Ten en cuenta que 1996 es un año bisiesto.

Explicaciones de los fenómenos

La Luna da una vuelta alrededor de la Tierra en un mes, y la posición relativa de ambos cuerpos y del Sol tiene como efecto que desde la Tierra sólo podamos ver una porción de la mitad de la Luna que ilumina el Sol, produciéndose así las fases. La órbita lunar permite explicar todos los fenómenos que se han descrito en este tema.

Los antiguos se imaginaban que la Luna era un ser vivo que iba creciendo hasta alcanzar su plenitud en la fase Llena, para ir decayendo hasta morir y renacer de nuevo cada mes. Por eso hablaban de la **edad de la Luna**, contando los días desde la Luna Nueva. Por ejemplo (tabla de la actividad 3), el Cuar-

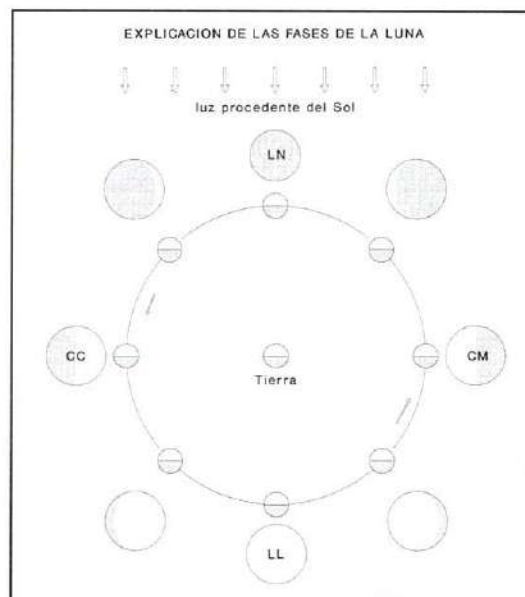


Fig. 1

to Creciente del día 11 de octubre de 1994 sucedió cuando su edad era de 6 días. ¿Cuál era su edad en la siguiente Luna Llena?

A medida que avanza por su órbita, la Luna se va alejando del Sol. A los tres días de edad, el ángulo Sol-Tierra-Luna es de unos 40° ó 45° . A los 7 días de edad, se llega, más o menos, al Cuarto Creciente con nuestro satélite situado 90° a la izquierda del Sol. Éste es el retraso que has visto en la actividad 2.



1 (**)

Las fases de la Luna se pueden simular utilizando una esfera que tenga una mitad blanca y otra negra. Puede ser de porexpán grande (unos 25 cm de diámetro). De ese tamaño se venden por mitades. Pinta una de las semiesferas de negro con témperas y luego pega entre sí las dos semiesferas. Para simular las fases de la Luna, como se ve en



la fotografía 2, alguien que lleve la esfera en la mano tiene que ir 'orbitando' a nuestro alrededor manteniendo siempre el terminador vertical y la mitad blanca dirigida hacia un mismo sitio, que sería el lugar supuesto desde donde vendrían los rayos solares. Desde el centro se va viendo en la esfera la misma secuencia de formas que en las fases lunares.

Con este modelo es relativamente fácil advertir que el terminador, visto desde la Tierra, se nos aparece siempre como una elipse puesto que es una circunferencia vista en perspectiva. Lo mismo ocurre cuando, sentado en la mesa, miras el borde circular de un vaso o de una taza. Sabes que es circular, pero no ves un círculo, sino una elipse.

A los imaginarios habitantes de la Luna se les llama «selenitas», palabra que deriva de la diosa Selene de la mitología clásica. ¿Cómo verían los selenitas la Tierra? Los astronautas de la misión Apollo pudieron comprobar por sí mismos que la Tierra tiene fases vista desde la Luna. Esto es lógico si miras la figura 1. ¿Qué fase de la Tierra hay en Luna Llena? ¿Y en Luna Nueva?

En las noches de Luna Llena la oscuridad no es total. La luz que nos llega de nuestro satélite ilumina algo la superficie terrestre. La Tierra llena es mucho más brillante que la Luna Llena. Por eso en los primeros días del creciente lunar, cuando tiene 2 ó 3 días de edad, se observa una tenue luminosidad, llamada **luz cenicienta**, en su zona oscura. Es la luz de la Tierra llena (o casi llena) que consigue iluminar un poco el hemisferio nocturno de la Luna.

Existe la creencia común de que la Luna sólo se puede ver de noche. Nada más lejos de la realidad. En ciertas fases, es posible observarla a plena luz del día. Seguramente ya lo habrás comprobado. Hay una relación precisa entre la fase de la luna y la **hora a la que es visible**, como se vio en la actividad 2. Esta relación puede explicarse también teniendo en cuenta la órbita lunar (figura 1).

- 5 La lámina 6.2 es un semicírculo de visibilidad sur. En vez del ecuador hay una franja ecuatorial, en la que vas a situar al Sol y a la Luna. Supongamos que tiene una edad de 3 días (creciente, pero sin llegar aún al cuarto), es decir, que está situada unos 45° a la izquierda del Sol (figura 1). Esto implica que, durante ese día, la Luna efectúa su recorrido diurno de este

a oeste 45° por detrás del Sol (lo que equivale a 3 horas). Por término medio, el Sol sale a las 6 de la mañana, pasa por el meridiano a las 12 y se pone a las 6 de la tarde. Dibuja también las posiciones de la Luna a esas mismas horas. ¿A qué hora crees que habrá salido la Luna? ¿A qué hora se pondrá?

Dibuja otro semicírculo como el de la lámina 6.2 y repite estas operaciones en Cuarto Creciente, en Luna Llena y en Cuarto Menguante. Averigua, aproximadamente, las horas a las que la Luna es visible en esas fases.

Mareas

En los puertos de las costas oceánicas se observa la subida y bajada de las aguas del mar, fenómeno que se produce con un ritmo bastante complicado. Por término medio, hay dos mareas altas y dos mareas bajas cada día, pero con algo de atraso, de forma que un ciclo completo dura algo más de 24 horas. Ya se ha visto, en la actividad 2, que la Luna se retrasa un poco de un día para otro. En la tabla adjunta tienes, para el mes de octubre de 1994 en Santander, los retrasos diarios (en minutos) en el ciclo de las mareas y en la hora del paso meridiano de nuestro satélite.

día	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
marea	54	45	42	41	41	43	44	48	53	61	72	81	74	60	48	40	36	33	31	31
Luna	50	51	53	54	57	59	60	60	59	56	53	50	47	45	44	44	44	44	45	46

día	22	23	24	25	26	27	28	29	30
marea	31	33	36	42	52	69	82	75	60
Luna	48	48	48	48	49	48	48	49	51

6 Comenta esta tabla, indicando lo que te llame la atención. Calcula el retraso medio en el ciclo de las mareas y el retraso medio de la Luna.

Basándose en muchas observaciones de este tipo, Newton fue el primero que relacionó el fenómeno de las mareas con la Luna y les dio una explicación satisfactoria.

Como la Luna está tan cerca de la Tierra, se nota una pequeña diferencia en su tirón gravitatorio sobre ésta. El tirón es más potente en los puntos de la superficie terrestre que están más cerca de ella y menor en los lugares más alejados.

En la figura 2 está dibujada una hipotética Tierra en reposo (círculo 1, de centro G). Si toda ella fuera atraída por igual se convertiría, sin más, en el círculo 2, igual que el 1 pero con el centro en G', desplazado

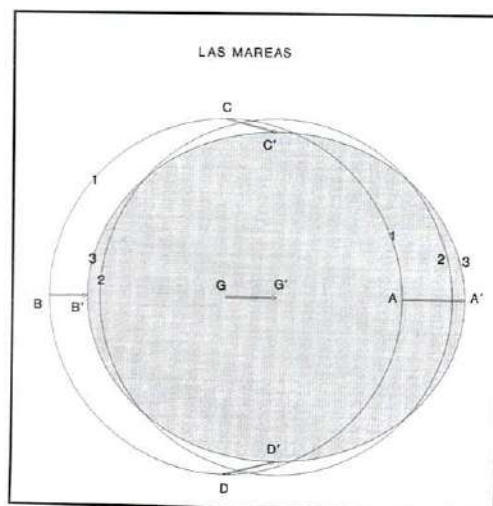


Fig. 2

hacia la Luna. Sin embargo, las diferentes atracciones hacen que el punto A se vaya para la derecha algo más de lo normal; el punto B, en cambio, se desplaza algo menos; C queda un poco más bajo; y D un poco más alto, con lo que el ideal círculo 2 se convierte en la figura real que es la elipse 3.

Esta deformación se nota mucho más en los fluidos que en los sólidos. Por ello el agua del mar sube o baja con respecto a la corteza terrestre sólida, provocando las mareas.

La Luna como satélite

La órbita de la Luna alrededor de la Tierra es una elipse, por lo que su distancia no es constante. La distancia media es de 384.000 km y tarda en dar una vuelta completa en torno a la Tierra 27 días y 8 horas (mes sidéreo, diferente del ciclo de las fases o mes sinódico, ver actividad 3).

- 7** Sabiendo que el diámetro angular de la Luna es de $\frac{1}{2}^\circ$, vamos a calcular su tamaño. Fíjate en la figura 3. ¿Cuál es la longitud de la órbita lunar (supongamos, para simplificar, que es una circunferencia)? Si la Luna ocupa $\frac{1}{2}^\circ$, ¿cuántas lunas caben a lo largo de su órbita completa (360°)? ¿Cuál es el diámetro de la Luna en km?



2 (*)

El diámetro de la Tierra es de 12.740 km. Utilizando bolas de corcho o de plastilina representa a la misma escala la Tierra y la Luna. Si, por ejemplo, la Tierra es una bola de 6 cm de diámetro, ¿qué diámetro debe tener la esfera que represente a la Luna? ¿A qué distancia de la bola-Tierra deberíamos colocarla para conservar la misma escala?

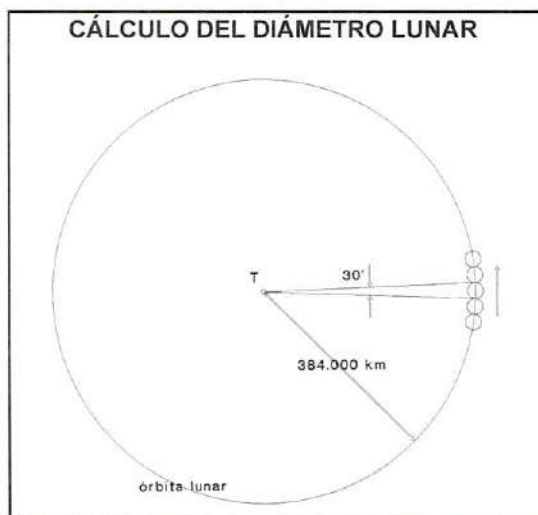
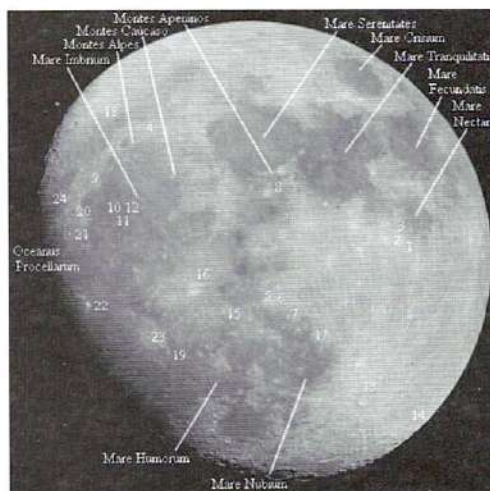


Fig. 3

Principales Cráteres

1 Catalina	9 Platón	17 Muro Recto
2 Cirilo	10 Arquímedes	18 Valle alpino
3 Teófito	11 Autólico	19 Gassendi
4 Aristóteles	12 Aristilo	20 Aristarco
5 Ptolomeo	13 Tycho	21 Herodoto
6 Alfonso	14 Clavius	22 Kepler
7 Arzachel	15 Fra Mauro	23 Grimaldi
8 Hyginus	16 Copérnico	24 Schröeter

- 8** Observa la Luna con prismáticos o con un telescopio. Con ayuda del mapa de la fotografía, identifica los cráteres y los mares que vayas localizando. Observa sobre todo la zona del terminador, que es donde mejor se aprecia el relieve, pues allí el Sol está saliendo (Cuarto Creciente) o poniéndose (Menguante), la luz llega tangencialmente a la superficie lunar y las sombras son muy alargadas. A veces es posible ver algún punto de luz aislado cerca del terminador, pero dentro del hemisferio nocturno: son picos muy altos que reciben la luz del Sol mientras en las llanuras próximas es de noche.



En su superficie se distinguen dos tipos de accidentes: los cráteres y los «mares». Los cráteres, causados por el choque de algún meteorito, predominan en las zonas más claras de la Luna. Son circulares, rodeados de un borde montañoso y, a veces, tienen un pico central.

Los «mares» son más oscuros (por eso se los llamó así); están formados por coladas de basalto que se produjeron también por impactos de meteoritos, pero de tamaño tan grande que, en su choque con ellos, la corteza se fundió en el lugar del impacto y parte del magma volcánico provocado se derramó sobre la superficie. Si te fijas, en algunos mares (Imbrium, Crisium) se aprecia claramente un contorno circular un poco camuflado por otros cráteres posteriores.

Una observación continuada permite comprobar que siempre vemos los mismos accidentes lunares, la misma «cara» de la Luna. Esto es consecuencia de que la rotación lunar alrededor de su eje está sincronizada con su traslación alrededor de la Tierra, de manera que a medida que avanza por su órbita gira sobre sí misma justo lo suficiente como para no dejarnos nunca ver su **cara oculta**.

La estación soviética Luna-3 rodeó nuestro satélite en 1959 y consiguió realizar las primeras fotografías de esta cara oculta. Resulta llamativo que en ella no haya casi ningún «mar». Según lo que vimos antes, parece que los grandes meteoritos tuvieron una clara tendencia a incidir sobre la cara visible, seguramente debido a la atracción de la Tierra.

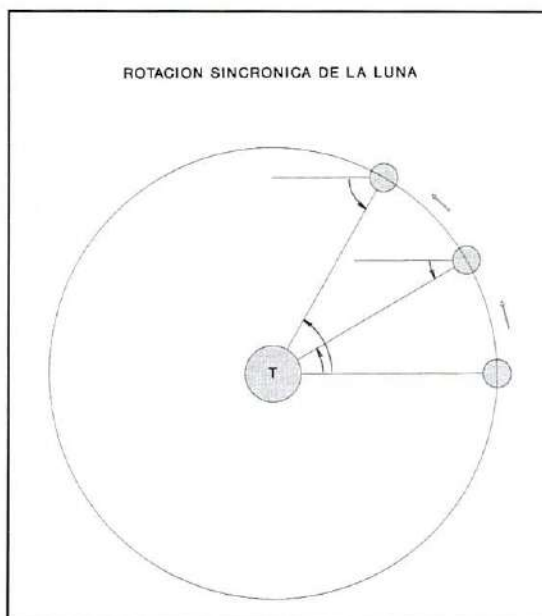


Fig 4

El 31 de enero de 1966 se produjo el primer alunizaje suave (en el Oceanus Procellarum) de una cápsula espacial, la Luna-9. Finalmente, el 16 de julio de 1969 los astronautas de la nave Apollo 11 dieron los primeros pasos humanos por la superficie lunar, cerca del Mare Tranquilitatis. Desde entonces otras misiones, tripuladas o no, han realizado experimentos, han colocado instrumentos científicos en la superficie lunar y han recogido y transportado a la Tierra muestras de rocas lunares para su análisis, con el fin de conocer mejor la estructura, origen y evolución de nuestro satélite.



Colin A. Ronan, *Los amantes de la Astronomía*, Ed. Blume



1. Si una noche ves que la Luna se pone a las 9 de la tarde, ¿hacia qué hora crees que se pondrá al día siguiente?
2. Una noche vemos salir a la Luna casi Llena, salvo una franja oscura a su derecha. ¿En qué fase está?

3. ¿En qué fase tiene que estar la luna para que pueda ser observada durante el día?
4. ¿A qué horas, aproximadamente, sale y se pone la Luna cuando está en Cuarto Menguante?
5. ¿Por qué razón hay dos mareas altas y dos bajas cada 25 horas?
6. En el Mediterráneo las mareas apenas se notan. ¿Cuál crees que es la causa?
7. Cuando la Luna está en Cuarto Creciente, ¿en qué fase se puede ver la Tierra desde la Luna?
8. El diámetro angular del cráter Copérnico es de $40''$ (recuerda que $1^\circ=60'$ y que $1'=60''$). ¿Cuál es el tamaño de ese cráter en km?

LAS CUATRO ESTACIONES

El Sol parece moverse a lo largo de la eclíptica aproximadamente un grado por día respecto a las estrellas, de forma que al cabo de poco más de 365 días ha vuelto a la misma posición en el cielo. Su trayectoria le lleva a través de un cierto número de constelaciones, o grupos de estrellas, que forman como un cinturón alrededor del cielo llamado zodíaco. De hecho, debe ser destacado que el Sol atraviesa catorce constelaciones en cada vuelta por la eclíptica, siendo las constelaciones extra Ophiucus, el portador de la serpiente, y, brevemente, Cetus, la ballena.

D. Tattersfield, Projects and demonstrations in Astronomy.

Las observaciones

El ciclo de las estaciones fue conocido desde siempre. Numerosas tribus primitivas contaban el transcurrir del tiempo mediante el ciclo de las fases lunares para cortos períodos o mediante el ciclo solar de inviernos y veranos para períodos más largos. Todos sabemos que en verano el Sol sale muy pronto y se pone muy tarde. A mediodía cae a plomo sobre la Tierra y hace un calor insoportable. En invierno, en cambio, sucede todo lo contrario.

Estas observaciones ingenuas pueden reproducirse, con algo más de precisión, mediante el planisferio. Para averiguar la posición que ocupa el Sol en el planisferio un día cualquiera hay que (a) situar el planisferio para ese día a las 12 (hora solar: la que viene marcada en la parte transparente, sin ninguna corrección); (b) el Sol se encuentra en la intersección entre el meridiano (línea norte-cenit-sur de la parte móvil) y la eclíptica (línea excéntrica en la parte fija). Por ejemplo, el 15 de febrero el Sol está situado muy cerca del extremo de la constelación de Capricornus, un poco hacia el norte respecto a la estrella de 3ª magnitud que señala el final de Capricornus, ya cerca de Aquarius. Fíjate en que está más cerca del horizonte que del cenit, es decir, el Sol está más bien bajo.

Ese día el Sol hará lo mismo que esa estrella. Moviendo la parte transparente puedes averiguar a qué hora salió dicha estrella (y, por tanto, el Sol): gíralo hasta que esa estrella esté sobre el horizonte este. ¿Qué marca horaria coincide con la fecha 15 de febrero? Más o menos las 7 de la mañana. Ésa es la hora aproximada a la que salió el Sol. La hora de puesta por el horizonte oeste será, poco más o menos, las 17, o sea las 5 de la tarde (hora solar).

1 Averigua la posición del Sol, identifica la estrella más cercana y su hora de salida y puesta los siguientes días: 22 de agosto, 3 de noviembre, 30 de diciembre y 24 de junio.

¿En qué constelación estaba el Sol el día de tu nacimiento? ¿Coincide con tu signo del Zodíaco o ha resultado ser una constelación próxima? Comprueba si a tus compañeros también les ha ocurrido algo parecido.

2 Dibuja un semicírculo de visibilidad sur y traza en él, con ayuda del planisferio, el recorrido aparente del Sol, desde que sale hasta que se pone, los días 22 de agosto y 30 de diciembre. Fíjate en los puntos del horizonte por donde sale y se pone.

- 3** Con ayuda del planisferio confecciona una tabla con cuatro columnas: (a) fecha, (b) hora de salida del Sol, (c) hora de puesta del Sol y (d) número de horas de luz. En la columna (a) vas a poner 12 fechas, los días 20 de cada mes.

Haz tres gráficas con los datos de esa tabla, en los mismos ejes. En el eje x pon las fechas y en el eje y, las horas. La primera gráfica corresponderá a los datos de la columna (b), la 2ª a los de la (c) y la 3ª a la duración del día que viene en la columna (d).

¿Qué día sale el Sol más pronto? ¿Qué día se pone antes? ¿Cuál es el día mas corto y el más largo?

- 4** Ahora vas a elaborar otra tabla, esta vez con tres columnas: (a) fechas, (b) declinación del Sol y (c) ascensión recta del Sol, siempre con la ayuda del planisferio. En la columna (a) vuelve a poner las mismas 12 fechas que antes, los días 20 de cada mes.

Ya has utilizado las láminas 6.3 A y B (en la actividad 3 del tema anterior) para ver cuál era el recorrido de la Luna a través de las constelaciones. Pues ahora vas a hacer lo mismo, pero para el Sol. Sitúa las posiciones de éste sobre esas láminas por sus coordenadas, que acabas de obtener. Une los puntos trazando una línea continua.

¿Por delante de qué constelaciones parece avanzar el Sol? ¿Sabes cómo se llama al conjunto de esas constelaciones?

¿Cuál es la máxima declinación del Sol a lo largo del año? ¿Qué día está el Sol más «alto»?

¿Cuál es la mínima declinación? ¿Qué día sucede?, es decir, ¿qué día está más «bajo»?

- 5** Esta vez no va a hacer falta el planisferio. En la siguiente tabla se dan la altura del Sol a mediodía y la temperatura media en grados centígrados.

fecha	20 I	20 II	20 III	20 IV	20 V	20 VI	20 VII	20 VIII	20 IX	20 X
altura	30	39	50	61	70	73	70	62	51	40
temp.	4	7	10	13	18	21	25	25	18	13
fecha	20 XI	20 XII								
altura	30	26								
temp.	8	5								

Construye dos gráficas distintas, en diferentes ejes, para representar las dos funciones que aparecen en la tabla: fecha → altura meridiana del Sol y fecha → temperatura media.

¿En qué fecha está el Sol más «bajo»? ¿Qué otras cosas suceden ese mismo día, conforme a lo visto en las actividades precedentes?

¿Cuál es el día más caluroso del año? ¿Coincide con el día más largo?

Las explicaciones

Hasta aquí hemos recogido y sistematizado muchas observaciones que ponen de manifiesto la existencia de un ciclo solar. Es el momento de encontrar una explicación sencilla de todas ellas, un marco teórico que permita hacer frente a todo lo que hemos ido recopilando.

Visto desde la Tierra, el Sol se mueve a lo largo del año pasando por delante de las doce constelaciones del Zodíaco: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpius, Sagittarius, Capricornus, Aquarius y Pisces. El Zodíaco forma como una banda, como un cinturón, que está inclinado con respecto al ecuador celeste.

Al moverse el Sol lentamente siguiendo el orden de las constelaciones zodiacales, su declinación va cambiando. Desde Pisces hasta Leo, el Sol está por encima del ecuador y tiene declinación positiva o norte. Desde Virgo hasta Aquarius, en cambio, el Sol queda por debajo del ecuador.

La línea central del Zodíaco, que es la trayectoria aparente del Sol a lo largo del año respecto a las estrellas, se llama **eclíptica**. Los puntos en los que la eclíptica corta al ecuador corresponden a los días en los que el Sol está en el ecuador ($\delta=0^\circ$) y se llaman **equinoccios**. Los días en los que el Sol alcanza su declinación extrema se llaman **solsticios**. Así, el ciclo anual queda dividido en cuatro etapas naturales:

PRIMAVERA, desde el equinoccio de primavera (21 III) al solsticio de verano (22 VI)

VERANO, desde el solsticio de verano al equinoccio de otoño (22 IX)

OTOÑO, desde el equinoccio de otoño al solsticio de invierno (22 XII)

INVIERNO, desde el solsticio de invierno al equinoccio de primavera.

Uno de los puntos en los que la eclíptica corta al ecuador, el correspondiente al equinoccio de primavera, es el que se toma como origen para la medida de la ascensión recta. El meridiano 0 es, por convenio, el que pasa por el equinoccio de primavera.

Durante un día cualquiera el recorrido aparente del Sol por encima del horizonte, desde que sale hasta que se pone, es el normal de cualquier estrella, arrastrado por el movimiento general de la esfera celeste de este a oeste. El Sol describirá cada día el paralelo celeste que le corresponda según su declinación.

En la figura 2 se representan las trayectorias diurnas del Sol, vistas desde un lugar situado a unos 40° de latitud norte, en diferentes épocas. En los dos equinoccios, cuando la δ del Sol es de 0° , éste recorrerá el ecuador, es decir, saldrá por el este y se pondrá por el oeste.

En el solsticio de verano el Sol tiene una $\delta=+23^\circ 30'$ y durante el día 22 de junio recorrerá ese paralelo, por lo que no saldrá por el este, sino bastante hacia el norte y también se pondrá por un punto del horizonte noreste. El día es muy largo y el Sol, a mediodía, cuando pasa por el meridiano, está muy alto, muy cerca del cenit. Estará calentando mucho la superficie terrestre.



Fig. 1

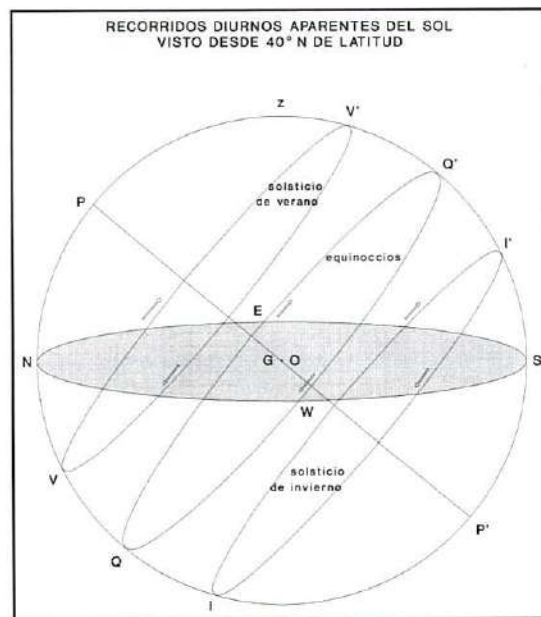


Fig. 2

En el solsticio de invierno ($\delta = -23^\circ 30'$) ocurre exactamente lo contrario: el Sol sale por el sureste y se pone hacia el suroeste, el día es muy corto y la noche larga. El astro rey alcanza muy poca altura a mediodía y calienta mucho menos.

En los equinoccios la situación es intermedia.

En la figura 3 se ha representado la misma esfera celeste pero sin perspectiva, sólo en sección. El ecuador y los dos paralelos extremos del Sol se representan ahora como líneas rectas, pero se sigue apreciando la diferente altura del Sol y la diferente longitud de días y noches.

Todo lo visto hasta aquí corresponde a lo que sucede en lugares de la Tierra que tienen una latitud norte intermedia, unos 40° . ¿Qué sucederá en otros puntos de nuestro planeta? Seguramente habrás oído hablar del Sol de medianoche. ¿Cómo

puede ser que el Sol se vea a medianoche? ¿Por qué las regiones polares son tan frías y las próximas al ecuador se llaman tórridas? Gracias al modelo de las dos esferas es posible responder a estas preguntas y reproducir fácilmente la situación en cualquier latitud.

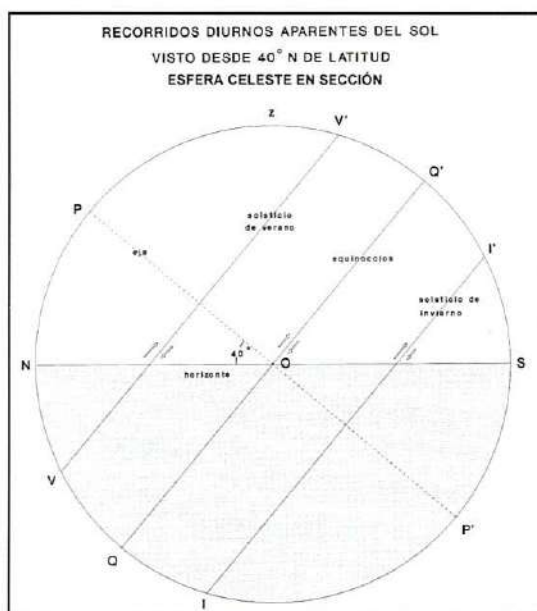


Fig. 3

6 Vamos a simular las estaciones en Caracas, la capital de Venezuela, cuya latitud aproximada es $\phi = 10^\circ$ norte. Dibuja la esfera celeste en sección. Recuerda todo lo que vimos en el tema 4: la relación entre la latitud y la altura del polo sobre el horizonte y las actividades 3, 5 y 6 de aquel tema. Sigue las instrucciones que se daban en la actividad 3 del tema 4, pero situando P a sólo 10° de altura sobre el punto N. Dibuja el ecuador y dibuja los paralelos correspondientes al solsticio de verano ($\delta = +23^\circ 30'$) y al solsticio de invierno ($\delta = -23^\circ 30'$).

¿Hay mucha diferencia entre las duraciones del día y de la noche según las épocas del año? Por término medio ¿está el Sol más alto o más bajo que en España? ¿Cómo crees que será el clima en Caracas?

¿Llega a pasar el Sol alguna vez por el cenit de Caracas? ¿Qué declinación tiene que tener el Sol para que pase allí por el cenit? ¿Cuántas veces lo hace en un año? ¿Podrías indicar, aproximadamente, qué días ocurrirá esto?

7 El Cabo Norte es un lugar muy turístico del norte de Noruega. En lo alto del acantilado hay una esfera celeste monumental y a su alrededor se congregan todos los veranos cientos de curiosos deseosos de contemplar un espectáculo sorprendente: el Sol de medianoche.

El Cabo Norte tiene una latitud $\phi = +72^\circ$. Dibuja la esfera celeste en sección para esta latitud, el ecuador y los paralelos correspondientes a los solsticios.

¿Qué ocurre el día del solsticio de verano? ¿Y el del solsticio de invierno? Explica por qué el clima es tan frío en esas latitudes.

8 Forcemos nuestro modelo al máximo. ¿Qué ocurrirá en Buenos Aires, cuya latitud es de 35° , pero al sur ($\phi = 35^\circ$ sur)? ¿Cómo dibujar ahora nuestra esfera celeste en sección? Pues como siempre, sólo que ahora la altura del polo norte celeste es de -35° , es decir, hay que poner el punto P 35° **por debajo** del punto cardinal norte. El proceso para completar el dibujo es el mismo de siempre, aunque todo queda un poco extraño (extraño para nosotros, habituados a la visión desde el hemisferio norte).

Por regla general, ¿hacia dónde hay que mirar para ver el Sol, hacia el norte o hacia el sur?
¿Cuándo está el Sol más alto, el 22 de junio o el 22 de diciembre?

Geocentrismo y heliocentrismo

Todas las explicaciones dadas adoptan un punto de vista geocéntrico. Podríamos repetir aquí todo lo dicho en el apartado final «Antiguos y modernos» del tema 4. El modelo geocéntrico de las dos esferas sigue siendo válido desde el punto de vista de la comprensión y explicación de los movimientos y es muy fácil, cómodo y didáctico. Pero todos sabemos que, en realidad, es la Tierra la que da vueltas alrededor del Sol, como cualquier otro planeta. ¿Por qué, entonces, da lo mismo una visión que la otra?

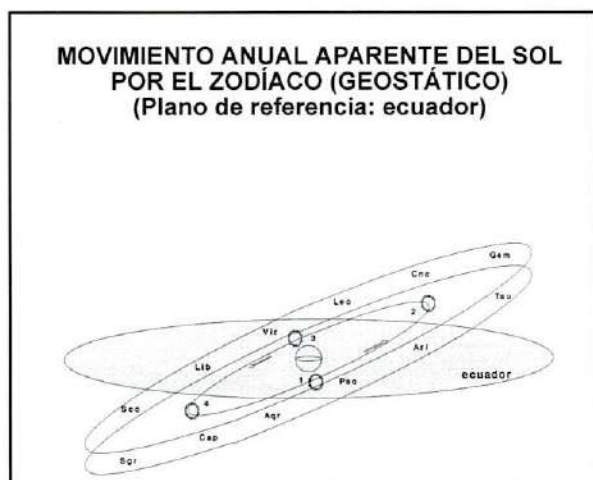


Fig. 4A

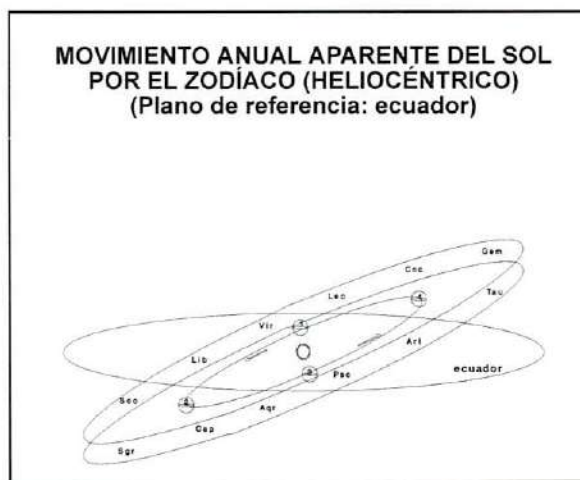


Fig. 4B

En las figuras 4 A y 4 B se muestra la equivalencia visual entre las dos versiones. Si fuera el Sol el que describiese una trayectoria alrededor de la Tierra, está claro que veríamos lo que vemos: que el Sol va pasando delante de las constelaciones del Zodíaco. En realidad, al trasladarse la Tierra en torno al Sol, desde ella nos parece ver que el Sol recorre el cinturón de los signos. En la posición 1 vemos al Sol delante de Piscis; en la 2, delante de Gemini; etc.

La inclinación del Zodíaco, o como se dice más técnicamente, la oblicuidad de la eclíptica, es consecuencia de la inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de su órbita, que es el plano de la eclíptica. Todo depende de cómo se realicen los dibujos. En la figura 4A se ha situado el ecuador horizontal y el eje de la Tierra vertical, con lo que la eclíptica se representa inclinada.

La figura 5A es exactamente la misma que la 4A, pero vista considerando como referencia horizontal el plano de la eclíptica, con lo que el eje de la Tierra queda ahora inclinado en el mismo ángulo ($23^{\circ}30'$). La figura 5B, finalmente, es la misma que la 5A pero considerando ya a la Tierra dotada de sus dos movimientos principales: el de rotación en torno a su eje en 24 horas y el de traslación alrededor del Sol en un año. Es importante advertir que la dirección del eje de la Tierra en el espacio es siempre la misma.

Por eso en la posición 2 (de todas las figuras) el Sol está por encima del ecuador terrestre, será verano en el hemisferio norte y, por mucho que rote la Tierra en torno a su eje, el Sol estará presente las 24 horas sobre el Polo Norte y zonas cercanas. En la posición 4 las tornas han cambiado: será verano en el hemisferio sur y habrá noche de 24 horas en el círculo polar ártico. El equinoccio de primavera ocurre en la posición 1 y el de otoño en la 3.

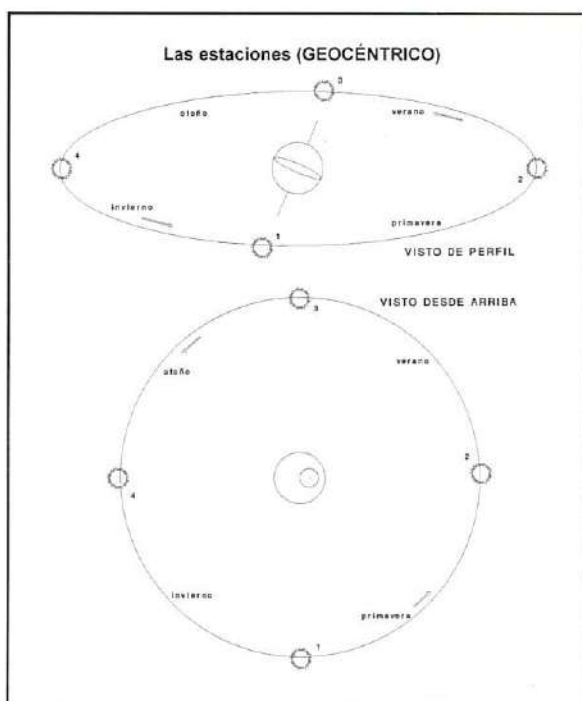


Fig. 5A

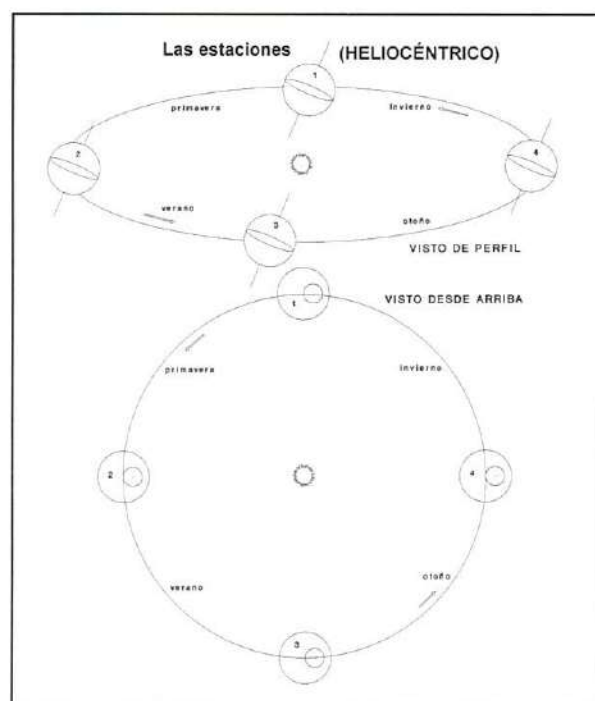


Fig. 5B



1 (*)

Puedes simular el movimiento real de la Tierra alrededor del Sol utilizando un globo terráqueo. Dos piezas de contrachapado o de cartón pluma, ligeramente recortadas para que se adapten a la curvatura del globo, te pueden servir para separar la parte de la esfera terrestre iluminada por el Sol y la parte que permanece en sombra. Un pequeño rectángulo pegado encima de la Península Ibérica, con los puntos cardinales señalados, ayudará a comprobar todos los fenómenos aparentes.

El eje del globo tiene la inclinación adecuada. Moviéndolo como se indica en la figura 5 B, y haciéndolo girar en torno a su eje, puedes comprobar la diferente duración del día y de la noche en las sucesivas estaciones, la noche o el día perpetuos en las zonas polares en los solsticios y las demás observaciones relacionadas con el movimiento anual.



Giancarlo Favero, *Estrellas, galaxias y planetas*, Ed. Anaya.



1. ¿Qué día se ve al Sol muy cerca de la estrella Spica (α Vir)?
2. Hay dos días en los que la declinación del Sol es $\delta = +15^\circ$. ¿Cuáles son?
3. Las horas de salida y de puesta del Sol son siempre simétricas respecto a las 12. ¿Hay también alguna simetría en los puntos del horizonte por donde sale y se pone?
4. ¿Por qué no es igual el clima en Soria y en Barcelona, si tienen la misma latitud?
5. ¿Cuánto duran el día y la noche, en cualquier punto de la Tierra, el día del equinoccio de primavera? ¿Por qué es así?
6. El día del equinoccio de otoño, ¿dónde crees que será más rápido el crepúsculo, en el cabo Norte o en Caracas?
7. Haz el dibujo de la esfera celeste en sección para un lugar que esté justo en el ecuador de la Tierra ($\varphi = 0^\circ$). ¿Qué días pasará el Sol por el cenit?
8. ¿Cómo serían las estaciones si el eje de la Tierra estuviera 'vertical', es decir, si fuera perpendicular al plano de la órbita?

CALENDARIOS Y ECLIPSES

Para los egipcios, los eclipses eran atentados cometidos por animales fabulosos: el enemigo de Ra (el sol) es una serpiente gigantesca, Apopi, que se yergue a veces en medio de su camino y emprende la lucha. Ra desfallece, el sol desaparece. El pueblo grita, se agita, hace todo el ruido que puede para asustar al monstruo. Pronto el sol reanuda su ruta: la vencida Apopi ha vuelto a los abismos.

Paul Couderc, Histoire de l'Astronomie classique

El año de las estrellas

El movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, o el aparente de éste a lo largo de la eclíptica, afecta a la visibilidad de las constelaciones. Cuando el Sol está situado delante de Leo, lógicamente, no es posible ver las estrellas de esta constelación, pues quedan deslumbradas por la luz solar. Por el contrario, sí que se podrán contemplar por la noche las constelaciones que estén en la zona opuesta de la esfera celeste: Aquarius o Capricornus.

1 Una vez puesto el Sol, hay que esperar algún tiempo hasta que comienzan a ser visibles las estrellas. Por término medio, la duración del crepúsculo es de 1 hora.

Localiza en el planisferio la posición del Sol el 11 de febrero. ¿A qué hora se pone el Sol este día? ¿A qué hora habrá suficiente oscuridad como para ver las estrellas?

Justo a esa hora del comienzo de la noche cerrada, ¿qué constelación zodiacal es aún visible en el horizonte oeste? ¿Cuál está empezando a ser visible por el horizonte este?

¿Hasta qué hora se verán las estrellas esa noche?

2 ¿A qué hora se pone el Sol el día 17 de febrero? ¿A qué hora sale el día 18? ¿Entre qué horas podremos ver las estrellas después del crepúsculo, pero antes de las primeras luces solares del alba?

Vas a ir avanzando el planisferio de hora en hora desde el fin del crepúsculo del día 17 hasta el principio del alba del 18. Redondea a horas exactas; no nos hace falta gran precisión. Fíjate en las estrellas Altair, Régulus, Rigel y Fomalhaut. Di si se pueden ver a cada una de esas horas o no. Puedes anotar tus observaciones en forma de tabla con cinco líneas: en la primera, las horas; en las demás (una para cada estrella) sólo tienes que poner SÍ o NO, según si esa estrella fuera o no visible a esa hora.

¿Alguna de esas estrellas se ve durante toda la noche? ¿Alguna no se ve nunca?

3 Ahora vas a hacer lo mismo que en la actividad anterior, pero fijándote sólo en una estrella: Sirio. Queremos saber si se ve todas las noches o si hay alguna época del año en la que no es

posible verla. Como en el tema anterior (actividad 3) construiste una tabla con las horas de salida y puesta del Sol los días 20 de cada mes, vamos a aprovecharla. Para cada una de esas fechas (para el día 20 de cada mes) di si Sirio es visible toda la noche o si sólo lo es en parte de ella (indica cuál, si en las primeras horas de la noche o en las últimas) o si no se puede ver.

Los antiguos egipcios medían el año, además de recurrir a observaciones solares (altura, longitud del día, puntos de salida y puesta), a través del seguimiento de la visibilidad o invisibilidad de Sirio. Para ellos era fundamental hacerlo con precisión, pues todo su sistema agrícola dependía de la crecida del Nilo, que inundaba con un fértil limo las llanuras de sus orillas, dejando la tierra preparada para la siembra. Estas inundaciones siempre se producían en la misma época del año, que coincidía sistemáticamente con el comienzo de la visibilidad de Sirio tras su periodo de ocultación.

La relación entre el ciclo de visibilidad de las diferentes estrellas y el de las estaciones era bastante conocida en la época griega y las posiciones nocturnas de las constelaciones se utilizaban como referencias seguras para marcar el curso del año:

Cuando las Pléyades y las Hyades y la fuerza de Orión se pongan, acuérdate de arar a tiempo... Pero cuando Orión y Sirio alcancen el medio de los cielos y la aurora de rosados dedos vea a Arturo, entonces ... corta todos los racimos de uvas y llévalos a casa ...

(Hesíodo, Los trabajos y los días)

La duración del año

El monumento megalítico de Stonehenge (fotografía) fue a la vez un lugar de culto religioso y un observatorio astronómico. Construido en el tercer milenio antes de nuestra era, consistía en algunos círculos concéntricos hechos con grandes bloques de piedra.



Parece ser que los sacerdotes, desde el centro, observaban todos los días los puntos del horizonte por donde salía y se ponía el Sol. En la figura 1 se representa esquemáticamente el comportamiento de estos puntos. Posiblemente los sacerdotes de Stonehenge fueron capaces de medir con precisión este ciclo, pues algunas piedras parecen estar colocadas exactamente en los puntos de salida o puesta del Sol en los solsticios.

Así pudieron calcular la duración del año, que les resultaba imprescindible para sus prácticas agrícolas, para fijar las fechas de sus ritos, etc.

Stonehenge está situado al sur de Inglaterra, a unos 51° de latitud norte. Aunque esta latitud es algo mayor que la latitud media de España, en esencia la situación es la misma, como se apreciaba comparando esta figura 1 con la 2 del tema anterior.

De esta manera, siempre a través de los astros, todas las civilizaciones se preocuparon por establecer la duración del año, del ciclo de las estaciones. En un principio fueron aproximaciones un tanto imprecisas (360 días), pero muy pronto se llegó a la cifra de 365 días. Como el año

es un poco más largo, el pequeño error que se comete se va acumulando, con lo que, al cabo de unas cuantas décadas, ya el error es muy apreciable. Por eso se han producido diversas reformas del calendario a lo largo de la historia. Las más importantes, en el mundo occidental, fueron la juliana y la gregoriana.

En el siglo I antes de nuestra era, Julio César, siguiendo los consejos del astrónomo Sosígenes, introdujo los días bisiestos: tres años tenían 365 días y el cuarto 366. De esta manera la duración media del año era de $365 \frac{1}{4}$ días = 365.25 días = 365 días 6 horas.

Esta regla se mantuvo durante muchos siglos en Europa, pero en el siglo XV ya se notó que no era del todo precisa. El equinoccio de primavera, que debería tener lugar siempre en una misma fecha, se iba adelantando: en

vez de producirse el 21 de marzo, tenía lugar antes, hacia el 10 de marzo. Después de 1.500 años julianos, en realidad habían transcurrido 1.500 años y algunos días más. Así que un año juliano debía ser igual a 1 año verdadero y un poco más de tiempo. El año juliano resultaba ser un poco más largo de lo debido.

En 1582 el papa Gregorio XIII promulgó su reforma del calendario, estableciendo que serían bisiestos todos los años múltiplos de 4, pero que no lo serían los años finales de cada siglo (años múltiplos de 100), con la excepción de los múltiplos de 400 que sí serían bisiestos. Ésta es la reforma gregoriana que actualmente está en vigor en todos los países civilizados.

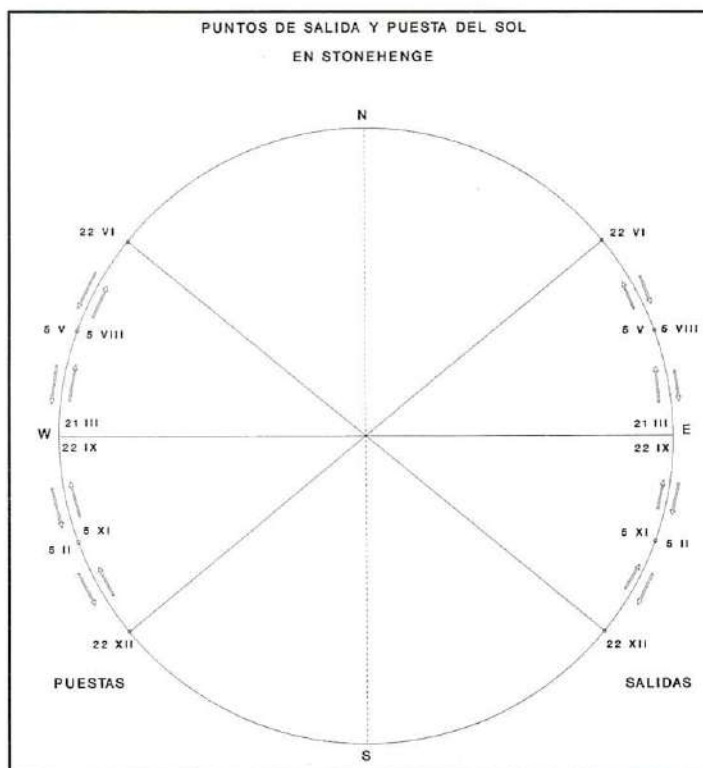


Fig. 1

7 Señala cuáles de los siguientes años fueron o serán bisiestos y cuáles no: 1400, 1492, 1600, 1700, 1800, 1900, 1996, 2000, 2010, 2100, 2400 y 2500.

Averigua el número de días que hay desde el 1 de enero del año 1601 hasta el 31 de diciembre del 2000, ambos inclusive. ¿Cuántos años hay desde 1601 hasta el 2000, contando ambos? ¿Cuál es la duración media del año según el calendario gregoriano? Expresa esta duración media en días, horas, minutos y segundos.

Según las mediciones modernas más precisas, la duración del año (el tiempo que transcurre entre un equinoccio de primavera y el siguiente) es de 365 días, 5 horas, 48 minutos, 45 segundos y 22 centésimas. ¿Qué error se cometía con el calendario juliano? ¿Cuál se comete con el actual calendario gregoriano? ¿Cuántos años tienen que transcurrir hasta que el error acumulado sea de un día?

Nuestros meses son una clara reminiscencia del ciclo de las fases lunares, pero nuestro calendario es exclusivamente solar: se ajusta muy bien al ciclo de las estaciones (el equinoccio de primavera siempre ocurre el 21 de marzo) mientras que no guarda relación alguna con la fase de la Luna (la edad de la Luna y el día del mes sólo a veces coinciden casualmente). Los calendarios

solares se han impuesto porque el ciclo de las estaciones marca nuestra vida mucho más que las fases lunares.

El calendario que está en vigor en los países musulmanes es exclusivamente lunar, perfectamente acoplado con el ciclo de las fases, pero independiente del ciclo de las estaciones, al revés que el nuestro. Es decir, en el calendario musulmán la edad de la Luna coincide con el día del mes, pero el equinoccio de primavera no tiene una fecha fija.

Existieron y existen calendarios luni-solares, que establecen una serie de reglas (por lo general algo complicadas), de manera que tanto los meses como los años transcurran en paralelo con los dos ciclos astronómicos.

Eclipses

A medida que la Luna recorre su órbita puede haber momentos en los que se encuentre exactamente alineada con el Sol y con la Tierra, bien, como en la posición 1 de la figura 2, en medio de estos dos cuerpos, bien al otro lado de la Tierra (posición 2). En la posición 1 la Luna se interpone en el camino de los rayos solares hacia la Tierra y se produce un eclipse de Sol. En la posición 2 la Luna se sitúa dentro del cono de sombra que provoca la Tierra y tenemos un eclipse de Luna. ¿Cuál es la fase de la Luna en la posición 1? ¿Y en la 2? ¿Podría haber eclipses en alguna otra fase?

En los eclipses de Sol, el cono de sombra provocado por la Luna tiene su vértice justo en la superficie de la Tierra. Desde dentro del cono de sombra no se ve nada del Sol, mientras que desde el cono de penumbra se ve parte de él. Por eso la zona de la Tierra desde la que se ve un eclipse total es muy pequeña, mientras que se puede ver un eclipse parcial desde muchos más lugares.

Como las distancias de la Tierra a la Luna y al Sol varían ligeramente, dado que las órbitas son siempre elipses, el cono de sombra causado por la Luna puede ser un poco más largo o un poco más corto. Si es un poco más largo, la región desde la que puede verse el eclipse total es más grande (y el eclipse durará más). Si es un poco más corto y su vértice no llega a la Tierra, desde los puntos terrestres situados inmediatamente debajo del vértice se verá un eclipse anular.

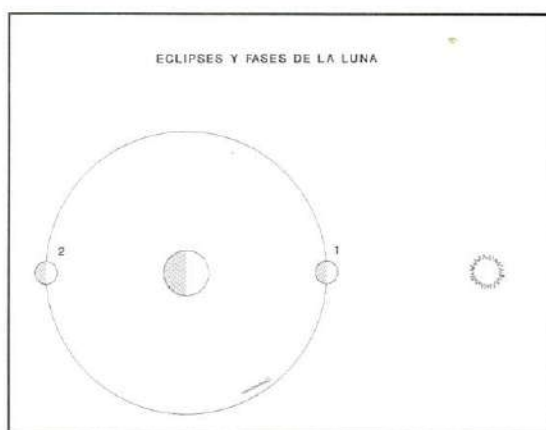


Fig. 2

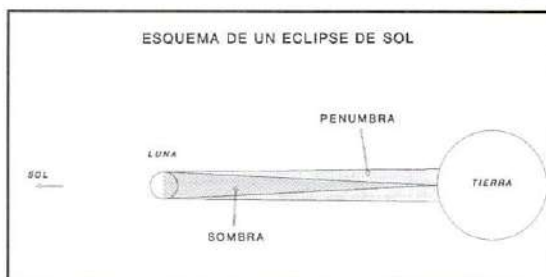


Fig. 3

- 5 La fotografía muestra una imagen de un eclipse de Sol. Coloca encima de la foto un papel de calco y copia el contorno del Sol y la parte que se ve de la circunferencia de la Luna. Mide el diámetro del disco solar, completa la circunferencia de la Luna y mide su diámetro. ¿Son parecidos los diámetros de ambos círculos?



- 6 En la tabla siguiente se dan las coordenadas del centro de la Luna, vista desde la ciudad de México, el día 11 de julio de 1991, entre las 11 y las 16 horas.

hora	11	11.30	12	12.30	13	13.30	14	14.30	15	15.30	16
A.R.	7.18.16	7.19.07	7.19.56	7.20.44	7.21.32	7.22.21	7.23.10	7.24.01	7.24.53	7.25.47	7.26.45
δ	22°25'	22°22'	22°18'	22°14'	22°10'	22°05'	22°00'	21°54'	21°48'	21°42'	21°35'

Durante todo ese tiempo el centro del Sol estuvo situado en la posición (7.22.16, 22°06'). Sobre la lámina 8 señala la posición del centro del Sol. Para dibujar todo el disco solar traza, con centro en el punto anterior, una circunferencia de 15' de radio (medidos en la escala de la δ). Marca también los puntos correspondientes al centro de la Luna y traza una circunferencia de 16' de radio en cada posición lunar. Así hemos reproducido un eclipse de Sol.

¿Cómo fue este eclipse, total, parcial o anular?

¿Por qué parte del Sol comenzó el eclipse, por

la izquierda o por la derecha? ¿Cómo avanza la sombra, de izquierda a derecha o al revés?

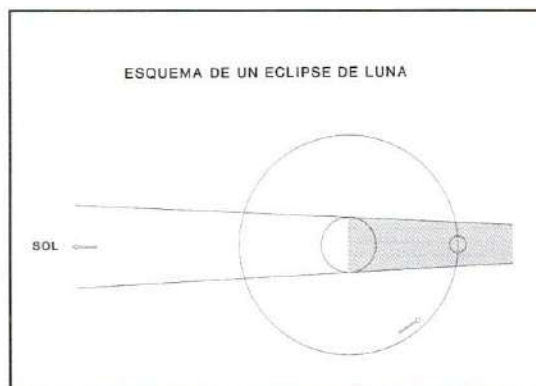


Fig. 4

En el caso de los eclipses de Luna, ésta se sumerge en el cono de sombra terrestre, que es bastante más grande que el lunar, por lo que tarda algún tiempo en atravesarlo. Estos eclipses son más largos que los solares y, además, son visibles desde todo un hemisferio de la Tierra (el que mira hacia la Luna) y no sólo desde una zona, por lo que es mucho más fácil contemplar un eclipse de Luna que uno de Sol.

- 7 Coloca un papel de calco sobre la fotografía del eclipse lunar. Copia el contorno visible de la Luna. Completa el círculo lunar y el correspondiente a la sombra proyectada por la Tierra. Mide el diámetro de ambos círculos y compáralos entre sí.

- 8 La tabla recoge las coordenadas del centro de la Luna a lo largo del día 29 de noviembre de 1993. Durante esas horas el centro de la sombra de la Tierra estuvo situado en la posición (4.21.23, 21°08') y el radio de la misma (a la distancia Tierra-Luna) era de 41'. El radio del

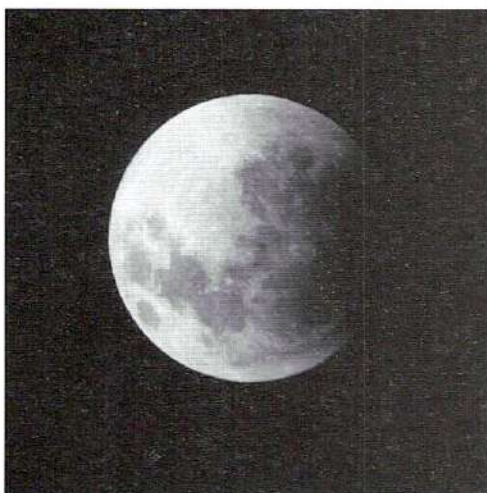


disco lunar era de 15'. Construye unos ejes como los de la lámina 8 y sitúa en ellos los discos lunares y el círculo de sombra terrestre.

Hora	6.30	7	7.30	8	8.30	9	9.30	10	10.30
A.R.	4.15.54	4.16.59	4.18.07	4.19.18	4.20.31	4.21.48	4.23.07	4.24.28	4.25.51
δ	20°33'	20°33'	20°32'	20°31'	20°31'	20°30'	20°30'	20°29'	20°29'

¿Qué tipo de eclipse hemos reproducido? ¿En qué fase estaba la Luna? ¿Por qué lado empieza el oscurecimiento, por la izquierda o por la derecha? En estos eclipses, ¿la zona oscurecida avanza de izquierda a derecha o al revés?

- 9 Aquí tienes dos fotos que corresponden, una a un eclipse de Luna, y otra a la Luna, en cierta fase, pero sin eclipse alguno. ¿Puedes identificarlas? ¿Podrías decir si la correspondiente al eclipse de Luna fue tomada al comenzar o al terminar?



1 (*)

En el taller 2 del tema 6 construiste un modelo a escala del sistema Tierra-Luna formado por dos bolas del tamaño adecuado. Ahora queremos fijar ambas bolas a su distancia proporcional, es decir, a la misma escala. Lo primero que hay que hacer es calcular esa distancia, traducir la medida real en km a la medida en el modelo: L cm.

Consigue un listón de madera (de perfil 2x2 cm más o menos) que mida algo más de L cm (la distancia que acabas de calcular). Clava dos clavos cerca de los extremos del listón, de manera que queden situados a L cm el uno del otro. Clava respectivamente en ellos la bola terrestre y la lunar. Si sales al patio y pones el listón apuntando exactamente al Sol puedes reproducir con bastante exactitud lo que ocurre en los eclipses. Tienes que mover con mucho cuidado el listón hasta conseguir que la sombra de la bola superior caiga sobre la inferior.



La órbita de la Luna

Según la figura 2, parece como si debiera haber un eclipse de Sol en cada Luna Nueva y un eclipse lunar en cada Luna Llena, lo que supondría un eclipse cada 15 días. Esto no es así; se trata de fenómenos poco frecuentes. ¿Cuál es la causa?

La Luna recorre el zodíaco en un mes, pero no por su línea central, la eclíptica, como hace aparentemente el Sol, sino desviándose hasta 5° hacia el norte o hacia el sur. Esto se debe a la inclinación de la órbita de la Luna con respecto a la eclíptica, que es de unos 5° , por lo que lo más frecuente es que cuando se produce la Luna Nueva, por ejemplo, el Sol, la Luna y la Tierra no estén alineados, sino que la Luna quede algo por encima o algo por debajo de la línea recta Sol-Tierra, de modo que el eclipse de Sol no tiene lugar.

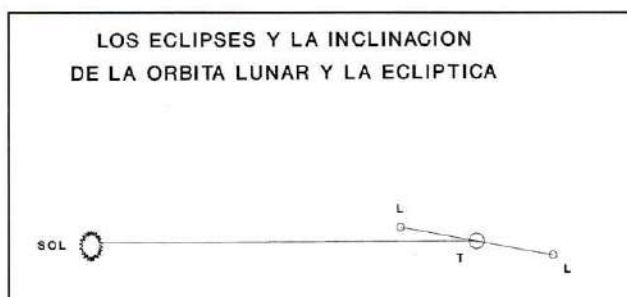


Fig. 5

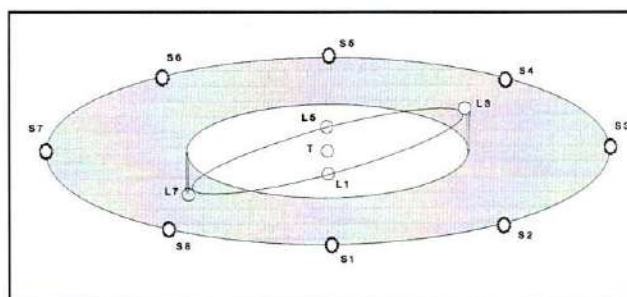


Fig. 6

10 En la figura 6 aparecen las órbitas aparentes del Sol y de la Luna alrededor de la Tierra. Se ha dibujado horizontal el plano de la eclíptica, mientras que la órbita lunar tiene una pequeña inclinación. Como el Sol y la Luna tienen velocidades distintas, es posible cualquier combinación de posiciones (S1L1, S2L4, etc).

Especifica si habrá eclipse o no en cada una de las posiciones siguientes (si lo hay indica de qué tipo):

S1L1, S1L3, S1L5, S2L1, S5L1, S5L4, S5L5 y S6L6.



Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid, editado anualmente por el Instituto Geográfico Nacional



1. ¿Es visible Spica durante la noche del 5 de mayo? ¿Qué fenómeno sucede antes, la puesta de Spica o el comienzo del alba?

2. El mismo día 5 de mayo, ¿es posible ver a Aldebarán? ¿A qué hora? ¿Durante cuánto tiempo es visible?

3. Di, mes a mes, si es posible observar la constelación de Scorpius y a qué horas.

4. Cita cuatro fenómenos cuya observación reiterada permitiría medir la duración del año.
5. Las personas cuya vida transcurra entre los siglos XX y XXI, ¿notarán alguna diferencia entre el calendario juliano y el gregoriano?
6. Si en un eclipse total de Sol, la Luna está a su mínima distancia a la Tierra (perigeo), ¿qué tendrá de especial ese eclipse?
7. Si en un eclipse total de Luna la Tierra está a su máxima distancia del Sol, ¿qué tendrá de especial ese eclipse?
8. El 27 de marzo de 1996 la fase de la Luna era de Cuarto Creciente. Ese día, ¿frente a qué constelación zodiacal estaba el Sol? ¿Y la Luna?

LOS PLANETAS

Y yo, supuestos así los movimientos que más abajo en la obra atribuyo a la tierra, encontré con una larga y abundante observación que, si se relacionan los movimientos de los demás astros errantes con el movimiento circular de la tierra, y si los movimientos se calculan con respecto a la revolución de cada astro, no sólo de ahí se siguen los movimientos aparentes de aquéllos, sino que también se conectan el orden y la magnitud de todos los astros y de todas las órbitas, incluso el cielo mismo; de tal modo que en ninguna parte puede cambiarse nada, sin la perturbación de las otras partes y del Universo mismo.

Nicolás Copérnico,
Sobre las revoluciones de los orbes celestes

trayectoria de Marte de las del Sol y la Luna? ¿Qué día alcanzó Marte su máximo brillo? ¿En qué momento de su trayectoria estaba?

Fecha	Asc. Recta	Decl.	Mag
15 julio 92	3 21	17 25	0.3
14 agosto	4 45	21 44	0.2
13 septiembre	6 04	23 24	0.0
13 octubre	7 10	23 10	-0.4
12 noviembre	7 53	22 40	-0.8
12 diciembre	7 56	24 00	-1.3
14 enero 93	7 07	26 40	-1.4
13 febrero	6 39	26 50	-0.5
15 marzo	6 58	25 41	0.2
14 abril	7 45	23 31	0.8
14 mayo	8 45	19 51	1.2
31 mayo	9 19	17 11	1.4
30 junio	10 25	11 06	1.5
30 julio	11 31	3 53	1.6
29 agosto	12 40	-3 56	1.7
28 septiembre	13 54	-11 38	1.6
28 octubre	15 15	-18 20	1.5
27 noviembre	16 46	-22 53	1.4
27 diciembre	18 23	-24 07	1.2
21 enero 94	19 46	-22 10	1.2
20 febrero	21 23	-16 31	1.2
22 marzo	22 53	-28 18	1.2
21 abril	0 19	+0 59	1.2
21 mayo	1 44	+9 54	1.2
20 junio	3 11	17 12	1.2

Así pues, hay otros astros errantes además del Sol y de la Luna: los cinco planetas visibles a simple vista y conocidos desde la antigüedad, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. En total siete astros errantes, uno para cada día de la semana: lunes (Luna), martes (Marte), miércoles (Mercurio), jueves (Júpiter), viernes (Venus), sábado (Saturno) y domingo (Sol). En todas las lenguas europeas hay clarísimas huellas de este origen astronómico de la semana. En castellano tan sólo se han perdido los primitivos 'día del Sol' convertido en 'día del señor' (domenica en latín) y el 'día de Saturno' que ha pasado a ser el sábado (de la palabra hebrea sabbath). Lo mismo ha ocurrido en las lenguas romances; en cambio las germánicas (*Sunday* y *Saturday* en inglés o *Sonnetag* en alemán) han conservado la tradición.

La revolución copernicana

Los movimientos del Sol y de la Luna pueden ser explicados con sencillez dentro del universo de las dos esferas: no están situados en la esfera celeste, sino más cerca, y se mueven cada uno a lo largo de su circunferencia (la eclíptica para el Sol y otro círculo un poco más inclinado para la Luna) con la velocidad que le corresponde.

Hasta aquí el asunto se puede seguir bastante bien, pero los planetas presentan un movimiento mucho más complicado. No están fijos en la esfera celeste, sino que se mueven de una forma bastante rara: circulan por el Zodíaco, lo mismo que el Sol y la Luna, pero no siempre avanzan 'en el sentido de los signos', no siempre van de derecha a izquierda, sino que alguna vez se paran, dudan unos días, comienzan a retroceder y luego se arrepienten y vuelven a recuperar el sentido común. Estos lazos de los planetas se conocen como 'bucles' o 'retrogradaciones'. Cada planeta efectúa sus bucles con periodicidad (Mercurio cada 116 días, Venus cada 584, Marte cada 780, etc.).

Para mayor dificultad, los bucles son diferentes entre sí y los de un mismo planeta varían de una vez a la siguiente. A veces son ascendentes y cortos, otras más largos y casi horizontales (figura 2). Parece un comportamiento caótico, sin que se muestre ninguna pauta clara en sus trayectorias.

Los astrónomos dedicaron sus esfuerzos a intentar encontrar alguna explicación lógica y coherente a estos desordenados movimientos y no es exagerado decir que la Historia de la Astronomía, desde el año 400 antes de nuestra era hasta 1800, se podría llamar 'Historia de las explicaciones de los movimientos planetarios'.

Destacaron los griegos Eudoxo, que organizó el modelo de las dos esferas; Hiparco, un gran observador, que hizo los primeros esbozos del modelo geocéntrico y Ptolomeo, autor del Almagesto, en el que culminaba la exposición detallada del sistema geocéntrico.

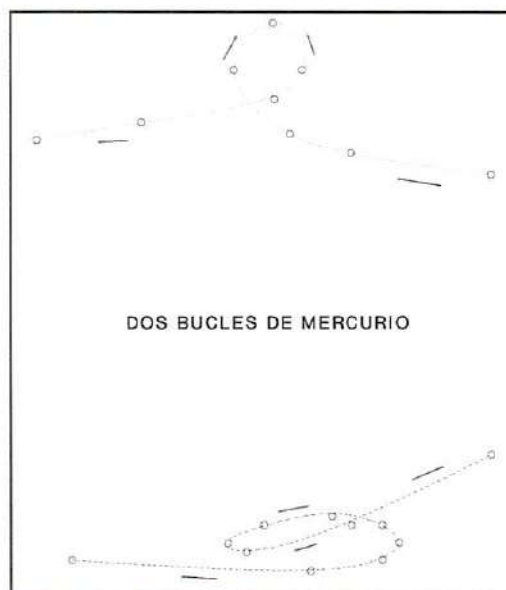
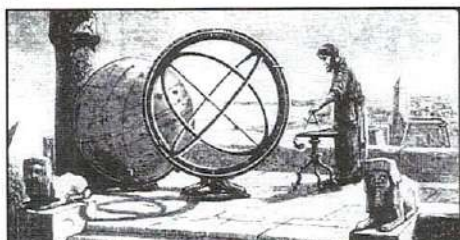


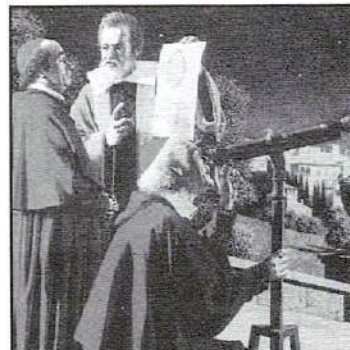
Fig. 2



Ptolomeo



Newton



Galileo



Kepler



Tycho



Copérnico

Los árabes recogieron la ciencia griega e hicieron algunas aportaciones de interés, aunque menores. En España, en la parte dominada por los árabes (llamada Al-Andalus), destacó Azarquiel que perfeccionó el instrumento más utilizado entonces, el astrolabio.

A partir del Renacimiento, los nombres célebres y las aportaciones transcendentales se suceden rápidamente: Copérnico, Tycho Brahe, Kepler y Galileo 'vuelcan' el Universo y proponen el sistema heliocéntrico. Newton es el genio sintetizador que descubre las leyes universales por las que se rigen los movimientos planetarios y Laplace, ya casi en el siglo XIX, coloca en su sitio los mínimos detalles que aún quedaban sueltos.

Posiciones planetarias

Ahora sabemos que la Tierra es sólo uno más entre los planetas que rodean al Sol y que circula, como todos, en una órbita que es casi una circunferencia. Mercurio y Venus, cuyas órbitas están dentro de la terrestre, se llaman planetas interiores, mientras que todos los demás son exteriores.

Vistos desde la Tierra, Mercurio y Venus no pueden alejarse mucho del Sol. Esta lejanía al Sol se llama **elongación** y es el ángulo Sol-Tierra-Planeta, siempre visto desde la Tierra. Como se ve en la figura 3, la elongación de Venus tiene un tope máximo en V_2 y en V_4 . Otras posiciones destacadas de Venus son V_1 (conjunción inferior) y V_3 (conjunción superior).

La máxima elongación de Venus es de 47° . Sólo con este dato, Copérnico pudo calcular la proporción entre las distancias Sol-Tierra y Sol-Venus.

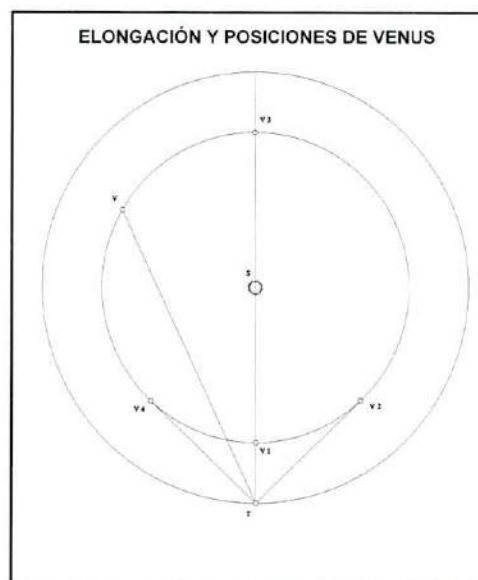


Fig. 3

3 ¿De qué tipo es el triángulo Sol-Venus-Tierra en el momento de la máxima elongación (V_2 , por ejemplo)? ¿Cuánto miden sus ángulos?

Ahora sabemos que la distancia Tierra-Sol es de 150 millones de km. Dibuja un triángulo semejante al SV_2T , de forma que el ángulo en T sea de 47° y que ST mida 15 cm. ¿Cuál es la distancia VS de Venus al Sol?

La máxima elongación de Mercurio es de 23° . ¿Cuál es su distancia al Sol?

Vamos a seguir los procedimientos históricos para determinar otro dato importante de los planetas: su **período de traslación** alrededor del Sol.

Desde la Tierra no podemos medir directamente el tiempo que tarda Venus en dar una vuelta alrededor del Sol, pero sí podemos contar el tiempo que transcurre desde una conjunción inferior a la siguiente (lo que se llama el **período sinódico** de Venus): resulta ser de 584 días. Ahora sólo queda hacer cuentas.

4 Las posiciones de Venus y de la Tierra (figura 4), desde una conjunción inferior en V_0T_0 hasta la siguiente conjunción inferior en V_3T_3 , tienen que ser las indicadas en la figura 4. Mientras Venus ha dado casi tres vueltas, la Tierra sólo ha dado algo más de una y media.

Teniendo en cuenta que la Tierra da una vuelta (360°) en 365.25 días, ¿qué ángulo ha avanzado la Tierra en esos 584 días que van de T0 a T3? ¿Qué ángulo ha recorrido Venus en ese mismo tiempo? Ten en cuenta que Venus ha dado una vuelta más que la Tierra.

¿Cuántos días tarda Venus en avanzar 360° ?

Repite los cálculos para Mercurio, sabiendo que circula aún más aprisa que Venus y que su período sinódico es de 116 días.

Para un planeta exterior, como Marte, las posiciones con respecto al Sol y a la Tierra son un poco diferentes (figura 5). Ahora puede darse la situación T4M3, con la Tierra en medio, que antes era imposible: se dice que Marte está en **oposición**. Éste es el mejor momento para observar un planeta exterior, pues está justo al otro lado del Sol. En T4M2 ó en T4M4 el planeta está en **cuadratura** y en T4M1 Marte está en **conjunción**.

5 Sabiendo que Marte recorre su órbita con más lentitud que la Tierra y que su período sinódico (de una oposición a la siguiente) es de 780 días, averiguar su período de traslación alrededor del Sol.

6 Copérnico utilizó las cuadraturas y las oposiciones para averiguar la distancia Marte-Sol. Esperó a que Marte estuviera en cuadratura (T4M4) y contó el número de días que transcurrieron hasta la oposición (T5M5): pasaron 106 días.

Calcula el ángulo recorrido por la Tierra (T4T5) y por Marte (M4M5) en esos 106 días.

¿Cuánto valen los ángulos del triángulo ST4M4?

Dibuja un triángulo semejante al ST4M4 de manera que ST4 mida 15 cm (recuerda que Tierra-Sol = 150 millones de km) y averigua la distancia Sol-Marte.

Los bucles que hacen los planetas vistos desde la Tierra se explican por el movimiento relativo de la Tierra y cada uno de los planetas en cuestión. En la figura 6 se muestra una retrogradación de Marte. Cuando la Tierra adelanta a Marte por dentro se produce un bucle.

La pequeña inclinación de los planos orbitales de ambos planetas entre sí hace que los bucles sean siempre ligeramente diferentes.

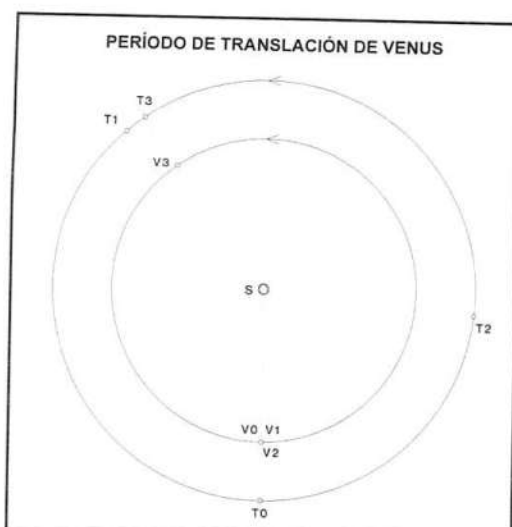


Fig. 4

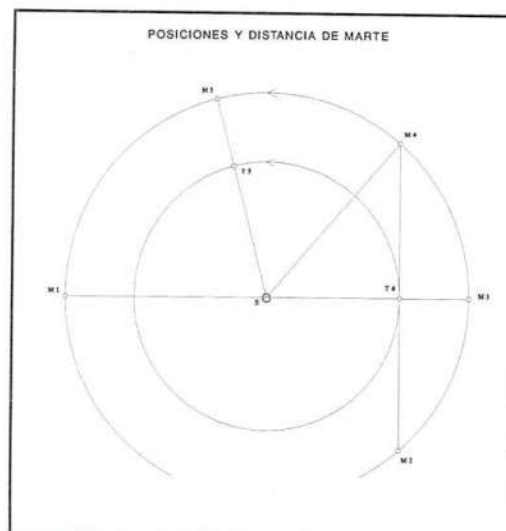


Fig. 5

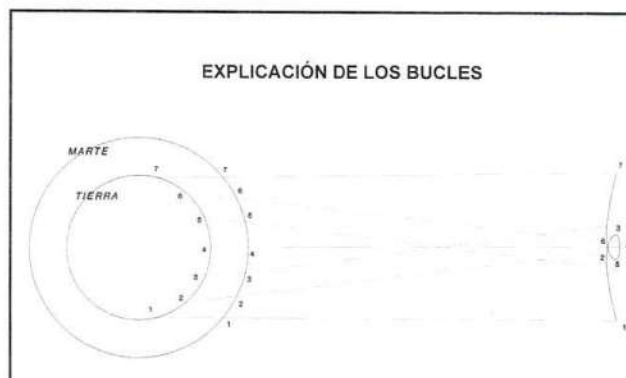


Fig. 6



1 (*)

Vas a confeccionar un dibujo en el que queden representadas las órbitas de los planetas a escala. Para ello consigue una cartulina de 50x70 cm, colócala apaisada y traza una recta en su centro, a 25 cm de cada borde. Haz una marca sobre esta recta a 5 cm del extremo izquierdo. Es la posición del Sol. Para señalar la posición y dibujar las órbitas de los planetas vas a utilizar la escala 1 mm (en el mural) = 10 millones de km (en la realidad). Calcula la distancia (en cm) que le corresponde a cada planeta según los datos de la tabla final.

Para dibujar las órbitas traza, con el compás o con un hilo, circunferencias con centro en el Sol. Te caben completas las órbitas hasta Saturno. Las de los últimos planetas sólo entran parcialmente. Para más detalles ver Arribas, Rivière, *Taller de Astronomía*, Ed. Equipo Sirius.

Las leyes de Kepler

Descubiertas de forma experimental por Johannes Kepler y explicadas posteriormente como consecuencias de la Teoría General de la Gravitación por Isaac Newton, estas tres leyes describen el movimiento planetario.

1ª ley: Los planetas describen órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos.

Como consecuencia, la distancia de cada planeta al Sol es variable, en mayor o menor medida según la excentricidad. El punto más próximo se llama **perihelio** (P, en la figura 7) y el más lejano **afelio** (A). El perihelio terrestre ocurre el día 2 de enero y el afelio el 5 de julio.

2ª ley: El planeta recorre su órbita de forma que barre áreas iguales en tiempos iguales.

Por tanto los planetas avanzan más deprisa en el perihelio y más despacio en el afelio.

3ª ley: El cuadrado del período de traslación (T) de cada planeta es proporcional al cubo de su distancia media (a) al Sol: $T^2 / a^3 = \text{constante}$.

La pequeña excentricidad de todas las órbitas hace que sean muy parecidas a circunferencias. La órbita de Marte, por ejemplo, cuya excentricidad es de las mayores, es una circunferencia 'aplastada' sólo un 4 por mil (0,4%). No es de extrañar que se tardara tanto tiempo en descubrir que las órbitas no eran exactamente circunferencias.

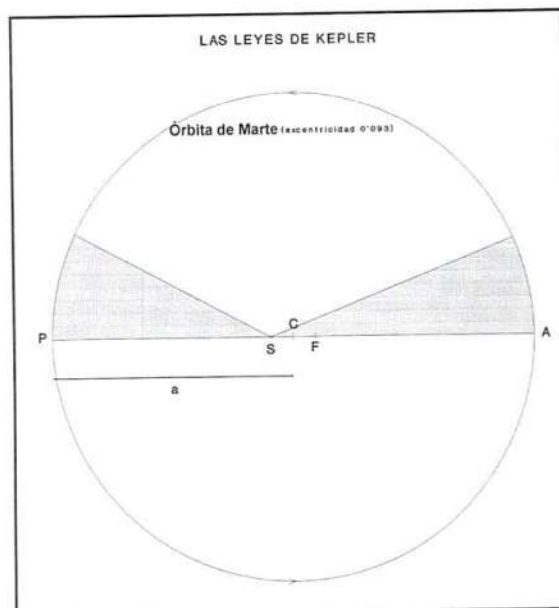


Fig. 7

7

Calcula la velocidad a la que se mueve cada planeta mientras recorre su órbita. Calcula la distancia que recorre la Tierra en un año, es decir, la longitud de su órbita (hazlo como si fuera una circunferencia exacta), y divídela por el tiempo que tarda. Expresa la velocidad en km/s.

Haz lo mismo con los demás planetas hasta Saturno. Los datos que te hagan falta los encontrarás en la tabla del final del tema. Expresa siempre la velocidad en km/s. ¿Qué planetas son más rápidos, los interiores o los exteriores?

- 8 Vas a comprobar la 3ª ley de Kepler. Expresa los períodos de traslación (T) de Venus y de Marte en años ($687 \text{ días} = 687/365.25 = 1.88 \text{ años}$, para Marte). Para las distancias medias al Sol (a) vas a hacer lo mismo: exprésalas en relación a la distancia media de la Tierra al Sol, que tomamos como unidad y que se llama Unidad Astronómica (UA). Para Venus, por ejemplo, $a = 108 \times 10^6 \text{ km} = 108 \times 10^6 / 150 \times 10^6 \text{ UA} = 108/150 \text{ UA} = 0.72 \text{ UA}$. Comprueba que para ambos planetas el cociente T^2/a^3 es aproximadamente igual a 1. Esto es lo que tiene que ocurrir siempre que expresemos T en años y a en unidades astronómicas. Por medio de la 3ª ley de Kepler, calcula la distancia media de Urano al Sol, utilizando como dato conocido el período T de traslación (año de Urano).

TABLA CON LOS PRINCIPALES DATOS ORBITALES DE LOS PLANETAS

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno	Plutón
T	88 d	225 d	365¼ d	687 d	12 a	29.4 a	84 a	164 a	248 a
P. sinódico	116 d	584		780	399	378	370	367.5	367
a ($\times 10^6 \text{ km}$)	58	108	150	228	778	1429	2875	4504	5916
Excentricidad	0.2	0.007	0.017	0.093	0.048	0.056	0.046	0.009	0.25
Inclinación	7°	3.4°	0°	2°	1°	2.5°	1°	2°	17°



A. Baig y M. Agustench, *La revolución científica de los siglos XVI y XVII*, Ed. Alhambra (BRED A)

Norwood Russell Hanson, *Constelaciones y conjeturas*, Alianza Ed. (AU)



1. Enumera tres datos que permitan decidir si lo que estamos mirando es una estrella o un planeta.
2. Cuando un planeta empieza a retrogradar se dice que está 'estacionario en ascensión recta'. ¿Qué día de 1992 comenzó Marte su retrogradación? ¿Cuándo dejó de retroceder?
3. ¿Por qué los griegos consideraban al Sol como un planeta?

4. Si la órbita de cada planeta no varía, ¿por qué son diferentes los bucles sucesivos de, por ejemplo, Marte?
5. ¿Coinciden siempre las oposiciones de Marte en el mismo punto de la órbita terrestre, es decir, en una misma fecha?
6. En verano, ¿estamos más cerca o más lejos del Sol que en invierno?
7. Si sabes algo de trigonometría, utilízala para resolver de otra manera las actividades 2 y 5.
8. Las estaciones no tienen la misma duración. ¿Cuántos días tiene cada una? ¿Cuál es la razón de esta variación?

EL SISTEMA SOLAR

Hay posiblemente varias razones para la popularidad actual de los temas relacionados con el Sistema Solar. Por ejemplo, la gran difusión de la ciencia-ficción excita nuestra curiosidad hacia los mundos exóticos que descubren las sondas planetarias. Desde otra perspectiva, muchos ven en esta exploración un campo donde poner a prueba de forma pacífica tecnología punta, como grandes cohetes, que de otra forma parecen sólo destinados a la carrera de armamentos. Otros más ven en el Sistema Solar la nueva frontera que Homo Sapiens, como especie dominante en este planeta, está condenado a explorar. Por último, los resultados son una razón de peso: unos presupuestos moderados de sólo dos naciones de la Tierra han conseguido unos avances científicos espectaculares.

Francisco Anguita, Geología planetaria

El Sol

El objeto central y más importante de nuestro sistema es el Sol, una estrella corriente que está en la mitad de su vida.

Es una enorme esfera gaseosa de unos 700.000 km de radio y una densidad media $d=1,4 \text{ g/cm}^3$, formada esencialmente por hidrógeno (H, 70%) y helio (He, 29%). El peso de las capas hace que la presión de estos gases aumente con la profundidad.

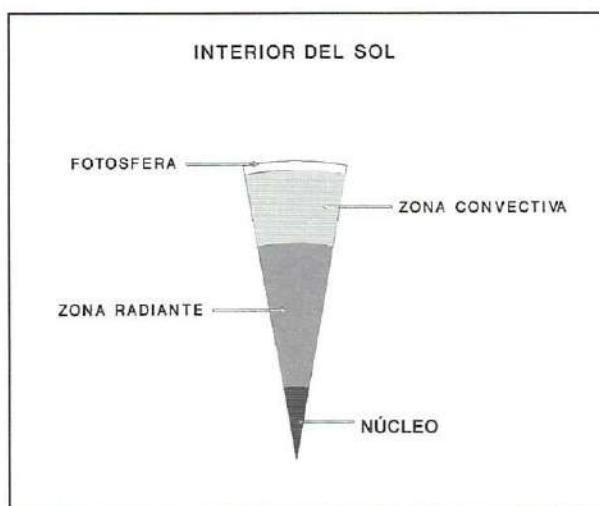
En el núcleo del Sol el hidrógeno y el helio están tan comprimidos que la densidad allí es de 160 g/cm^3 . La temperatura es tremenda: 15 millones de grados. Los núcleos atómicos están muy próximos y se agitan con gran energía: chocan entre sí con mucha frecuencia y se producen reacciones de fusión nuclear. El interior del Sol es un reactor nuclear en el que el H se convierte en He. En esta reacción se produce gran cantidad de energía que queda libre: son los fotones, partículas elementales que transportan la energía, la luz y el calor.



La energía producida en el núcleo tiene que atravesar todo el espesor del Sol. La primera parte de este viaje es muy lenta: los fotones tardan un millón de años en atravesar la zona radiante en la que la temperatura y la densidad van descendiendo paulatinamente.

Cerca ya de la superficie hay otra capa, la zona convectiva, en la que el flujo energético forma remolinos (células convectivas). Como el Sol es gaseoso, no es muy apropiado hablar de su «superficie»: se trata en realidad de la fotosfera solar, la parte del Sol que podemos observar, la capa desde la que escapan hacia el exterior la luz y el calor. La fotosfera está a unos 5.800 K, presenta un aspecto granuloso (al tener debajo los remolinos convectivos) y en ella surgen las manchas solares.

Las manchas son zonas en las que la temperatura es algo más baja que en sus alrededores, debido a las pequeñas irregularidades



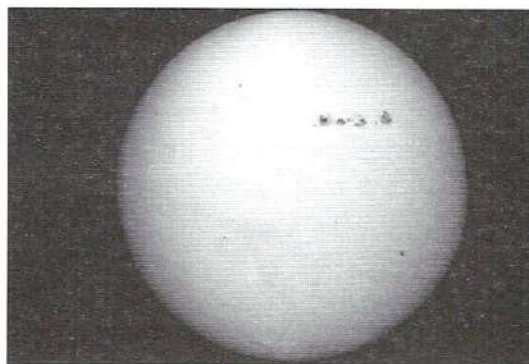
en la transmisión de la energía que se producen a causa de los torbellinos convectivos. También se producen otros fenómenos espectaculares: las protuberancias y las fulguraciones.

Por encima de la fotosfera se sitúa la atmósfera solar, dividida en cromosfera y corona, en la que la densidad del material es cada vez menor. Sin embargo la temperatura es muy alta, el H se rompe en protones y electrones que salen del Sol a gran velocidad, formando el viento solar.

- 1 Con un telescopio observa **por proyección**, como se muestra en la fotografía, las manchas solares. Nunca se debe mirar al Sol directamente pues puede provocar graves daños en los ojos. Ni siquiera los filtros oscuros (radiografías, películas veladas, cristales ahumados) son totalmente seguros. Es mejor proyectar la imagen del Sol sobre una pantalla y mirar allí la imagen formada.



- 2 En la fotografía se aprecian algunas manchas solares. Mide con una regla el radio del Sol en la fotografía y el tamaño de alguna mancha. Calcula el tamaño real de esa mancha (recuerda cuál es el radio real del Sol: 700.000 km). Compara el tamaño de la mancha con la Tierra.



Los planetas

Para desarrollar las cuatro actividades siguientes necesitas consultar la tabla de datos situada al final del tema.

- 3 La lámina 10 consiste en unos ejes de coordenadas graduados. Sitúa en estos ejes cada uno de los planetas según su radio y densidad (ver estos datos en la tabla). Los planetas suelen clasificarse en dos grupos, los terrestres (rocosos) y los gigantes (gaseosos). ¿Qué planetas están en cada uno de esos grupos? ¿Cuáles son las características comunes de los planetas terrestres?

- 4 La aceleración de la gravedad, en relación a la terrestre, se calcula mediante la fórmula

$$g_p = \frac{R_p d_p}{R_T d_T} g_T$$

(R_p = radio del planeta, R_T = radio de la Tierra, d es la densidad y g la aceleración de la gravedad)

Por ejemplo, para Marte, $g_{\text{Marte}} = \frac{3400 \times 3,9}{6400 \times 5,5} g_{\text{Tierra}} = 0,38$ veces la gravedad terrestre.

Una persona que pese 60 kilos en la Tierra pesaría en Marte $60 \times 0.38 = 23$ kilos. Calcula el valor relativo de la gravedad de cada planeta respecto a la terrestre. ¿Cuánto pesarías en Mercurio? ¿Y en Júpiter? ¿Y en el Sol?

- 5 La masa de un cuerpo esférico de radio R y densidad d se calcula así:

$$M = \text{Vol} \times d = \frac{4}{3} \times \pi \times R^3 \times d \approx 4.2 \times R^3 \times d$$

Averigua la masa de cada planeta. Tienes que utilizar unidades coherentes: como la densidad viene en g/cm^3 , expresa el radio también en cm , con lo que obtendrás la masa en g . Es conveniente utilizar notación científica. Por ejemplo,

$$M_{\text{Tierra}} \approx 4.2 \times (6400 \times 10^5)^3 \times 5.5 \approx 6 \times 10^{27} \text{ g}$$

¿Qué planetas tienen mayor masa, los terrestres o los gaseosos? ¿Cuántas «tierras» harían falta para igualar la masa de Saturno?

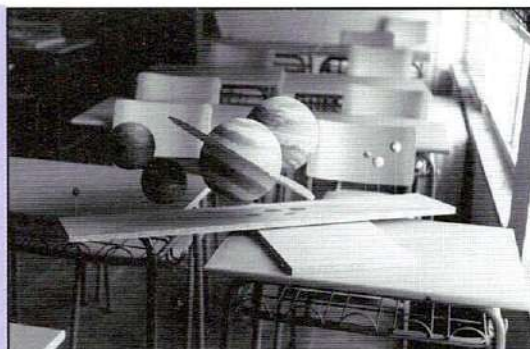
Relaciona la masa con la atmósfera. ¿Qué planetas tienen una atmósfera más densa, los planetas pesados o los ligeros?

- 6 ¿Cuál es el factor determinante para que haya estaciones en la Tierra? Describe cómo crees que serán las estaciones en los demás planetas. ¿Cuáles no tienen estaciones?



1 (**)

Confeccionar una maqueta con los planetas a escala de tamaños. Puedes utilizar esferas de porexpán o bolas de corcho de tamaños adecuados y pintarlas con los colores típicos de cada planeta utilizando témperas.



Descripción de los cuerpos planetarios

Mercurio

Su lenta rotación, ausencia de atmósfera y cercanía al Sol hacen que sus temperaturas sean extremas. Su superficie repleta de cráteres de impacto indica que su corteza no se renueva; hace mucho que dejó de tener actividad geológica. No tiene satélites.

Venus

La superficie rocosa de Venus es parecida a la de la Tierra, pero sin océanos. La densa atmósfera de dióxido de carbono (CO_2) provoca un intenso efecto invernadero y sólo nos deja ver sus nubes desde los observatorios terrestres. Su rotación es retrógrada (en sentido opuesto a su traslación) y no tiene satélites.



La Tierra

El planeta azul presenta algunas peculiaridades: sus océanos de H_2O , una atmósfera extraña formada por nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), gran actividad geológica y el hecho de ser el único en el que se ha desarrollado la vida inteligente.

La Luna tiene una estructura similar a la de la Tierra, aunque su densidad es menor, $d=3,3 \text{ g/cm}^3$, y carece de atmósfera. Su rotación está sincronizada con su traslación alrededor de la Tierra debido a la cercanía entre ambos cuerpos. Por sus tamaños relativos se puede considerar al sistema Tierra-Luna como un planeta doble.



Marte

Es algo menos denso que los planetas anteriores, aunque de constitución similar. Destaca en su superficie el volcán Olympus Mons, de 27 km de altura, el más alto de todo el Sistema Solar. Los casquetes polares están formados por hielos de agua y de CO_2 , y cambian de aspecto con las estaciones marcianas. Es posible que buena parte de su superficie esté impregnada de agua helada. Los famosos canales de Marte fueron excavados por caudalosos ríos, por lo que se cree que el clima tuvo que ser diferente, con mayor temperatura y una atmósfera más densa, en otros tiempos.

Tiene dos satélites, **Phobos** y **Deimos**, ambos muy pequeños (unos 20 km) y de forma no esférica. Son asteroides capturados por la gravedad de Marte.



Los asteroides

Constituyen un enjambre de pequeños cuerpos rocosos cuyas órbitas se sitúan entre la de Marte y la de Júpiter. Sus tamaños son muy variados, desde los 500 km de radio de **Ceres**, el mayor de ellos, hasta los pocos metros de otros muchos. Cuando alguno es atrapado por la atracción gravitatoria de la Tierra y cae sobre ella, la fricción con la atmósfera lo volatiliza y deja en el cielo un breve rastro brillante: surge así una **estrella fugaz**. En ocasiones, si es de tamaño suficiente, no se desintegra del todo y llega a caer en la superficie terrestre: se trataría entonces de un **meteorito**.

Júpiter

El gigante de los planetas es gaseoso; no tiene ninguna superficie sólida y sólo podemos ver su densa atmósfera de H y He coloreada por nubes de amoníaco (NH_3) y metano (CH_4). Destacan en ella diferentes bandas paralelas al ecuador y la Gran Mancha Roja: un enorme remolino, un anticiclón, que permanece estable desde hace al menos 300 años. La dinámica atmosférica se debe al gran calor interno de Júpiter. A causa de su rápida rotación está muy achatado. Tiene un débil anillo y numerosos satélites, entre los que destacan los cuatro descubiertos por Galileo.



Ío: no tiene ningún cráter pero se han fotografiado volcanes en erupción que expulsan al exterior vapores de azufre procedentes del manto, que debe de estar fundido. Esta alta temperatura interior se explica por las intensas fuerzas de marea causadas por su órbita de gran excentricidad. El núcleo probablemente sea rocoso, formado por silicatos. Su densidad media es de $3,5 \text{ g/cm}^3$.

Europa: su superficie es un mar de agua helada con numerosas grietas por las que el agua líquida que debe de haber en el manto sale al exterior. Su núcleo está formado por rocas y su densidad es $3,4 \text{ g/cm}^3$.

Ganímedes: es el mayor de los satélites del Sistema Solar, superando incluso al planeta Mercurio. Su densidad de $1,9 \text{ g/cm}^3$ hace pensar en que sus componentes son rocas y agua. La superficie es agua helada, con cráteres y grietas.

Calisto: de estructura y densidad similar a las de Ganímedes, su superficie está totalmente llena de cráteres, sin grietas ni signos de actividad.



Saturno

El segundo planeta por su tamaño constituye uno de los objetos más llamativos para la observación telescópica, debido a sus anillos. Apenas tienen 1 km de espesor y están formados por una multitud de pequeñas rocas heladas. Es muy parecido a Júpiter en todo. Su menor densidad indica un núcleo más reducido lo que también explica su achatamiento más acusado.



Entre sus múltiples satélites destaca **Titán** cuya superficie quizá sea un océano de metano en parte helado. Tiene una atmósfera más densa que la terrestre, formada por nubes altas de hidrocarburos y, sobre todo, por N_2 .

Urano

El primero de los planetas que no es visible a simple vista fue descubierto por William Herschell en 1781. La inclinación de su eje de rotación hace que el clima y las estaciones en Urano sean peculiares. Es similar a Júpiter y Saturno, pero genera mucho menos calor interno por lo que su atmósfera es tranquila. Tiene varios anillos y 15 satélites.

Neptuno

Su existencia fue predicha y su posición calculada matemáticamente en 1846 por Adams y Leverrier teniendo en cuenta las perturbaciones detectadas en la órbita de Urano. Su atmósfera es muy activa, lo que indica un importante calor interno.

Tiene algunos anillos y 8 satélites, entre ellos **Tritón**, cuya órbita retrógrada está muy inclinada respecto al ecuador de Neptuno, por lo que se cree que es un asteroide capturado. Su superficie es una mezcla de N_2 y CH_4 helados y presenta signos de actividad volcánica.

Plutón

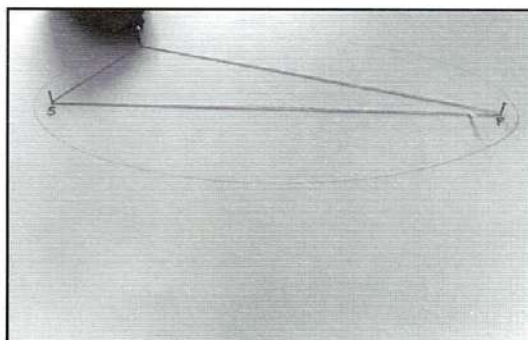
Apenas tenemos información del último de los planetas hasta ahora conocidos. Con su satélite **Caronte** forma más bien un planeta doble. Su pequeño tamaño (menor que el de la Luna) y su órbita hacen pensar más en un gran asteroide que en un verdadero planeta.

Los cometas

Son pequeños objetos de órbitas muy excéntricas. Consisten en una 'bola de nieve sucia', es decir, de agua helada mezclada con otros componentes (monóxido de carbono CO , CO_2 , silicatos). Cuando están muy lejos del Sol permanecen helados, pero, al acercarse, parte de sus materiales se evaporan y forman la cabellera o coma, que rodea al núcleo, y la cola, de gran tamaño pero baja densidad. Es esta cola lo más espectacular de los cometas vistos desde la Tierra.



- 7 Utilizando el método del jardinero, dibuja la órbita del cometa Halley. Si utilizas una cartulina de 50x70 cm, traza una recta por la mitad y sitúa dos clavos pequeños en S y F, distantes entre sí 34,7 cm. S representa la posición del Sol y F es el otro foco de la elipse. Coloca una cuerda muy fina anudada de forma que encierre los dos clavos; debe medir en total 70,6 cm. Coloca un lápiz en el interior de la cuerda y desplázalo estirando ésta al máximo.



Puedes también dibujar a la misma escala las órbitas de varios planetas como circunferencias, con centro en S y con los siguientes radios: 1 cm para la Tierra, 5,2 para Júpiter y 30,1 para Neptuno. Para más detalles, Arribas, Rivière, *Taller de Astronomía*, Ed. Equipo Sirius.



Francisco Anguita, *Geología Planetaria*, Marenostrum ediciones, colección Arjé nº 2, 1993.



1. La densidad en condiciones normales del hidrógeno es de $0,00009 \text{ g/cm}^3$. ¿Cómo se puede explicar entonces que la densidad media del Sol sea de $1,4 \text{ g/cm}^3$?
2. Calcula la masa del Sol. ¿Cuántas veces es mayor que la masa de la Tierra?

3. ¿Por qué es tan alta y uniforme la temperatura en Venus?
4. ¿A la de qué planeta se parece más la superficie de la Luna? ¿Cómo crees que será la temperatura en la Luna?
5. ¿Cuáles son los planetas más parecidos a la Tierra? Indica algunas diferencias importantes entre ellos.
6. Resume las características que diferencian los planetas terrestres de los gigantes exteriores.
7. ¿Por qué la Tierra está mucho menos achatada que Júpiter o Saturno?
8. ¿En qué se parecen y en qué se diferencian los asteroides y los cometas? ¿Por qué los asteroides no forman ninguna cola como los cometas?

DATOS DE LOS PLANETAS

Cuerpo	Rotación	Traslación	Inclinación del eje	Radio (km)	Densidad (g/cm ³)	Núcleo	Manto	Superficie	Temperatura (°C)	Atmósfera
Mercurio	59 días	88 días	28°	2450	5.4	metal	roca	muchos cráteres	-180 , 430	muy tenue
Venus	-243 d	225 d	3°	6050	5.1	metal	roca	volcanes, pocos cráteres	475	CO ₂ muy densa
Tierra	24 horas	1 año	23°	6400	5.5	Fe	roca	océanos de H ₂ O, hielo polar volcanes, pocos cráteres	-70 , 55	N ₂ O ₂ densa
Marte	24 h 30 m	1.88 a	25°	3400	3.9	S ₂ Fe?	roca	bastantes cráteres, hielo polar (CO ₂ ,H ₂ O)	-140 , 27	CO ₂ tenue
Júpiter	9 h 50 m	11.9 a	3°	71350	1.3	roca y metal	H	---	-150	H, He, nubes de NH ₃ , CH ₄
Saturno	10 h 14 m	29.5 a	27°	60400	0.7	roca y metal	H	---	-170	H, He, nubes de NH ₃ , CH ₄
Urano	-17 h	84 a	98°	23800	1.6	roca y metal	H ₂ O	---	-210	H, He, nubes de NH ₃ , CH ₄
Neptuno	18 h	165 a	29°	22200	2.2	roca y metal	H ₂ O	---	-220	H, He, nubes de NH ₃ , CH ₄
Plutón	6 d 10 h	248 a	?	1145	1.8	?	?	CH ₄ helado?	-220	CH ₄ muy tenue

LA TIERRA Y LA VIDA

Elementos y estrellas, planetas y tiempo, aire y agua: ¿qué sería todo eso sin vida inteligente que lo iluminase con la percepción y la comprensión?

Nosotros que poseemos el fugaz don de la vida y la conciencia nos preocupamos más, sin embargo, por pasar nuestros días agradablemente que por definir qué significa estar vivo o ser inteligente, aunque en todos los tiempos los hombres y mujeres han deseado comprender qué sentido podían tener sus propias vidas. Algunos hasta han buscado significados más universales. Los que han proseguido esa búsqueda científicamente han llegado hasta las fronteras mismas de la vida y no han encontrado ningún límite claro entre lo vivo y lo no vivo.

Preston Cloud, *El cosmos, la Tierra y el hombre*

Origen del Sistema Solar

Para escribir la historia del Sistema Solar es preciso relacionar todos los datos disponibles y encajarlos en una teoría conjunta que sea coherente. A través de numerosas investigaciones en distintas ciencias, se ha ido perfilando la evolución de nuestro sistema planetario, aunque con muchas lagunas y cuestiones todavía mal comprendidas. Los nuevos datos aportados por las misiones espaciales ahora en curso y los que aportarán las futuras seguramente cambiarán nuestras ideas al respecto en un plazo muy breve. Por ahora, las principales fases evolutivas parecen ser las siguientes:

1.- Nebulosa. Una enorme, dispersa y fría nube, formada por H, He y trazas de otros compuestos, que permanece estable.



2.- Contracción y rotación. La explosión de una supernova en las proximidades desencadena la contracción gravitatoria, acumulándose la materia en el centro. Allí nace el Sol mientras que el resto de la nebulosa comienza a girar, aplanándose hasta quedar como un disco, en rotación alrededor de la estrella central.

3.- (a) en el interior:

Acreción. Todas las partículas están girando en torno al Sol central. Las que tienen órbitas próximas van chocando entre sí y agrupándose: hay menos partículas, pero son cada vez mayores (planetésimos). Predominan los silicatos (rocas) y los metales. Hay poca cantidad de volátiles (H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4).



3.- (b) en el exterior:

Contracción gravitatoria. Se forman pequeñas nebulosas que repiten el mismo proceso que la nebulosa inicial, pero no tienen suficiente material como para generar otras estrellas. Así se van formando los grandes planetas con sus cortejos de satélites. Predominan el H, el He y sustancias volátiles. Hay pocos metales y silicatos.

4.- Bombardeo. Se han formado los protoplanetas, pero aún quedan muchos restos que caen continuamente sobre los cuerpos principales. Los impactos hacen que las superficies de los planetas terrestres estén tan calientes que se funden, y así los materiales más densos (metales) se van hundiendo y los más ligeros (rocas) quedan encima. Algunos impactos especialmente catastróficos podrían explicar las rotaciones retrógradas (Venus y Urano) y el origen de la Luna. Desgasificación: los gases encerrados en el interior, que está muy caliente, van saliendo bruscamente al exterior. Si el planeta consigue retenerlos se empezarán a formar las atmósferas.

5.- Estabilización. Se consolidan las órbitas y desaparecen los cuerpos que estaban en trayectorias inestables. Las fuerzas de marea provocan las rotaciones sincrónicas de muchos satélites.

El calor interno (de origen gravitatorio acumulado en la formación del planeta o de origen radioactivo) se va gastando en actividad geológica (que recicla la corteza y borra los cráteres antiguos) en los planetas terrestres. En los planetas exteriores el calor interno provoca la circulación atmosférica (vientos, bandas, remolinos).

Finalmente se consolidan tanto la estructura interior como las atmósferas de los planetas. Continúa, pero en menor grado, la caída de meteoritos y la consiguiente formación de cráteres de impacto.



Evolución de la Tierra

La **atmósfera** se formó porque el fuerte calor interno inicial provocó un intenso vulcanismo. Esto, junto al bombardeo por meteoritos, permitió escapar a la mayoría de los gases que habían quedado retenidos en el interior.

Presumiblemente hubo H_2O , CO , CO_2 , NH_3 y CH_4 . Una atmósfera sin O_2 , completamente irrespirable, que, paradójicamente, es muy adecuada para los comienzos de la vida. Como no había capa de ozono, los rayos ultravioletas (UV), muy energéticos, llegaban a esas nubes y provocaban reacciones químicas (que se han reproducido en laboratorios) en las que se formaron espontáneamente algunos compuestos orgánicos como formaldehído ($HCOH$), cianuro de hidrógeno (HCN) y cianoacetileno (HC_3N).

Al enfriarse la atmósfera, el agua se condensó, llovió torrencialmente y se formó la **hidrosfera**, con extensos océanos bastante calientes, quizá a unos $40^\circ C$. El CO_2 de la atmósfera se fue disolviendo en el agua y se precipitó en forma de carbonatos.

I La cantidad total de agua que hay actualmente en la superficie terrestre es de 1.360 millones de km^3 . Si la Tierra fuera una esfera perfecta rodeada por una capa de agua, ¿qué espesor tendría esa capa?

En masas de agua poco profundas se disolvieron y acumularon los compuestos orgánicos formados en las nubes, originando el **caldo prebiótico**, en el que aparecieron sustancias orgánicas más complejas y más próximas a las vitales: aminoácidos y azúcares (como la glucosa).

De alguna manera que no comprendemos bien, en ese caldo prebiótico espeso algunas moléculas orgánicas sencillas sufrieron un proceso de polimerización que dio lugar a cadenas de proteínas y ácidos nucleicos, que son los componentes fundamentales de la materia viva.

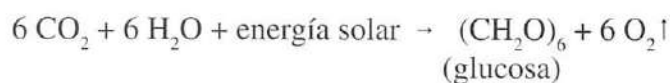
La materia disuelta en la «sopa primitiva» se concentró en el interior de pequeñas gotas dando lugar a los **protobiontes**, precursores de los primeros organismos vivos, dotados de una química e identidad propia. Para alimentarse y duplicarse necesitaban retener los nutrientes orgánicos del caldo prebiótico y producir complejas y precisas reacciones químicas con ellos.

Es de suponer que el metabolismo y la herencia de la información genética evolucionaron conjuntamente, transformándose los protobiontes en **células**, frágiles aunque suficientemente resistentes para reproducirse y formar generaciones de descendientes capaces de obtener energía del medio en el que viven y de utilizarla en la reproducción de sus estructuras.

Las primeras células eran probablemente heterótrofas y obtenían la energía de las moléculas orgánicas que flotaban en la superficie de los océanos primitivos, verdadero «caldo nutritivo».

Quizá bajo la presión del agotamiento del caldo prebiótico la selección natural comenzó a actuar y aparecieron los primeros organismos capaces de realizar la **fotosíntesis** hace 3.500 millones de años.

Similares a las actuales algas verdeazuladas y bacterias, probablemente eran organismos unicelulares sin núcleo diferenciado (procariotas), que utilizaban la energía solar para fabricar sus nutrientes a partir de compuestos inorgánicos (autótrofos):



De esta manera, la atmósfera comenzó a contener algo de O_2 . Muy poco al principio, pues todo el liberado en la fotosíntesis oxidaba activamente las rocas y los gases. Hace unos 2.500 millones de años comenzó a formarse una capa de ozono (O_3) protectora frente a los rayos UV y a acumularse O_2 libre.

De nuevo como resultado de la selección natural y de la adaptación al nuevo ambiente, surgieron, hace 2.000 millones de años, las **células eucariotas**, que tienen un núcleo interior protegido de los agentes externos. Además aparecieron unos compuestos especiales, capaces de obtener energía de la oxidación de sus moléculas. Las células empezaron a **respirar**:



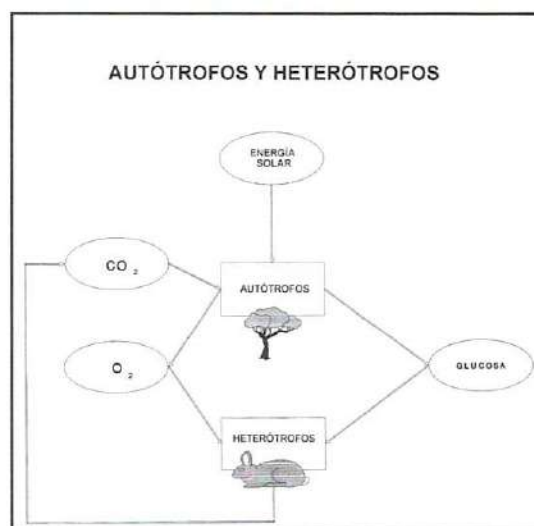
La energía así obtenida se almacena en una sustancia llamada ATP, que es capaz de liberarla cuando y donde convenga para producir las reacciones químicas necesarias para mantener la vida.

Mil quinientos millones de años atrás surgió otra importante adaptación: **la sexualidad** y la división celular por meiosis, que permitió el avance de la evolución.

Hace 800 millones de años surgieron células (llamadas heterótrofas) que «aprendieron» a obtener los nutrientes de moléculas orgánicas sintetizadas previamente por los organismos fotosintéticos.

A partir de entonces, heterótrofos y fotosintéticos (autótrofos) han evolucionado conjuntamente, reciclando en beneficio mutuo los productos de su metabolismo.

Se produjo un gran aumento en la masa global de organismos vivos y en su diversidad (explosión



de la biosfera del Cámbrico). Ya casi en *nuestros días*, hace sólo 680 millones de años, aparecen los **metazoos** (seres pluricelulares), se instalan por primera vez plantas en los continentes y aumenta el contenido de O_2 en la atmósfera. Al poco, 400 millones de años antes de nuestros días, surgen los primeros animales terrestres; los mamíferos aparecen hace 250 millones de años y los primates hace 65. En una de sus ramas evolutivas se sitúa la especie humana desde hace un millón y medio de años.

- 2 En la siguiente tabla se da el % de O_2 que, según se cree, había en la atmósfera en diferentes épocas geológicas. Confecciona una gráfica cartesiana con estos datos: sitúa el tiempo en el eje x y el % de O_2 en el eje y. Coloca en esta gráfica los acontecimientos más importantes de la evolución biológica de la Tierra (los escritos en **negrita** en esta pregunta).

millones de años	% O_2	millones de años	% O_2
4,600	0	700	1,5
4,000	0	600	2
3,000	0	400	16
2,000	0,2	100	21
1,500	0,4	10	21
1,000	0,8	1	21

El Hombre y la Tierra

La especie *Homo Sapiens* no ocupa ningún lugar privilegiado en el árbol de la evolución. Es una especie más, resultado de sucesivas adaptaciones y especializaciones provocadas por diferentes mutaciones que se iban produciendo al azar. Los paleoantropólogos han rastreado nuestros antepasados fósiles y han formado esta secuencia: Australopithecus, Homo Habilis, Homo Erectus, Homo Sapiens Neanderthalensis y Homo Sapiens Sapiens (nosotros). Esta secuencia nos permite vernos como un producto más de la evolución.

Sin embargo, el Homo Sapiens tiene algunas características un tanto peculiares. Posiblemente no sea la única especie inteligente: los delfines tienen un cerebro similar al humano. Ni es la única cuyos miembros pueden comunicarse entre sí: las aves, las abejas, las ballenas también lo hacen; otras muchas especies tienen un comportamiento social, como las hormigas o los lobos.

Pero sí es la única especie que ha desarrollado una **cultura** propia: que ha construido máquinas y artefactos, que ha elaborado un lenguaje que le permite comunicar gran cantidad de información con sus semejantes, que es consciente de su propia existencia, que ha creado las manifestaciones artísticas, la ciencia y la tecnología, que tiene la sensibilidad de enterrar a sus muertos. Todos los seres vivos tienen su herencia biológica, almacenada y transmitida por el ADN de los cromosomas, pero la especie humana, además, destaca por su capacidad para transmitir su herencia cultural.

La especie humana es la única que se plantea cuál es su papel en el Universo, que siente curiosidad por conocer y entender el mundo que la rodea, y la única que, por encima de sus posibilidades de adaptación al medio ambiente, prefiere manipular su entorno natural y adaptarlo a su antojo, no siempre con el cuidado y acierto que sería deseable.

Es muy difícil calcular numéricamente el efecto de las actividades humanas sobre la Tierra y predecir sus consecuencias a escala global. A largo plazo (hablamos de millones de años) la influencia humana es insignificante, pero no lo es si consideramos intervalos de tiempo relativamente cortos (siglos).

El aumento de la **población** es insostenible. Al ritmo actual muy pronto será imposible satisfacer las demandas alimenticias de la humanidad. La tala de bosques para su explotación agrícola o industrial y la destrucción de otros hábitats naturales por el hombre provocan la **extinción** de numerosas especies, con la consiguiente pérdida de diversidad en la biosfera.

Los efectos **contaminantes** de la sociedad industrial provocan un aumento de la concentración de CO_2 atmosférico, lo que intensifica el efecto invernadero, cuyas consecuencias podrían ser muy graves: disminución de los casquetes polares, aumento del nivel del mar e inundaciones en zonas costeras. El otro gran problema es el **agujero de ozono** detectado sobre la Antártida y causado por ciertos compuestos químicos (los clorofluocarbonados) habitualmente usados en los «sprays» y en los refrigerantes.

- 3 Busca en libros de texto de Geografía (Sociales) datos sobre la población de la Tierra desde el año 1500 (o desde antes) hasta nuestros días. Confecciona una tabla y una gráfica (eje x = años, eje y = población). ¿Puedes hacer alguna predicción? ¿Qué medidas crees que se podrían tomar para hacer frente a este problema?

Vida extraterrestre

Las características diferenciadoras de los seres vivos son: gran complejidad fisiológica, capacidad para la reproducción, para evolucionar por selección natural y para almacenar una enorme cantidad de información.

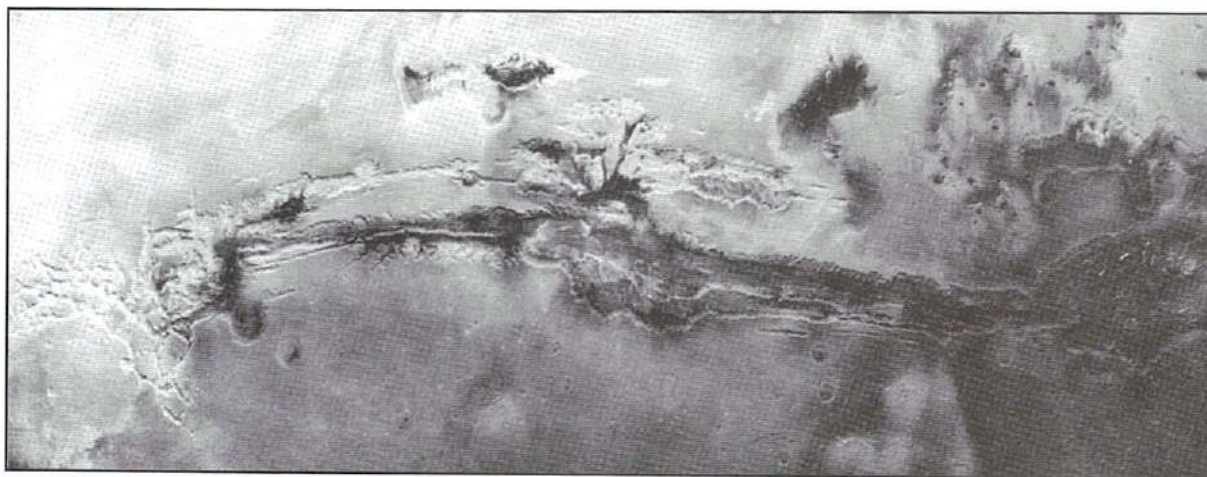
La vida terrestre, la única que conocemos, tiene como base la química orgánica, que utiliza unos pocos elementos (C, N, O, H) cuyos compuestos tienen algunas propiedades químicas notables (enlaces adaptables y muy energéticos) que los hacen especialmente apropiados para sustentar la vida. Otra característica es la necesidad del agua para formar en ella disoluciones o suspensiones coloidales. Tanto las reacciones bioquímicas como el agua necesitan una temperatura adecuada.

¿Es posible pensar en otras bioquímicas, quizá basadas en el silicio (Si), en planetas muy calientes como Mercurio, o en el hidrógeno, si se trata de los más fríos? En algunos meteoritos, llamados «condritas carbonáceas», caídos en la Tierra se han encontrado compuestos orgánicos avanzados (aminoácidos como los terrestres y otros distintos). Esto quiere decir que en la nebulosa solar, en la primera fase de la acreción y sobre algún planetésimo, pudieron darse reacciones similares a las que ocurrieron en la atmósfera primordial de la Tierra. Además, se han detectado moléculas orgánicas simples y no tan simples (H_2O , NH_3 , ácido fórmico HCOOH , HCN , HC_3N , HCOH) en muchas de las nebulosas cercanas. Puesto que estos materiales básicos son frecuentes en el Universo, parece que la probabilidad de que la vida se organice a su alrededor es alta.

En cambio, la probabilidad de que se haya seguido un camino evolutivo similar al nuestro parece extremadamente pequeña. Adaptaciones tan específicas como las originadas por la fotosíntesis y el oxígeno, que permitieron un desarrollo de organismos superiores son difícilmente imaginables. Y el salto cultural parece algo absolutamente excepcional. Los extraterrestres, si los hay, estarán adaptados a su ambiente particular y serán muy diferentes.

Dentro del Sistema Solar cabe la posibilidad de que en Venus, Júpiter y Saturno exista alguna capa de nubes con temperatura adecuada para el surgimiento de la vida. Allí pudieron darse algunos primeros pasos, aunque la ausencia de una superficie sólida o líquida es un obstáculo para la existencia de agregados biológicos.

Marte es el planeta que más ha atraído a los autores de ciencia-ficción. A finales del siglo pasado se creyó ver en él ingentes obras de ingeniería, así como cambios estacionales con crecimiento y descenso de la vegetación. Nada de ello es cierto. Pero en Marte hay agua, en forma de hielo, tanto en los polos como bajo la superficie y es casi seguro que hace mucho tiempo hubo enormes cantidades de agua líquida que formaron algunos valles por erosión fluvial. Así que pudieron darse las condiciones para que surgiera la vida. Si fue así, seguramente sólo habrán podido sobrevivir, en las actuales condiciones de Marte, organismos muy primitivos, del tipo de las bacterias.



Por último, unos cuantos de los satélites presentan algunas posibilidades: Ío tiene un intenso vulcanismo y temperaturas altas; en Europa hay continuos manantiales de agua líquida que aflora a la superficie y se congela; Titán es el único satélite con una espesa atmósfera de nitrógeno y quizá con un océano de metano; y Tritón mantiene actividad geológica con géiseres de nitrógeno líquido. Aún sabemos muy poco de ellos para adelantar algo más.

¿Y más allá, en otros sistemas solares? ¿Todas las estrellas tienen planetas? Todavía no se ha comprobado con total seguridad la existencia de ningún otro sistema planetario. Esto no quiere decir que no existan, sino que son muy difíciles de detectar. Hay datos como para creer que alrededor de estrellas del mismo tipo que el Sol pudieron darse con relativa facilidad los mismos procesos iniciales, y quizá un 10% de las estrellas son similares al Sol.

Posiblemente habrá un buen número de planetas en los que se han dado condiciones semejantes a las terrestres y en los que, posiblemente, haya surgido la vida. Sin embargo, los procesos evolutivos nos dicen claramente que ninguna especie aparece dos veces. Si nos preguntaran por la posibilidad de que, en algún planeta remoto, haya osos panda, nuestra respuesta sería rápida: seguro que no. Lo mismo cabe decir de la especie humana. Pero esta respuesta no nos deja satisfechos; la especie humana desea encontrar seres parecidos con los que comunicarse. Por el momento la ciencia no nos alienta mucho en este deseo: la Biología indica que sería extraordinariamente difícil que se hubiera producido un proceso evolutivo similar al humano cuyo resultado fuera otro ser vivo con nuestras mismas características (inteligencia, tecnología, cultura) aunque fuera de otra forma y otro tamaño.

Parece muy poco probable que existan otros seres inteligentes en nuestra galaxia, pero si existieran, ¿nos podríamos comunicar con ellos? Las distancias son enormes y, con nuestra actual tecnología cualquier viaje interestelar es imposible. Lo único que podemos hacer es «gritar» en

el espacio, enviando mensajes codificados con una información que cualquier ser inteligente debería entender, y escuchar atentamente cualquier señal externa con nuestros radiotelescopios.



Francisco Anguita: *Origen e Historia de la Tierra*, Ed. Rueda.

Preston Cloud: *El cosmos, la Tierra y el hombre*, Alianza Editorial.

L.E. Orgel: *Los orígenes de la vida*, Alianza Editorial.

Luis Ruiz de Gopegui: *Mensajeros cósmicos*, McGraw-Hill



1. ¿Cuál parece ser la causa de las diferencias entre los planetas terrestres y los gigantes?
2. ¿Por qué algunos planetas terrestres no tienen muchos cráteres y otros sí?
3. ¿Cuál es la causa de que la Tierra sea el único planeta con una hidrosfera?
4. ¿Por qué no hay casi nada de CO_2 en la atmósfera de la Tierra?
5. ¿Cuándo comenzó el aire a hacerse «respirable» y a qué fue debido?
6. El aumento de CO_2 en nuestra atmósfera, además de acentuar el efecto invernadero, podría beneficiar los cultivos agrícolas. ¿En qué se basa esta afirmación?
7. ¿Cuál es la razón de que no creamos en la posibilidad de vida en Mercurio?
8. Supongamos que nuestra galaxia, la Vía Láctea, tuviera la forma de una caja cuadrada de 100.000 años luz de lado y 5.000 de altura y que en ella existieran ahora mismo 50 civilizaciones tecnológicas repartidas al azar. ¿Cuál sería la distancia media entre dos de ellas? ¿Nos sería fácil comunicarnos con las civilizaciones vecinas?

PRISMÁTICOS Y TELESCOPIOS

Ante todo me procuré un tubo de plomo a cuyos extremos adapté dos lentes de vidrio, ambas planas por una cara, mientras que por la otra eran convexa la una y cóncava la otra. Acercando luego el ojo a la cóncava, vi los objetos bastante grandes y próximos, ya que aparecían tres veces más cercanos y nueve veces mayores que cuando se contemplaban con la sólo visión natural. Más tarde me hice otro más exacto que representaba los objetos más de sesenta veces mayores.

Galileo Galilei, Sidereus Nuncius.

Lentes y espejos

En 1610 Galileo utilizó por primera vez un anteojo para mirar hacia el cielo. Fue una verdadera revolución poder distinguir los satélites de Júpiter, las fases de Venus, bastantes detalles en la superficie lunar, las manchas del Sol y el enorme número de estrellas que forman la Vía Láctea.

El anteojo de Galileo estaba formado por una lente que concentraba los rayos luminosos procedentes de algún lejano objeto celeste y una lupa para ampliar la imagen así formada.

Estos dos elementos siguen siendo el fundamento de los telescopios **refractores** (anteojos o catalejos), en los que la luz se desvía al atravesar una lente (se refracta) de manera que los rayos convergen en un punto llamado foco. Allí se forma una imagen muy pequeña del objeto al que se está enfocando, así que se añade una lupa para poder contemplar esa imagen con comodidad (figura 1).

En cambio, en los **reflectores** o telescopios propiamente dichos, el encargado de recoger y concentrar la luz no es una lente, sino un espejo. Normalmente se trata de un espejo cóncavo ahuecado hasta alcanzar el perfil de una parábola. Los rayos se reflejan en ese espejo parabólico y se concentran todos en su foco.

Este tipo de telescopios tiene que tener algún sistema para llevar el haz de luz hasta el ojo. Una de las soluciones más frecuente es la ideada por Newton: un espejo (secundario o diagonal) plano

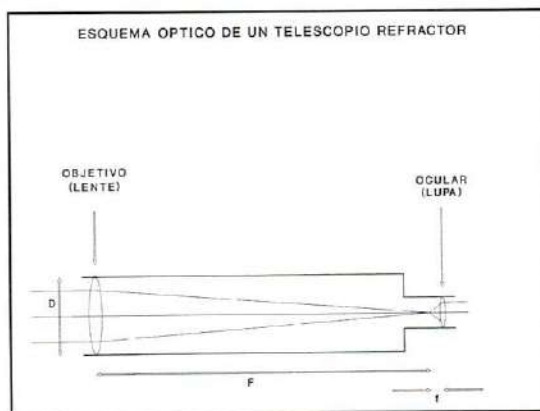
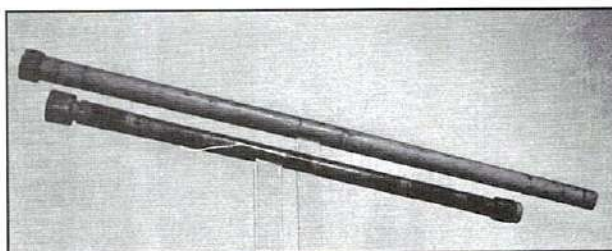


Fig. 1

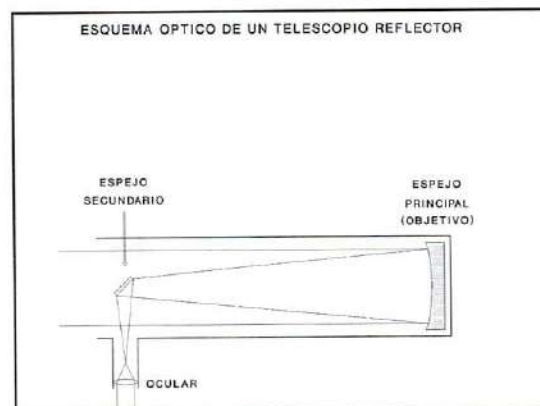


Fig. 2

y muy pequeño (para que no tape la luz que proviene del astro al que estamos apuntando), que se sitúa con 45° de inclinación, desvía de nuevo la luz sacándola fuera perpendicularmente, para que el observador pueda ver la imagen a través de la lupa sin taponar con su cabeza la entrada de luz hacia el espejo.

Los telescopios, aún los más modestos, no son excesivamente portátiles; necesitan un soporte (la montura, de la cual se tratará en otro apartado de este tema) e invierten las imágenes. Cuando miramos a través de un telescopio hacia la Luna, su parte iluminada cambia de lado, es decir, la derecha real pasa a verse telescópicamente a la izquierda, y recíprocamente.

En los prismáticos, gracias a la combinación de diversos elementos ópticos, se consigue una especie de pequeño telescopio portátil, casi de bolsillo, que no invierte las imágenes y cuya utilización no requiere guiñar un ojo. Una lente para recoger la luz, un par de prismas para enderezar la imagen y la lupa habitual forman la estructura básica de unos prismáticos (figura 3).

Todos los prismáticos llevan indicadas sus características ópticas mediante dos números separados por el signo de multiplicación $\times$ (por ejemplo, 7×30). El primero señala el número de aumentos que se consiguen y el segundo el diámetro de las lentes (en mm).

Para usos astronómicos habituales, los más aconsejables son los de 7×50 . Si el diámetro es menor, son poco luminosos y, si es mayor, los prismáticos empiezan a resultar grandes, pesados e incómodos. Un mayor número de aumentos influye en la longitud y hace que los prismáticos sean menos manejables.

En resumidas cuentas, cualquier instrumento óptico dedicado a la Astronomía debe tener un elemento (el **objetivo**) que recoja la luz procedente de los lejanos astros y otro (el **ocular**) que amplíe la imagen formada en el foco del objetivo.

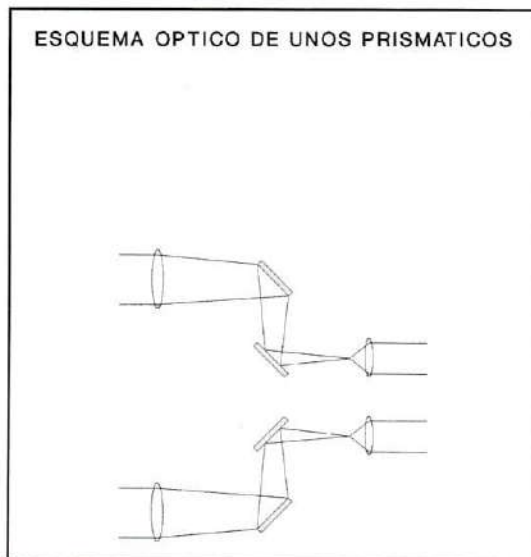


Fig. 3

Características ópticas

En todos los telescopios, sean del tipo que sean, el objetivo es la pieza clave que determina la potencia del instrumento, porque el ocular no es fijo, sino que se puede cambiar. Hay una pieza, llamada portaoculares, diseñada para que podamos poner en ella el ocular que más nos interese.

En cambio el objetivo, sea lente o espejo, es inamovible y sus características ópticas serán las que marquen la eficacia del instrumento. Los datos ópticos fijos y fundamentales de un telescopio son dos:

D, diámetro del objetivo.

F, distancia focal del objetivo (distancia a la que se forma la imagen en el foco).

Por el contrario, un dato variable es la distancia focal del ocular (f), que depende de cuál sea el ocular que estemos utilizando.

Las demás propiedades que nos interesan de un telescopio se pueden deducir de las tres anteriores (D , F y f).

Los **aumentos** (A) a los que está trabajando un telescopio se pueden calcular mediante la fórmula:

$$A = F/f$$

expresando F y f en las mismas unidades, habitualmente mm.

Es decir, el número de aumentos no es algo intrínseco a un telescopio, sino que depende del ocular que hayamos puesto. Por ejemplo, un telescopio que tenga 90 cm de distancia focal ($F=900$ mm), cuando se le pone un ocular de 20 mm de distancia focal ($f=20$ mm) nos da unos aumentos $A=900/20=45$. Los aumentos se suelen expresar mediante un número seguido del símbolo de la multiplicación ($\times$). Así, en el ejemplo anterior diríamos que hay 45 aumentos o que el número de aumentos es de $45\times$. Si a ese mismo telescopio le cambiamos el ocular por otro de $f=9$ mm, resulta que ahora $A=900/9=100\times$ (100 aumentos).

- 1) El objetivo de un telescopio es un espejo de 20 cm de diámetro y una distancia focal de 1,25 metros. Expresa F en milímetros y calcula los aumentos que tendrá este telescopio con un ocular de 25 mm, con otro de 9 mm y con un último de 6 mm.

Según la fórmula para los aumentos ($A=F/f$), parece que podríamos conseguir más y más de éstos simplemente colocando oculares con una f cada vez más pequeña. Esto es cierto sólo en teoría. En la práctica hay unos límites que no tiene sentido sobrepasar y que dependen del diámetro D del objetivo (expresado en mm). Estos límites son:

$$\text{Aumentos mínimos} = D/5$$

$$\text{Aumentos máximos} = 2 D$$

Para un telescopio de $D=6$ cm ($D=60$ mm), no resulta práctico trabajar con menos de $60/5 = 12\times$ ni con más de $120\times$.

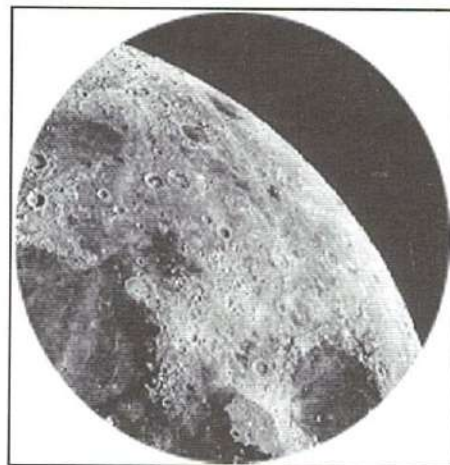
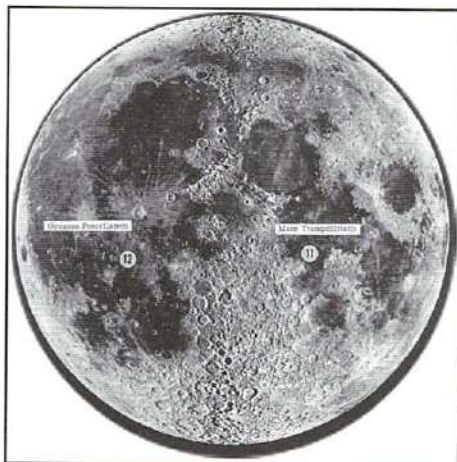
- 2) Para el telescopio de la actividad 1, de $D=20$ cm y $F=1,25$ m, ¿cuáles son los aumentos mínimos? ¿Cuál debe ser la distancia focal del ocular para conseguir esos aumentos mínimos? ¿Con qué ocular se logran los aumentos máximos? ¿Qué oculares sería conveniente tener si tu telescopio tiene $D=10$ cm y $F=80$ cm?

A medida que ponemos más aumentos en nuestro telescopio, la zona de la esfera celeste que vemos es más pequeña y, por tanto, la vemos ampliada, aunque más oscura. El diámetro de la zona visible se llama **campo** (C), se mide como un ángulo y se calcula por la fórmula:

$$C \approx 40^\circ/A$$

Ésta es una fórmula sólo aproximada, pues depende de algunos factores variables, como el tipo de ocular que estemos utilizando, pero nos puede servir para hacernos una idea de lo que cabrá en la imagen del telescopio según los aumentos que pongamos. La Luna, vista desde la Tierra, tiene un diámetro (angular) de $\frac{1}{2}^\circ=30'$. Si tenemos 40 aumentos, el campo visual será de

$C=40^\circ/40=1^\circ$, con lo que la Luna cabrá toda entera (izquierda); pero si ponemos un ocular más 'fuerte' y conseguimos 120x, entonces el campo será $C=40^\circ/120=1/3^\circ=20'$, por lo que la Luna no cabrá toda entera. La veremos muy ampliada, pero sólo una región (derecha).



Los oculares "débiles" (que dan pocos aumentos) permiten ver una zona amplia del cielo (tienen gran campo) y son muy luminosos, por lo que resultan apropiados para buscar objetos de "cielo profundo" (galaxias, nebulosas), que son muy tenues. Los aumentos mayores sólo deben emplearse cuando el objeto observado es muy luminoso (Sol, Luna, planetas).

Las dos características realmente más importantes para la observación astronómica no dependen de los aumentos, sino exclusivamente del diámetro D del objetivo del telescopio.

La **magnitud límite** (m) es la de las estrellas más débiles que un telescopio es capaz de detectar. Está claro que cuanto mayor sea m , mejor es el telescopio, pues será capaz de apreciar objetos más y más débiles. La magnitud límite sólo depende del diámetro del objetivo, pero no de los aumentos que estemos utilizando:

$$m = 5 \cdot \log D + 2$$

La expresión " $\log D$ " se lee "logaritmo (decimal o base 10) de D ". En todas las calculadoras científicas hay una tecla con la inscripción " $\log$ ". Para calcular la magnitud límite que permite ver un telescopio de 6 cm de diámetro ($D=60$ mm) hay que proceder así (con una calculadora científica):

TECLA:	6	0	log	x	5	=	+	2	=
PANTALLA:	6	60	1.778	1.778	5	8.89	8.89	2	10.89

La conclusión es que con un modesto telescopio cuyo objetivo tenga 6 cm de diámetro se pueden ver objetos de magnitud 11 prácticamente. A simple vista sólo llegamos a la 6ª magnitud.

- 3 Con ayuda de una calculadora científica, elabora una tabla con dos columnas. En la primera pondrás los siguientes valores de D : 5 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 50 cm, 1 m, 2 m y 4 m. En la segunda escribe la magnitud límite que corresponde a cada uno de esos diámetros según la fórmula anterior. Redondea a dos decimales.

Traslada los datos de la tabla que acabas de obtener a la lámina 12. Une los puntos para confeccionar una gráfica.

¿Cuál es la magnitud límite que se puede distinguir con el telescopio de Monte Palomar, que tiene 5 metros de diámetro?

La magnitud de Plutón es de 13,8. ¿Cuál es el diámetro mínimo para poderlo ver?

La magnitud de la nebulosa planetaria M 76, localizada en la constelación de Perseo, es $m=11,5$. ¿Cuál es la abertura (diámetro) mínima para alcanzar a verla?

El **poder separador** (e) de un telescopio es su capacidad para distinguir dos puntos que estén muy próximos. Se mide como un ángulo (en segundos de arco; recuerda que $1^\circ=60'$ y $1'=60''$) y se calcula mediante la fórmula (D siempre en milímetros):

$$e = 120''/D \text{ (teórico)} \quad e = 240''/D \text{ (práctico)}$$

Cuanto más pequeño sea el ángulo más potente es el telescopio. Así, uno de $D=6$ cm permitirá distinguir dos estrellas que estén separadas $120/60=2''$, pero otro de 20 cm de diámetro separará estrellas que están mucho más próximas, hasta $120/200=0,6''$ que el anterior telescopio no era capaz de distinguir.

- 4 Los astrónomos aficionados ponen a prueba sus telescopios comprobando si son capaces de distinguir dos estrellas cercanas. En las guías suele venir una lista con estrellas muy próximas (estrellas dobles). Una de ellas es ζ de la constelación del Boyero, que en realidad son dos estrellas separadas sólo $0,97''$. ¿Debería ser capaz de distinguirlas un telescopio de $D=15$ cm? ¿Cuál es el diámetro mínimo que, en teoría, podría desdoblarlas?

Esta facultad de separar puntos de luz próximos es la que determina el grado de detalle que vamos a poder apreciar sobre la superficie de la Luna o de un planeta. Con un telescopio de $D=6$ cm, no importa con cuántos aumentos, lo más que podremos distinguir será puntos separados $2''$.

- 5 Recuerda que la distancia media de la Luna a la Tierra es de unos 384.000 km. ¿Cuál es la longitud de una circunferencia que tenga ese radio (sería la longitud de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra)?
¿Cuántos grados hay en un círculo completo?
¿Cuántos minutos? ¿Cuántos segundos?
Sobre la superficie de la Luna vemos dos puntos separados por un ángulo de $1''$. ¿Qué distancia lineal (en km) hay entre esos dos puntos?
¿Qué tamaño tienen los detalles más pequeños que podemos ver en la Luna con un telescopio de 6 cm? ¿Y con uno de 20 cm? ¿Y con el de Monte Palomar?

montura

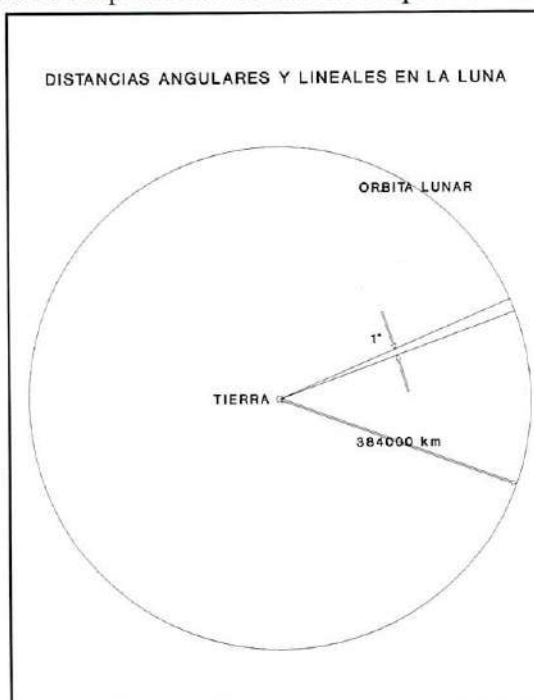


Fig 4

Sin duda la parte óptica es la más importante en un telescopio, pero también hace falta un sistema que soporte los espejos o lentes debidamente alineados, que permita su movimiento rápido para apuntarlo hacia el objeto que nos interese, que pueda mover el telescopio con suavidad para que siga apuntando hacia ese objeto (que, como todos los astros, se mueve de este a oeste, visto desde la Tierra) y que sea estable para que no tiemble con el viento (lo que hace muy incómoda la observación). Todas estas funciones las desempeña la montura o soporte del telescopio.

Se han diseñado muchos tipos de montura. La **horizontal** (también llamada acimutal, fotografía 3) permite mover el telescopio alrededor de dos ejes, uno vertical y otro horizontal. Suele ser fácil de construir y cómoda de manejar porque tiene unos movimientos "naturales" a los que estamos habituados. Pero las estrellas se mueven según paralelos de la esfera celeste. Una estrella como Antares, que se ve hacia el sur, se va desplazando hacia la derecha (de este a oeste) y además sube o baja según esté saliendo o poniéndose. Para mantener el telescopio apuntando hacia ella hay que mover el telescopio alrededor de los dos ejes y esto, que sucede al observar cualquier astro, es una incomodidad (figura 5).

Las monturas **ecuatoriales** tienen un eje paralelo al de la Tierra (fotografía 4), de forma que el telescopio se mueve lo mismo que ésta, pero en sentido contrario, deshaciendo el movimiento de rotación. Así, mantenerlo apuntado hacia un mismo astro resulta más cómodo que con una montura horizontal. Este tipo de montura es imprescindible si se quiere realizar fotografía con telescopio.

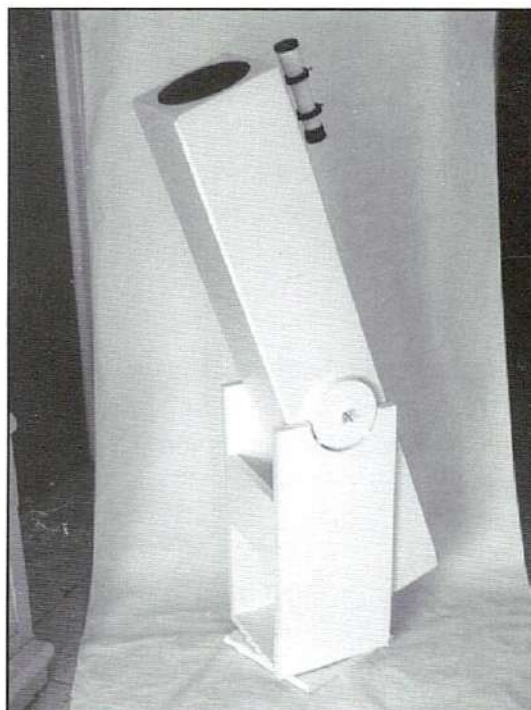


Foto 4

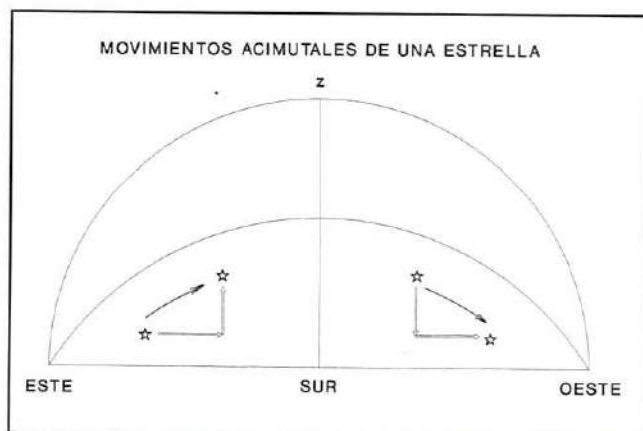


Fig 5

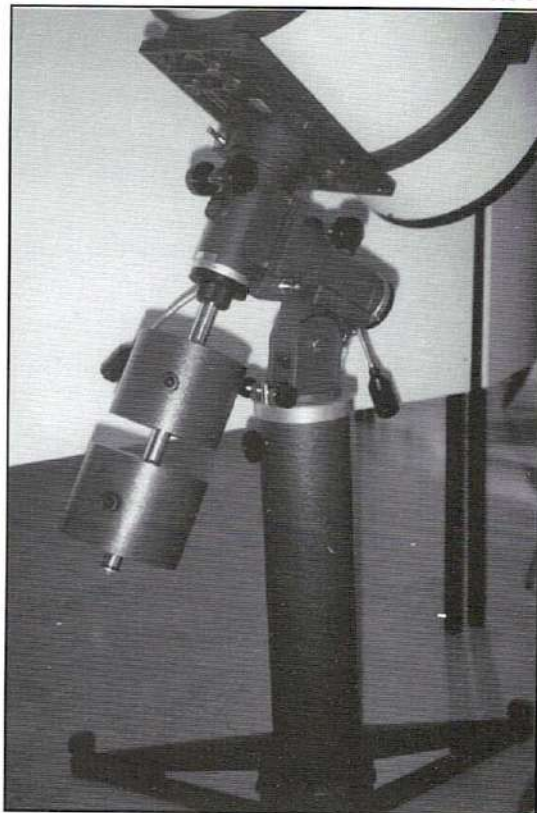


Foto 3



Pierre Bourge y Jean Lacroux, *Al acecho de las estrellas*, Ed. Fondo de Cultura Económica.

Percy Seymour, *Aventuras con la Astronomía*, Ed. Labor (Labor Juvenil)



1. ¿Cómo se llaman los dos elementos ópticos principales de un telescopio? ¿Cuál es el más importante?
2. ¿Te comprarías un telescopio de $D=6$ cm en cuya propaganda se dijese que alcanza hasta 1.000 aumentos?
3. Si tuvieras que elegir tres oculares para utilizar con un telescopio reflector cuyo espejo tiene 12 cm de diámetro y una distancia focal de 90 cm, ¿cuáles escogerías?
4. Las Pléyades forman un grupo muy llamativo en el cielo y ocupan un espacio circular de algo menos de 2° de diámetro. ¿Cuántos aumentos utilizarías para poder observar el grupo completo?
5. ¿Cuál es la característica óptica más importante de un telescopio?
6. La magnitud de la nebulosa del Cangrejo (M 1) es 8.4. ¿Es posible verla con unos prismáticos 7x50?
7. La distancia mínima entre la Tierra y Marte es de unos 70 millones de km. ¿Cuál es el tamaño de los menores detalles apreciables con un telescopio de 1 m de diámetro?
8. ¿Cuáles son los dos tipos principales de monturas que existen? Enumera algunas ventajas de una y de otra.

UNA NOCHE DE OBSERVACIÓN

Es posible practicar la Astronomía en solitario, en casa, leyendo libros de la especialidad o escrutando el cielo con ayuda de un telescopio y un atlas descriptivo. Sin embargo, es mucho más provechoso formar parte de un club o agrupación de astrónomos aficionados. Allí pueden encontrarse personas con las mismas aficiones y que se interesan por las mismas actividades. Se puede de esta manera sacar provecho de los consejos de expertos así como participar en las actividades de estos grupos y perfeccionarse en el contacto con otros miembros.

Jean Vallières, Guía del astrónomo aficionado

La fauna estelar

Las estrellas forman un variado zoo en el que siempre se encuentran curiosidades y casos interesantes. A medida que se fueron observando con detenimiento y de forma sistemática se descubrieron nuevas propiedades.

Para empezar, las estrellas no suelen estar aisladas, sino que es bastante frecuente tropezarse con **estrellas dobles**: es decir, dos estrellas tan cercanas la una de la otra que, vistas desde la Tierra sin ninguna ayuda óptica, no son distinguibles por separado, de manera que sólo percibimos un único punto de luz. Los telescopios, sin embargo, son capaces de desdoblarlas y de apreciar sus componentes individuales.

Los sistemas dobles son muy importantes en Astrofísica, porque proporcionan casi el único medio de calcular la masa de las estrellas. Algunas dobles son muy curiosas cuando se las observa con un telescopio, ya que pueden apreciarse mejor los colores de cada componente, al contrastar entre sí debido a su cercanía.

Algunas estrellas dobles famosas son: Albireo (β Cyg), compuesta por una estrella anaranjada y otra verdosa; Cástor (α Gem), formada por dos estrellas blancas muy próximas (sólo a 2"); Mizar (ζ UMa) y su acompañante Alcor, que es visible a simple vista; la estrella Polar (α UMi), junto a la que aparece una tenue estrella de magnitud 9; Sirio (α CMa), que tiene una compañera (llamada Sirio B) muy pequeña pero casi de su misma masa; y γ Vir, constituida por dos estrellas gemelas de color amarillento.

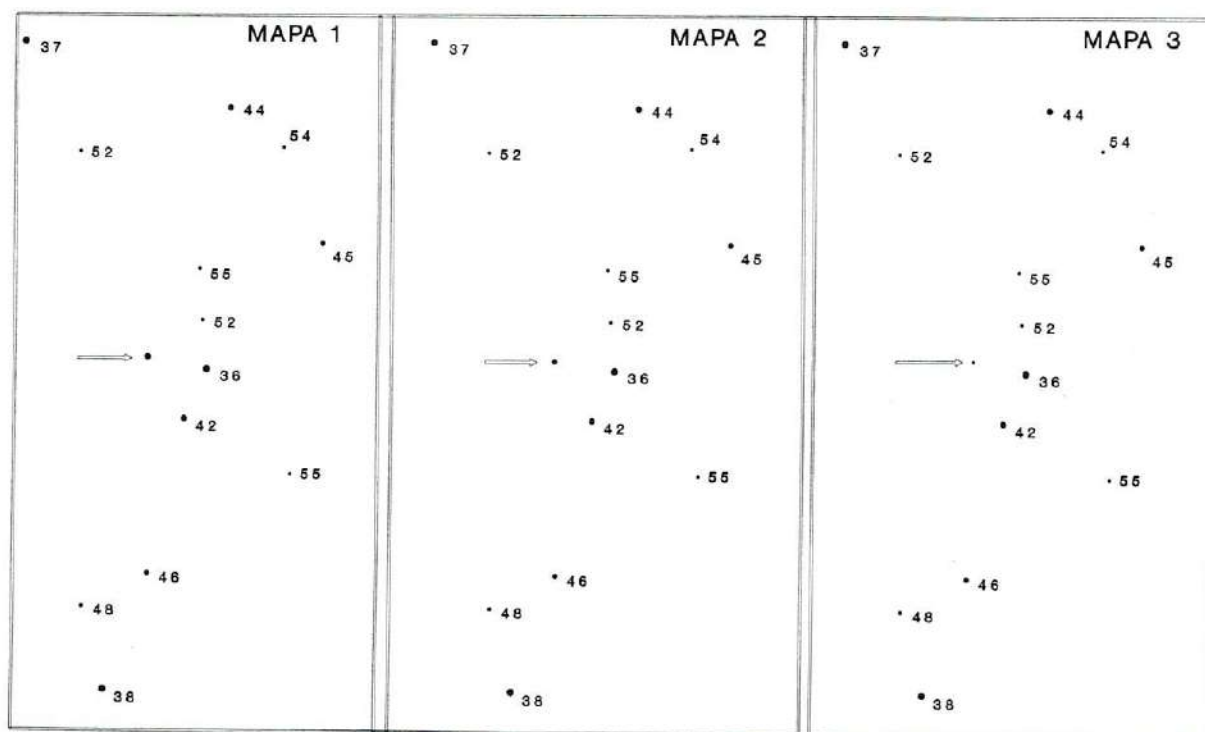
Otra particularidad bastante corriente entre las estrellas radica en no poseer un brillo constante, sino fluctuante a lo largo del tiempo, con bajadas y subidas. Las que se comportan así se llaman **estrellas variables**. Las más famosas son Algol (β Per), Mira (o Cet), δ Cep, Betelgeuse (α Ori) y Antares (α Sco). El brillo de Betelgeuse, por ejemplo, oscila lentamente entre un máximo (con magnitud 0,4) y un mínimo (magnitud 1,3) cada 6 años.

El cambio en el brillo se debe, en algunos casos, a que la estrella no está en equilibrio y es intrínsecamente variable, es decir, a veces emite más luz y a veces menos, como le ocurre a δ Cephei. En otros casos se trata sólo de un fenómeno aparente debido a eclipses producidos por alguna compañera cercana (como en el caso de Algol). Las estrellas variables son fundamentales para calcular las distancias en el Universo, como se verá en el tema 14.



1 Los astrónomos, sean profesionales o aficionados, siguen los cambios en el brillo de las estrellas variables utilizando mapas como los de la figura 1. Todos son iguales salvo en el tamaño del punto que representa a la estrella que vamos a estudiar: δ Cephei. En todos esos mapas están indicadas las magnitudes de algunas otras estrellas próximas para que nos sirvan de comparación. Observándolos atentamente uno por uno, tienes que decir cuál era la magnitud de la estrella δ Cephei en cada uno de ellos.

MAPAS PARA EL SEGUIMIENTO DE δ CEPHEI



Una vez que se han efectuado muchas observaciones de una misma estrella variable, se procede a estudiar si hay alguna regularidad o algo destacable en los datos recogidos. Para ello suele realizarse la **curva de luz** de esa estrella, que es una gráfica cartesiana con el tiempo en el eje OX y la magnitud en el eje OY.

2 En la tabla siguiente tienes la magnitud de la estrella Algol a lo largo de algunos días. Confecciona un diagrama cartesiano tiempo/magnitud para los datos de esta tabla.

Día	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
Mag	3.4	2.4	2.1	2.1	2.1	2.5	3.3	2.1	2.1	2.1	2.1	2.9	2.8	2.1	2.1	2.1	2.1	3.4

Une los puntos mediante una línea continua (la curva de luz de Algol) como lo creas conveniente. ¿Podrías decir cuánto dura el período de oscilación de Algol, el tiempo que pasa desde un mínimo brillo hasta el siguiente mínimo?

El catálogo Messier

Además de estrellas, en el firmamento podemos contemplar otros objetos. Ya conocemos muchos: los más evidentes de todos son el Sol y la Luna; luego vienen los planetas; también hemos hablado de los cometas, de los asteroides y de las estrellas fugaces. Todos ellos son miembros del Sistema Solar. Pero fuera de él existe un gran número de objetos celestes que presentan interés astronómico, la mayoría sólo visibles con ayuda del telescopio.

Charles Messier era un astrónomo francés que se dedicaba a rastrear el cielo a la caza de nuevos cometas. De vez en cuando era confundido por algún objeto borroso con aspecto similar a los cometas, pero que permanecía fijo respecto a las estrellas (los cometas, con sus órbitas alrededor del Sol, son astros errantes). Para evitar volver a confundirse decidió hacer una lista de estos objetos difusos y fijos: trabajó en ello con su sencillo telescopio desde 1760 hasta 1784. A cada objeto le otorgó un número, especificó su posición y lo describió brevemente. Así, el objeto número 1 del catálogo de Messier, que nosotros conocemos como M 1 (M, de Messier), es la nebulosa del Cangrejo, en la constelación de Tauro.

El cielo está plagado de estas pequeñas manchas borrosas. Después de la época de Messier, cada vez con mejores instrumentos, se han descubierto muchos más. Ahora sabemos que estos objetos no son todos iguales, sino que los hay de diversos tipos.

Los **cúmulos abiertos** son grupos de unas 100 ó 200 estrellas que están muy próximas entre sí, viéndose como manchas difusas que casi cualquier telescopio resuelve en un pequeño racimo de estrellas. Algunos de los más famosos pueden verse y resolverse a simple vista, como las Pléyades y las Hyades (el grupo que forma como una letra V alrededor de Aldebarán), ambos en la constelación de Tauro. Otros se ven muy bien con prismáticos, como M 44, el cúmulo del Pesebre, en la constelación de Cancer, o como M 11, situado entre Aquila y Sagittarius.

Los **cúmulos globulares** (o cerrados) son también conjuntos de estrellas, pero no del tamaño de los cúmulos abiertos, sino enormes enjambres empaquetados de forma compacta. Tienen aspecto esférico y pueden estar formados por cien mil estrellas o incluso por un millón. En el centro, aun con telescopios profesionales, no llegan a verse las estrellas una a una. Esa individualización sólo se percibe en los bordes del conglomerado. Entre los visibles desde nuestras latitudes destacan el gran cúmulo de Hércules (M 13), M 22 en Sagittarius y M 5 en Serpens.

Otros de estos objetos difusos fueron llamados **nebulosas** por su parecido con las nubes de nuestra cotidiana atmósfera terrestre. Se trata, en efecto, de auténticas nubes formadas por los gases más corrientes en el Universo: H y He. A menudo están iluminadas desde dentro por alguna estrella, como la gran nebulosa de Orión (M 42), la nebulosa del Cangrejo (M 1) o la brillante M 8 (nebulosa de la Laguna) en Sagittarius. Otras veces tienen el aspecto de un ani-



Pléyades (arriba) y M13 (abajo)





M 57 (arriba), M 42 (derecha) y M 51 (abajo a la derecha).

llo de humo como la nebulosa Dumbbell (M 27, cerca de Altair) o la M 57 (nebulosa anular de la Lyra).

Finalmente, un buen número de objetos del Catálogo de Messier son **galaxias**, verdaderos universos-islas formados por miles de millones de estrellas. Son las ciudades del Universo, los elementos de los que está compuesto. Todo el Sistema Solar está dentro de nuestra propia galaxia, que es la Vía Láctea. Pero podemos ver otras muchas parecidas. Dentro de cualquiera de esas galaxias lejanas hay, a su vez, estrellas, cúmulos (abiertos y globulares) y nebulosas que son objetos muy pequeños comparados con las galaxias.

Muchas galaxias presentan una típica forma espiral, como la más famosa de todas, la galaxia de Andrómeda (M 31), que puede vislumbrarse incluso a simple vista, o las galaxias M 33 (galaxia del Triángulo), M 81 (en la Osa Mayor) y M 51 (galaxia del Remolino, cerca de Alkaid). Otras tienen un aspecto más bien esférico, como M 87 en Virgo.



- 3 Localiza en el planisferio todos los objetos descritos en este tema.
- 4 Elige una constelación, localiza y describe los objetos más interesantes situados en ella con ayuda de alguna guía (consulta el apartado «para ampliar», al final del tema). Indica cuáles serán los más fáciles de ver con el telescopio del que dispongas.
- 5 Clasifica los objetos que aparecen en las siguientes fotografías identificando si se trata de cúmulos (abiertos o cerrados), nebulosas o galaxias. Localízalos en el planisferio.



M 20



M15



M104



M 36

Planificando la observación

Cuando se va a realizar una salida de observación astronómica, conviene previamente, conocer cuál será la situación del cielo que vamos a poder ver, para decidir hacia qué objetos dedicaremos nuestra atención, para saber de antemano cuáles se pondrán pronto por debajo del horizonte (habrá que intentar observarlos al principio) y cuáles serán visibles todo el tiempo del que dispondremos.

Todo esto lo podemos hacer con ayuda del planisferio, aunque con excepciones muy importantes: la Luna y los planetas. Dado que los movedizos astros del Sistema Solar no pueden venir señalados en el planisferio, habrá que buscar su situación para el día y hora previstos en alguna revista periódica, en un anuario, o en programas de ordenador que faciliten las efemérides (las posiciones de los astros), como ya se dijo en el tema 9.

Para elegir la fecha es importante tener en cuenta la fase de la Luna. La luz de la Luna Llena es bastante intensa y crea una débil luminosidad por todo el cielo que dificulta en gran medida cualquier observación. Ni siquiera es buen momento para observarla a ella misma: resulta tan brillante que su visión a través del telescopio es molesta. La zona de la Luna más impresionante, vista con un telescopio, es el terminador, zona de luces y sombras, de relieves contrastados. Por eso, para observar nuestro satélite es mejor hacerlo cuando no esté en fase de Luna Llena.

Y si lo que interesa es escudriñar objetos tenues de muy débil brillo (de magnitud mayor que 7), que es lo que se conoce como «cielo profundo», lo mejor es que no haya Luna, para que la

oscuridad del cielo sea máxima. Y, por supuesto, alejarse lo más posible de las luces de la ciudad.

- 6 En la siguiente tabla tienes las fechas de las fases de la Luna durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 1996.

4 X (CM)	18 XI (CC)
12 X (LN)	25 XI (LL)
19 X (CC)	3 XII (CM)
26 X (LL)	10 XII (LN)
3 XI (CM)	17 XII (CC)
11 XI (LN)	24 XII (LL)

Elige algunas fechas adecuadas para realizar una excursión astronómica nocturna si lo que se pretende es: (a) Fundamentalmente observar la Luna y otros objetos luminosos (planetas, estrellas dobles, cúmulos abiertos). (b) Realizar observaciones de cielo profundo.

- 7 Se ha decidido salir de observación nocturna el jueves 14 de noviembre de 1996, entre las 7 y las 9 de la tarde (horario oficial). En la siguiente tabla tienes las coordenadas (ascensión recta α y declinación δ de la Luna y de los principales planetas para esa fecha y para otra un poco posterior:

		Luna	Mercurio	Venus	Marte	Júpiter	Saturno
14 XI 1996	α	18 h 38 m	15 h 51 m	13 h 16 m	19 h 43 m	19 h 06 m	0 h 07 m
	δ	-18°42'	-21°14'	-6°05'	10°07'	-22°51'	-1°58'
16 XII 1996	α	23 h 10 m	19 h 08 m	15 h 50 m	11 h 40 m	19 h 34 m	0 h 07 m
	δ	-4°21'	-24°13'	-18°43'	4°44'	-22°00'	-1°55'

- (a) Localiza, con ayuda del planisferio, la posición del Sol, la hora de su puesta y la hora del comienzo de la noche cerrada (1 hora después del ocaso).
- (b) Localiza la posición de la Luna y de los planetas entre las constelaciones, así como la fase de la Luna (con ayuda de la tabla de la actividad anterior).
- (c) Identifica cuáles son los planetas que se van a poder ver a esas horas.
- (d) Busca algunos objetos telescópicos interesantes, de entre los mencionados en este tema, que se puedan ver durante el tiempo disponible. Procura que haya alguno de cada tipo.
- (e) Organiza la observación. ¿En qué orden convendría observar los distintos objetos seleccionados? ¿Cuál se pone antes? ¿Cuál va a estar visible todo el tiempo?

- 8 Debido al mal tiempo, se decidió posponer esta excursión al lunes 16 de diciembre, con el mismo horario. Planifica las observaciones que se podrán realizar si esta vez el tiempo acompaña.



Atlas de Astronomía de Joachim Herrmann (Alianza Editorial)

Guía de campo de las estrellas y los planetas de Menzel y Pasachoff, Ed. Omega

Guía del astrónomo aficionado de Jean Vallières, Ed. Alhambra.



1. Las estrellas dobles son objetos más bien brillantes, pero su separación angular es muy pequeña. ¿Cómo crees que deben observarse para intentar desdoblarlas, con pocos o con muchos aumentos?
2. Para conseguir valorar la magnitud de una estrella variable, ¿utilizarías un ocular muy potente o uno de gran campo?
3. ¿En qué se basaba Messier para distinguir una nebulosa de un cometa?
4. ¿Cuáles son los objetos típicos del «cielo profundo»?
5. Enumera todos los objetos Messier que aparecen en el planisferio entre las 18 horas y 20 horas de ascensión recta y clasifícalos.
6. ¿Qué es más grande, una nebulosa o una galaxia?
7. ¿Cuál es la razón de que los objetos del Sistema Solar no aparezcan en el planisferio?
8. ¿Por qué la zona del terminador de la Luna es la mejor para ser observada con telescopio?

DISTANCIAS A LAS ESTRELLAS

En comparación con la inmensidad del espacio, el sistema solar es un pequeñísimo y compacto conjunto de cuerpos celestes. Pero acostumbrados a considerar las distancias de nuestro propio planeta, creemos que el sistema solar es enorme. Y cuando hablamos de distancias aún mayores, los números en sí resultan demasiado grandes para comprenderlos con facilidad. Por esta razón los astrónomos han tenido que buscar otra unidad de longitud para utilizarla en lugar del kilómetro. Y la más útil que se ha encontrado hasta el momento ha sido la velocidad de la luz, que se desplaza a 300.000 km/seg y recorre la distancia del Sol a la Tierra en poco menos de ocho minutos y medio, y del Sol a Plutón en cinco horas y media. Por ello decimos que el Sol está a ocho y medio minutos-luz de la Tierra y que Plutón se encuentra a cinco y media horas-luz del Sol. La estrella más próxima al Sol está situada no a segundos, minutos y horas-luz del mismo, sino a una distancia de cuatro y medio años-luz.

Colin A. Ronan, Secretos del Cosmos

¿Cómo averiguar la distancia a la que están las estrellas? Esta pregunta parecía casi imposible de contestar, y encontrar su respuesta era imprescindible para intentar comprender cómo es el Universo. Los primeros intentos racionales para responderla se basaban en la comparación entre el brillo del Sol y el de alguna estrella. Si suponemos que Sirio es igual que el Sol, tiene que estar muy lejos para que la veamos como un simple punto de luz. Por este procedimiento sólo se consiguió hacer estimaciones muy poco exactas, que simplemente ponían de manifiesto la enormidad de esas distancias. Pero el ingenio de la especie humana es inagotable, y en el siglo XIX surgieron algunos métodos de medición bastante precisos.

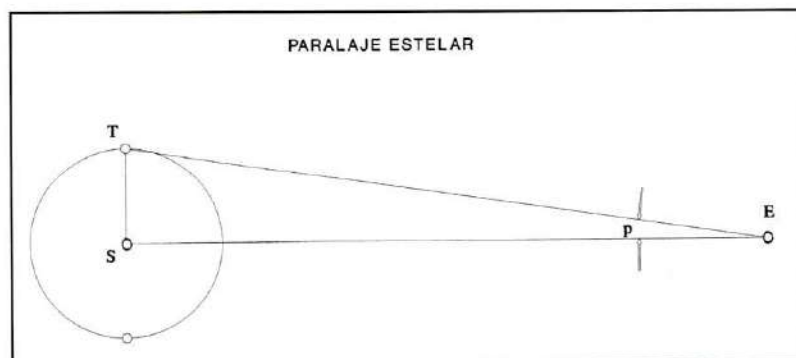
El método del paralaje

Si extendemos un brazo y levantamos el pulgar, al guiñar alternativamente un ojo u otro, veremos cómo nuestro pulgar parece desplazarse respecto al fondo de la habitación. Quizá guiñando el ojo derecho veamos el pulgar justo delante de una esquina de la puerta, pero al guiñar el izquierdo lo veremos ligeramente desplazado.

Este efecto de perspectiva se conoce con el nombre de **paralaje** y también puede observarse en las estrellas. Como la Tierra gira alrededor del Sol en un año, nuestra posición, nuestro «ojo», no tiene una posición fija. El 1 de enero y el 1 de julio (seis meses después) la Tierra ocupa posiciones diametralmente opuestas en su órbita.

En esas dos fechas, una estrella cercana se verá en posiciones diferentes con respecto al telón de fondo de las estrellas y constelaciones más alejadas. Mediante procedimientos complicados, los astrónomos han conseguido calcular el ángulo **p** (llamado paralaje de esa estrella). **p** es el ángulo con el que se vería el radio de la órbita terrestre desde esa estrella.

Como la distancia a las estrellas es enorme, estos ángulos, según se aprecia en la tabla siguiente, son siempre muy



pequeños, del orden de fracciones de 1 segundo de arco, es decir, pequeñísimos. Hasta que los telescopios no fueron suficientemente potentes no se logró medir el paralaje de ninguna estrella. La primera vez que se consiguió fue en 1838, cuando el astrónomo alemán Friedrich Bessel consiguió medir el de la estrella 61 Cygni. Pero, lo que nos importa es que ese ángulo sólo depende de la distancia, y viceversa: conociendo ese ángulo podemos calcular la distancia.

La unidad habitual para medir las distancias astronómicas es el año-luz: la distancia que recorre la luz en un año. Para simplificar los cálculos, los astrónomos han ideado una nueva unidad de distancias: el **parsec** (pc). 1 parsec (abreviatura de paralaje segundo) es la distancia a la que tiene que estar una estrella para que su ángulo de paralaje sea $p=1''$. La equivalencia entre ambas unidades es $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ años-luz}$.

I En esta tabla aparece el nombre de la estrella, su paralaje (en segundos de arco), su distancia (en parsecs) y su distancia (en años-luz). Los huecos en los nombres de las estrellas quieren decir que no hay ninguna que esté exactamente a esa distancia.

TABLA DE PARALAJES Y DISTANCIAS

<i>Estrella</i>	<i>p('')</i>	<i>D(pc)</i>	<i>D(al)</i>
	1	1	3,26
α Centauri	0,77		
	0,5 (=1/2)	2	
Sirio	0,37		
Proción	0,29		
	0,25 (=1/4)	4	
Altair	0,2		
Vega	0,12		
	0,1 (=1/10)	10	
Capella	0,07		
Aldebarán	0,05		
Achernar	0,028		
Spica	0,015		
	0,01 (=1/100)	100	
Betelgeuse	0,006		

A la vista de la tabla anterior, completa la tercera columna (la correspondiente a las distancias en parsecs).

Puedes comenzar intentando calcular a qué distancia estaría una estrella cuyo paralaje fuera de 0,333... segundos. ¿A qué fracción equivale 0,333...?

Haz lo mismo con Altair (¿puedes escribir su paralaje $p=0,2$ en forma de fracción 1/algo?

Sigue con Aldebarán, cuya distancia en parsecs también da un resultado exacto.

Si has encontrado el procedimiento a seguir, termina la tercera columna.

Completa ahora (es más fácil) la última columna, las distancias en años-luz. Recuerda que $1 \text{ parsec} = 3,26 \text{ años-luz}$.

¿Podrías encontrar una fórmula que nos dé la distancia en función del paralaje? ¿Cuánto vale el producto del paralaje de Altair multiplicado por su distancia? ¿Cuánto vale ese producto para Aldebarán? ¿Y para las demás estrellas?



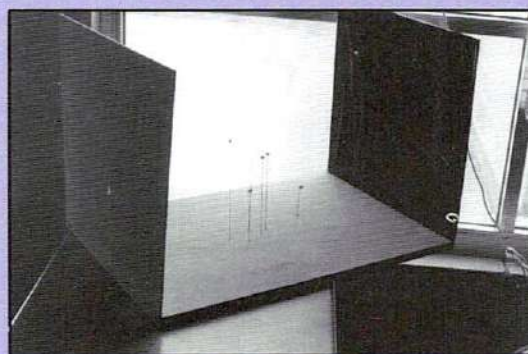
1 (**)

Puedes construir una maqueta que represente la posición real de las estrellas de una constelación, como la de Orión.

La base puede ser una plancha de aglomerado de 19 mm de grosor, 30 cm de anchura y 75 cm de longitud. Para los paneles verticales puedes utilizar contrachapado (de 5 mm de grosor, 30 cm de ancho y 30 cm de alto).

Haz un agujero de unos 2 cm de diámetro en el centro del panel vertical delantero, el cual servirá como punto de mira.

En el panel vertical del fondo pega un dibujo de la constelación (como el que hiciste en el tema 2, pero más grande) y dibuja líneas rectas verticales desde cada estrella del dibujo hasta abajo. Une los puntos extremos de esas verticales con el centro del lado delantero de la base (justo debajo del punto de mira).



Sobre cada una de esas líneas horizontales mide, a escala, la distancia que le corresponde a esa estrella y haz una señal. En cada señal clava en vertical una varilla muy fina y coloca en ella una bolita de plastilina. Hay que hacerlo de forma que cada bolita se vea en su sitio cuando se observa a través del punto de mira. Las bolitas de plastilina deben ser más grandes o más pequeñas de forma que se vean, a través del punto de mira, con la magnitud adecuada.

De este modo puedes apreciar que las figuras tan conocidas de las constelaciones sólo las vemos así desde la Tierra, desde el punto de mira. Si observas la maqueta desde cualquier otra posición verás una figura completamente diferente a la familiar de Orión (o de la constelación que hayas elegido). Los supuestos habitantes de algún planeta lejano no reconocerían nuestras constelaciones sino que, seguramente, habrían organizado el cielo según su punto de vista.

Para más detalles consulta el libro *Experimentos de Astronomía* de Broman, Estalella y Ros, editorial Alhambra, colección BREDA nº 26, experimento 23, páginas 90-93.

Lamentablemente, la medida de ángulos tan pequeños es muy difícil y los instrumentos y telescopios actuales sólo permiten calcular con precisión las distancias, por el procedimiento del paralaje, hasta un límite máximo de unos 100 parsecs. Más allá de esa distancia un mínimo error instrumental puede provocar un error considerable en el cálculo de la distancia. Con la continua construcción de telescopios más y más potentes y con la ayuda del Telescopio Espacial Hubble, puesto en órbita más allá de la molesta atmósfera terrestre, se está ampliando ese límite. Pero hay estrellas mucho más lejos todavía cuya distancia sigue siendo imposible de medir por este procedimiento.

La inventiva humana tuvo que buscar otros procedimientos, y encontró muchos más. Algunos de los más importantes son los que se describen a continuación.

La magnitud absoluta

Desde la Tierra las estrellas se ven con diferente brillo: las hay de 1ª magnitud, de 2ª, de 3ª, etc. Ésta es la **magnitud aparente**. Hay algunas estrellas, como Capella, tan brillantes que su

magnitud aparente es 0. Sirio, la más brillante del cielo terrestre, es de magnitud -1,5. Pero ¿por qué aparece tan brillante Sirio? ¿Porque es una estrella muy luminosa o porque está muy cerca de la Tierra? ¿Son todas las estrellas igual de luminosas y su brillo aparente sólo es efecto de su distancia?

Es lógico suponer que las estrellas no tienen por qué ser todas exactamente igual de potentes. Se sabe que, en efecto, las hay muy luminosas (mucho más que nuestro Sol) y otras, mucho menos potentes, que emiten al espacio bastante menos luz y calor que el Sol. Sirio aparece tan brillante porque está muy cerca de la Tierra, pero no es una estrella extraordinaria. En cambio Deneb, que parece menos brillante que Sirio, es más luminosa, más potente, pero está mucho más lejos.

Sería interesante conocer cuál es la luminosidad verdadera de las estrellas, cuál es su **magnitud absoluta**, que queda enmascarada por el efecto producido por su distancia a la Tierra.

Por otra parte, en algunos casos es posible averiguar directamente cuál es la magnitud absoluta de una estrella. Esto se consigue analizando la luz que nos llega de ella mediante instrumentos especiales, como el espectroscopio (tema 15). Conocida esta magnitud absoluta, así como la magnitud aparente (conocida para todas las estrellas), es posible deducir de estos dos datos cuál es la distancia a esa estrella. Así se dispone de otro método para calibrar las distancias.

- 2 En la lámina 14.1 hay una serie de líneas horizontales, otras verticales y otras oblicuas. El eje horizontal corresponde a las distancias, expresadas en años-luz. En el eje vertical está situada la magnitud aparente (abajo las estrellas menos brillantes, vistas desde la Tierra, y arriba las más brillantes, que tienen magnitud aparente negativa). Las líneas oblicuas señalan la magnitud absoluta.

Conociendo la magnitud aparente y la distancia de una estrella, podemos marcar un punto en la lámina 14.1 que señale la posición de la misma. Para averiguar su magnitud absoluta tenemos que localizar cuál es la línea oblicua que queda más cerca de esa estrella. Sirio, por ejemplo, tiene una magnitud aparente de -1,5, así que está en una línea horizontal intermedia entre -1 y -2, en la parte más alta de la lámina. Su distancia es de 8,8 años-luz por lo que estará en una línea vertical un poco a la izquierda de la correspondiente a 10 años-luz. El punto resultante está prácticamente en la línea oblicua señalada con un 1. Eso quiere decir que la magnitud absoluta de Sirio es 1, es decir, que se trata de una estrella «sólo» de 1ª magnitud que percibimos con mayor brillo del que le corresponde a causa de su proximidad a nosotros.

Utilizando la lámina 14.1, completa la tabla siguiente:

TABLA PARA LA RELACIÓN

MAGNITUD APARENTE - DISTANCIA - MAGNITUD ABSOLUTA

<i>Estrella</i>	<i>m_{ap}</i>	<i>d</i>	<i>M_{abs}</i>
Sirio	-1,5	8,8	
Arcturo	0	36	
Vega	0	26	
Rigel	0	900	

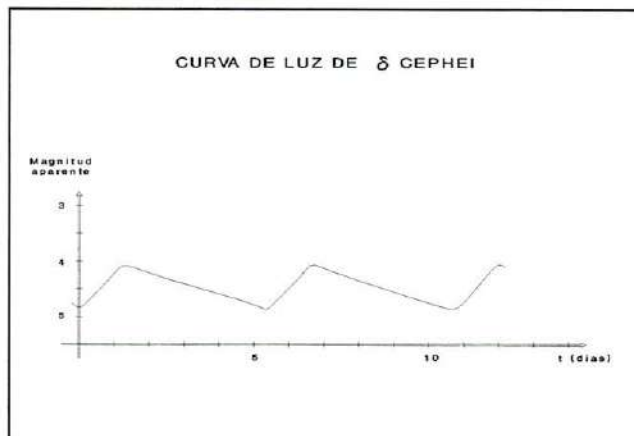
Antares	1	518
Spica	1	218
Aldebarán	1	68
Pollux	1	36
Capella	0	-0,6
Altair	0,8	2,2
Deneb	1,2	-7,1
Regulus	1,3	-0,7
Sirio B	8,3	8,8
Proción B	10,7	11,3
Barnard	9,5	6
61 Cygni	5,2	11
Castor	2	1,3
Alkaid	2	-2,1
Rasalhague	2	0,8
ζ Casiopea	3,5	4,8

Variables cefeidas

Algunas estrellas no tienen un brillo fijo y constante, sino que a veces parecen brillar más y a veces menos. Se llaman, muy adecuadamente, **estrellas variables**. Una de las más conocidas es Algol (β Persei), que oscila periódicamente entre la 2ª y la 3ª magnitud en unos tres días. Otra famosa estrella variable es Mira (o Ceti) que desciende desde la 2ª magnitud ¡hasta la 10ª!, pero muy despacio, en algo menos de un año.

Las estrellas variables se clasifican en diversos grupos, en función de cuál sea la causa de su variación. El grupo más interesante para el cálculo de distancias es el de las **variables cefeidas**, llamadas así porque su estrella tipo es la δ de la constelación de Cefeo, situada muy cerca de la esquina de esta constelación que está más lejos de la Polar.

Todas las cefeidas tienen un brillo variable que oscila entre un mínimo y un máximo en unos cuantos días. Si se confecciona una gráfica situando en el eje OX el tiempo, en días, y en el eje OY la magnitud aparente, se obtiene la **curva de luz** de esa estrella. En la figura 2 aparece la curva de luz de δ Cephei. La distancia entre un mínimo y el siguiente (o entre un máximo y el siguiente) es el período de esa estrella.



- 3** Observando la curva de luz de δ Cephei, averigua cuál es su período. ¿Cuál es su magnitud en el máximo de su brillo? ¿Y su magnitud en el mínimo? ¿Cuál es su magnitud media?

En Astronomía, como en cualquier otra ciencia, es necesario recoger y organizar gran cantidad de datos para estudiar si podemos obtener de ellos alguna información interesante, para intentar reconocer pautas, regularidades y coincidencias que permitan obtener leyes y fórmulas que nos ayuden a comprender cómo funciona la Naturaleza. Esto fue lo que hizo, a principios del siglo XX, la norteamericana Henrietta S. Leavitt, quien descubrió así una ley que ha resultado ser fundamental para el cálculo de distancias en el Universo. La siguiente actividad reproduce, muy simplificada, sus investigaciones.

- 4 En la siguiente tabla se recogen los datos (período y magnitud absoluta media) de cinco cefeidas. En la lámina 14.2 hay unos ejes de coordenadas. El horizontal corresponde al tiempo (en días) y el vertical a la magnitud absoluta media. Señala un punto para cada una de las estrellas de la tabla.

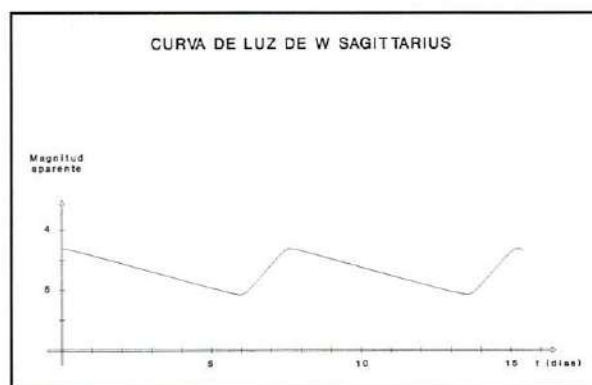
Periodo (días)	5,4	10,0	22,4	31,6	79,4
M_{abs} (media)	-3,43	-4	-4,75	-5,14	-5,94

Une los cinco puntos obtenidos mediante una línea.

Si observando una cefeida llegamos a la conclusión de que su período es de 50 días, ¿puedes averiguar, con ayuda de esa línea que acabas de trazar en la lámina 14.2, cuál es su magnitud absoluta media? ¿Y para una cefeida cuyo período es de 15 días?

Así que, a partir del período de una cefeida podemos deducir cuál es su magnitud absoluta media. El período se puede averiguar observando esa estrella de manera continua y trazando su curva de luz. Por tanto no es muy difícil hacerlo y llegar a conocer la magnitud absoluta de esa estrella. Pero su observación también nos permite saber cuál es su magnitud aparente. Y si sabemos la magnitud absoluta y la aparente podremos, ¡por fin!, hallar la distancia a la que está esa estrella. Esto es lo que vas a hacer en la siguiente actividad.

- 5 La figura 3 muestra la curva de luz de otra cefeida, la W de la constelación de Sagittarius (W Sgr). A partir de esta curva de luz calcula:
- La magnitud aparente media de W Sgr.
 - Su período en días.
 - Conocido su período y utilizando la lámina 14.2, determina su magnitud absoluta media.
 - Conocidas sus magnitudes medias aparente y absoluta, y con ayuda de la lámina 14.1, averigua la distancia de W Sgr a la Tierra.



Joaquim Herrmann, *Atlas de Astronomía*, Alianza Editorial



1. ¿Por qué no se consiguió medir el ángulo de paralaje de ninguna estrella hasta el siglo XIX?
2. Si la estrella B está el doble de lejos del Sol que la estrella A, ¿cómo será el ángulo de paralaje de B con respecto al de A?
3. Con el Telescopio Espacial Hubble se espera poder medir ángulos de una milésima de segundo. ¿Hasta qué distancia podrá llegar a medirse entonces por el método del paralaje?
4. ¿Cuál es la estrella más luminosa, más potente, de las que aparecen en las tablas de este tema? ¿Cuál es su magnitud absoluta?
5. Supongamos que una estrella tiene $m_{ap} = M_{abs} = 2$. ¿A qué distancia está? ¿A qué distancia estará otra estrella para la que $m_{ap} = M_{abs} = 4$?
6. Localiza en el planisferio todas las estrellas variables citadas en este tema.
7. ¿Qué ventaja tiene el método de las cefeidas con respecto al método del paralaje para calcular distancias a las estrellas?
8. ¿Cuál será la distancia de una cefeida cuya magnitud aparente media es 6 y que tiene un período de tres días?

VIDA Y MUERTE DE LAS ESTRELLAS

En 1844 el filósofo Auguste Comte estaba buscando un ejemplo de un tipo de conocimiento que siempre estaría oculto. Escogió la composición de las estrellas y de los planetas lejanos. Pensó que nunca los podríamos visitar físicamente y que, al no tener en la mano muestra alguna de ellos, nos veríamos privados para siempre de conocer su composición. Pero a los tres años solamente de la muerte de Comte, se descubrió que un espectro puede ser utilizado para determinar la composición química de los objetos distantes. Podemos adivinar la composición del Sol; de estrellas magnéticas A ricas en europio; de galaxias lejanas analizadas a partir de la luz que envían colectivamente los cien mil millones de estrellas integrantes. La astronomía espectroscópica es una técnica casi mágica. A mí aún me asombra. Auguste Comte escogió un ejemplo especialmente inoportuno.

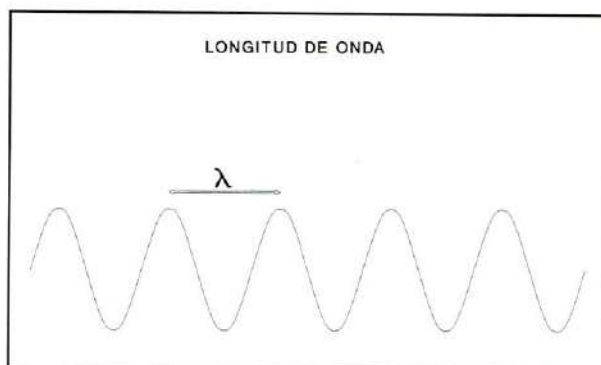
Carl Sagan, Cosmos

El espectro

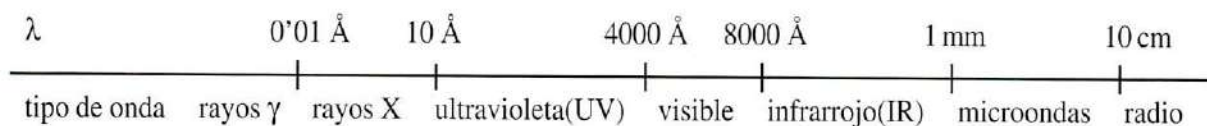
Si se hace pasar un rayo de luz solar a través de un prisma aparece el arco iris, formado por una gama de colores que varían gradualmente desde el violeta, en un extremo, hasta el rojo, en el otro. Así se descubrió que la luz blanca consistía en la mezcla de varios colores. También se descubrió que más allá del violeta llegaban otros tipos de rayos, los cuales calentaban mucho un termómetro, pero eran invisibles. Y lo mismo ocurre más lejos del extremo rojo del arco iris.

La luz está formada por muchos rayos diferentes, unos visibles con diferentes colores y otros invisibles. Todos ellos son ondas electromagnéticas que viajan a la misma velocidad, la velocidad de la luz $c = 300.000 \text{ km/s}$. Pero cada color o cada tipo de rayo tiene diferente **longitud de onda**. Una onda electromagnética puede entenderse como una vibración, como una curva que oscila continuamente produciendo crestas y valles. La distancia entre dos crestas sucesivas (o entre dos valles sucesivos) es lo que se llama longitud de onda (λ). Esta distancia es la que distingue un color de otro y un tipo de rayo de otro.

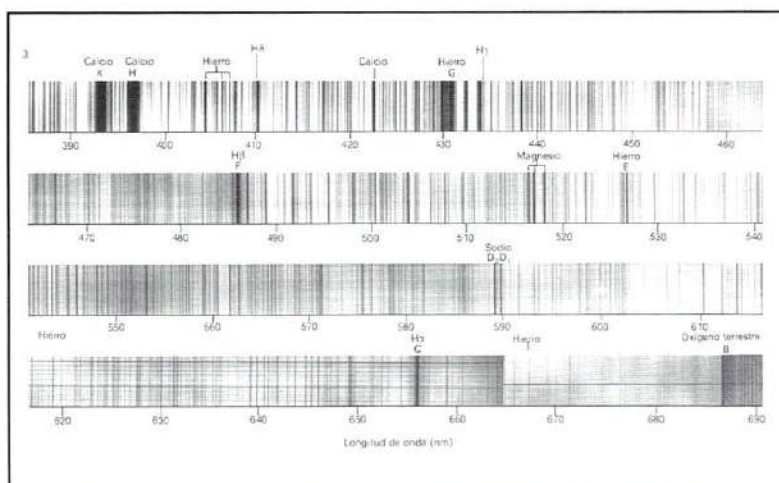
Las longitudes de onda suelen ser muy pequeñas y para medirlas se utiliza el Angstrom ($\text{\AA}$). $1 \text{ \AA} = 0'0001 \text{ micras} = 0'00000001 \text{ cm}$. Así, la luz roja tiene una $\lambda = 7.500 \text{ \AA}$ mientras que la λ de la luz violeta es de $4.000 \text{ \AA}$. Los famosos rayos ultravioletas tienen una λ aún más pequeña y ya no son visibles. La radiación infrarroja, por el contrario, tiene una λ mayor de $7.500 \text{ \AA}$ y nuestros ojos tampoco son capaces de detectarla, como ocurre con los rayos X, utilizados en las radiografías, las microondas o las ondas de radio y de televisión.



El espectro electromagnético es el conjunto de todas estas ondas:



En 1812 el óptico alemán Fraunhofer hizo pasar la luz del Sol, primero a través de una rendija muy estrecha, y después, a través de un prisma. Observó que sobre el fondo del arco iris aparecían muchas rayas oscuras, cada una situada en una posición determinada por su longitud de onda. Esta serie de líneas superpuestas al fondo del arco iris es lo que se llama el **espectro** de la luz solar.



A lo largo del siglo XIX se descubrió que cada elemento químico produce unas rayas oscuras determinadas y específicas: el hidrógeno, por ejemplo, siempre produce una raya en $4.340 \text{ \AA}$, otra en $4.860 \text{ \AA}$ y otra con $\lambda=6.560 \text{ \AA}$. Es algo parecido a los códigos de barras de las etiquetas de muchos productos, los cuales permiten identificar de qué producto se trata y cuál es su precio. Las rayas oscuras en el espectro son como las huellas dactilares de cada elemento químico. Gracias a ellas se pudo identificar la mayoría de las líneas oscuras de Fraunhofer en el espectro de la luz solar y fue posible averiguar cuál es la composición química del Sol: hidrógeno (H) y helio (He) fundamentalmente.

Clasificación espectral de las estrellas

El paso siguiente fue intentar analizar la luz de las estrellas. El instrumento necesario para hacerlo se llama espectroscopio. Acoplado a un telescopio, permite obtener el espectro de cualquier estrella, siempre que sea suficientemente brillante. Así pudieron emprenderse estudios sobre la composición química y sobre el estado físico de las estrellas, hasta entonces inabordables. Se produjo un vuelco, y los cálculos de posiciones y movimientos quedaron relegados a segundo plano, mientras una nueva ciencia se situaba en el primer puesto del interés: la Astrofísica.

El espectro de las estrellas es prácticamente nuestra única fuente de información sobre ellas. Afortunadamente es impresionante la cantidad de datos que se puede extraer de su análisis. Uno de ellos es la temperatura superficial de la estrella.

Las estrellas emiten luz de todos los colores, cuya mezcla hace que las veamos blancas. Sin embargo, en muchas es posible apreciar ciertos tonos de colores, sobre todo los rojizos, como es el caso de Betelgeuse o de Antares. El Sol es claramente amarillento. Esto se debe a que nuestra estrella lanza al espacio más cantidad de rayos amarillos que de otros colores.

Analizando el espectro de una estrella es posible determinar cuál es la longitud de onda ($\lambda_{\text{máx}}$) en la que emite un máximo de rayos luminosos. Concretamente, la longitud de onda más intensa en la luz solar es $\lambda_{\text{máx}} = 5.000 \text{ \AA}$, que corresponde al color amarillo. Y hay una ley física, la ley de Wien, que permite calcular la temperatura de esa estrella:

$$T \text{ (en K)} = 29.000.000 / \lambda_{\text{máx}} \text{ (en \AA)}$$

Para el Sol, $T = 29.000.000/5.000 = 5.800 \text{ K}$

- 1** La $\lambda_{\text{máx}}$ de Arcturus es de 5.800 Å. Este máximo, ¿está más cerca del extremo rojo o del extremo violeta de la luz visible? ¿De qué tono crees que será el color de Arcturus? Calcula, utilizando la fórmula de la ley de Wien, la temperatura superficial de Arcturus. Averigua el color y la temperatura de Vega ($\lambda_{\text{máx}}=3.000 \text{ Å}$).

Hacia 1900 se habían recogido y fotografiado los espectros de muchas estrellas. En unos aparecían pocas rayas oscuras, en otros muchas. En todos había H y He pero en algunos también se identificaron ciertos metales como el sodio (Na), el calcio (Ca) o el magnesio (Mg). Tras muchos estudios, entre los que destaca la aportación de la norteamericana Annie J. Cannon del Observatorio de Harvard en Boston, se estableció la siguiente clasificación de las estrellas según su espectro:

Clase espectral	Estrella tipo	Color	Temperatura
O	λ Cephei	azul	30.000-35.000
B	Spica	blanco-azul	10.000-30.000
A	Vega	blanco	7.500-10.000
F	Procyon	blanco-amarillo	6.000- 7.500
G	Sol	amarillo	5.000- 6.000
K	Arcturus	naranja	3.500- 5.000
M	Betelgeuse	rojo	2.000- 3.500

La designación de cada clase espectral con una letra mayúscula es un mero convenio, y el orden en el que aparecen se debe a que inicialmente se hizo una clasificación provisional siguiendo el orden alfabético. Luego se encontró más lógico seguir el orden de temperaturas o de los colores. Los estudiantes de habla inglesa utilizan una frase (Oh!, Be A Fine Girl, Kiss Me) para recordar la secuencia de letras. Una versión castellana, menos romántica, dice así: «¡Oh!, Bueno, Al Final Gastó Kilo-Metros». Cada clase espectral se subdivide en 10 partes, desde la 0 hasta la 9, para afinar más esta clasificación. Por ejemplo, una estrella G0 tendría la máxima temperatura (6.000°), mientras que la G9 tendría una temperatura de unos 5.000°. El Sol es de la clase G2.

- 2** Indica la clase espectral a la que pertenece Capella, cuya temperatura superficial es de 5.900K. ¿De qué color es?
Clasifica estas estrellas: Rigel ($\lambda_{\text{máx}}=2.320 \text{ Å}$), Altair ($T=8.400\text{K}$) y Aldebarán ($T=4.200\text{K}$).

El diagrama H-R

A principios del siglo XX, el danés Hertzsprung y el americano Russell confeccionaron un gráfico que ha resultado muy útil en los estudios de las estrellas. En su honor, se conoce como diagrama Hertzsprung-Russell o, abreviadamente, diagrama H-R.

En la lámina 15.1 hay una cuadrícula en la que el eje OX está graduado conforme a la clase espectral y el eje vertical indica la magnitud absoluta. La siguiente tabla recoge estos dos parámetros de varias estrellas.

Estrella	Clase espectral	Magnitud absoluta	Estrella	Clase espectral	Magnitud absoluta
Sol	G 2	4,8	Algol	B 8	-0,5
Aldebaran	K 5	-0,7	Rigel	B 8	-6,6
Capella	G 0	-0,6	Betelgeuse	M 2	-5,6
Sirio	A 1	1,4	Alnitak	O 9	-5,0
Castor	A 1	1,3	Pollux	K 0	1,0
Procyon	F 5	2,7	Regulus	B 7	-0,7
Spica	B 1	-3,3	Arcturus	K 0	-0,3
α Centauri	G 1	4,4	Antares	M 1	-4,0
Vega	A 0	0,5	Altair	A 7	2,2
Deneb	A 2	-6,3	Meissa (λ Ori)	O 8	-5,1
β Cas (Caph)	F 2	1,6	Alnilam	B 0	-4,2
Sirio B	A 5	11,3	Wolf 28	F 3	12,4
Acrux	B 1	-2,7	Bellatrix	B 2	-2,9
Wolf 498	M 4	8,5	61 Cygni	K 5	6,0
40 Eridani B	A 0	11,1	Procyon B	F 4	10,7
440 Musci	A 6	11,5	Kruger 60 A	M 4	10,1
Próxima Cen	M 5	10,7	Barnard	M 5	9,5
Achernar	B 5	-2,6	δ Velorum	A 0	0,1
Fomalhaut	A 3	2,1	40 Eridani A	K 0	6,0
ϵ Eridani	K 2	6,2	Lacaille	M 1	8,6

- 3** Sitúa todas las estrellas de la tabla anterior en la lámina 15.1. La mayoría de las estrellas se agrupan a lo largo de una línea diagonal. Indica cuatro estrellas que estén situadas en esa diagonal. ¿Qué estrellas son más luminosas, las calientes o las frías?
- Cita alguna estrella muy luminosa, aunque sea más bien fría. ¿Está situada en la diagonal? Nombra alguna otra estrella que esté situada cerca de ella.
- Localiza alguna estrella caliente pero poco luminosa. ¿Está en la diagonal? Indica otra estrella de las mismas características.

La diagonal donde se sitúan casi todas las estrellas se llama la **secuencia principal** y a ella pertenecen el 90% de las estrellas. Hay dos grupos importantes alejados de la secuencia principal: las gigantes rojas (como Betelgeuse) y las enanas blancas (como Sirio B).

Masa y tamaño de las estrellas

Sin ninguna duda, el dato más importante de una estrella es su masa. Sólo se puede determinar con bastante precisión la masa de una estrella cuando forma parte de un sistema doble, de

manera que ambas estrellas giren en órbitas una alrededor de la otra. Conociendo el período de revolución y la distancia entre ambas estrellas es posible calcular cuál es su masa. Sin embargo, pronto se encontró (el inglés Eddington, en 1924) una importante relación entre la masa y la luminosidad de las estrellas de la secuencia principal.

En la lámina 15.2 tienes unos ejes de coordenadas. En el OX se sitúa la masa, medida tomando como unidad la del Sol y graduada no de forma lineal sino, como ya se ha visto en otras ocasiones, en forma de potencias de 10 (esto se llama escala logarítmica). En el eje OY aparece la magnitud absoluta.

La tabla siguiente da las masas de algunas estrellas de la secuencia principal.

Estrella	Kruger 60A	ϵ Eri	Sol	Altair	Sirio	Capella	Spica
Masa	0'24	0'68	1	1'5	2'4	4'2	9

4 Busca la magnitud absoluta de las estrellas que aparecen en esta última tabla. Las encontrarás en la tabla para construir el diagrama H-R. Sitúa estas siete estrellas, por su masa y su magnitud absoluta, en la cuadrícula de la lámina 15.2. ¿Qué estrellas son más luminosas, las de masa grande o las de masa pequeña?

Con ayuda del gráfico que acabas de construir, intenta averiguar, aproximadamente, la masa de α Centauri, Fomalhaut y Vega (busca sus magnitudes absolutas en la tabla para el diagrama H-R).

Sitúa en la lámina 15.2 la enana blanca Sirio B (masa = 0'96). ¿Qué puedes decir de su posición en este gráfico? Haz lo mismo con la gigante roja Antares (masa = 30).

El tamaño de las estrellas sólo se puede medir por observación en unos pocos casos especiales. En marzo de 1995, el Telescopio Espacial Hubble fotografió Betelgeuse y obtuvo, por primera vez, una imagen circular de un tamaño apreciable. Hasta entonces las estrellas siempre aparecían como simples puntos. Sí es posible, como es habitual, calcular el diámetro utilizando otros datos indirectos.

En la tabla siguiente aparece el tamaño de algunas estrellas. Se utiliza como unidad el tamaño del Sol.

Estrella	Sirio B	Sol	Sirio A	Capella	Arcturus	Aldebaran	Betelgeuse
Diámetro	0'0115	1	1'8	15	25	50	400



1 (*)

Utilizando una cartulina de tamaño corriente (50x70 cm) dibuja a escala las estrellas de la tabla anterior.

Evolución estelar

Nacimiento: el principio de cualquier estrella es una gran nube formada por gases (sobre todo H). Cuando esta nube comienza a contraerse, la mayor parte de su materia se agolpa en el centro de la nube, donde se formará la estrella, mientras que el resto puede formar un disco plano, que gira alrededor del centro y en el que quizás aparezca un sistema planetario. En muchas ocasiones, lo que sucede es que nacen simultáneamente dos o más estrellas de la misma nube.

Aunque al principio la nube es muy difusa, al concentrarse por efecto de la gravedad, la densidad va aumentando y, en el centro, la temperatura y la concentración crecen de forma espectacular. Los átomos de hidrógeno tienen mucha energía y están muy cerca unos de otros, por lo que chocan con mucha frecuencia.

Secuencia principal: cuando en el núcleo de la protoestrella se alcanza una temperatura de unos 10 millones de grados, los choques son tan intensos que comienzan a producirse reacciones nucleares.

La principal reacción nuclear que tiene lugar en el interior de las estrellas es la reacción protón-protón. Se trata de una reacción de fusión en la que cuatro protones (núcleos de H) se unen para dar lugar a un núcleo de He, con un importante desprendimiento de energía en forma de rayos γ :



El combustible que utiliza una estrella es el H y las cenizas, los residuos, son de He.

Tras unas fases iniciales un tanto inestables (fase T-Tauri), la estrella llega a un equilibrio entre dos fuerzas contrapuestas: la gravedad, el peso de toda la masa de la estrella, que tiende a contraerla aún más empujándolo todo hacia el centro, y la presión de radiación, la energía que se produce en el núcleo y que intenta salir hacia fuera.

Mientras la estrella consiga mantener este equilibrio brillará poderosamente en el firmamento y ocupará el sitio que le corresponde en la secuencia principal en función de su masa. Si la estrella es muy masiva (por ejemplo 10 masas solares), será una estrella de la clase O o B, muy caliente y muy luminosa, y gastará muy deprisa sus reservas de hidrógeno. El Sol, de masa media, consume H a un ritmo moderado y se mantendrá en la secuencia principal durante unos diez mil millones de años (ahora mismo parece que está a medio camino entre su nacimiento y su muerte) brillando con una luminosidad mediana. Las estrellas ligeras (1/10 de la masa solar) sólo alcanzarán temperaturas relativamente bajas, serán de las clases K o M, lucirán débilmente en el cielo y convertirán H en He tan lentamente que su vida como estrellas será muy larga.

Las fases de nacimiento y de muerte de cada estrella son muy cortas (unos pocos millones de años) en relación al tiempo que transcurre en la secuencia principal (cientos o miles de millones de años).

Cadáveres estelares: inevitablemente el combustible que necesitan gastar las estrellas para lucir se va consumiendo. En el núcleo de toda estrella hay cada vez menos H y más He, de manera que siempre llega un momento en que la producción de energía es insuficiente para luchar contra la gravedad: el equilibrio se rompe y la estrella entra en su tercera edad.

Estas últimas fases de la vida de una estrella dependen acusadamente de su masa.

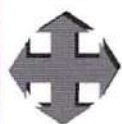
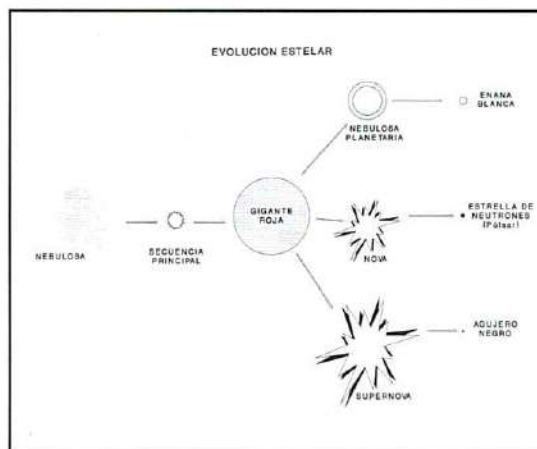
(a) $\text{masa} < 0.5$: al terminar las reacciones nucleares la estrella se contrae y se calienta, convirtiéndose en una enana blanca, muy pequeña y densa, bastante caliente, pero muy poco luminosa, que irá perdiendo brillo paulatinamente hasta apagarse del todo.

(b) $0.5 < \text{masa} < 2.5$ (como es el caso del Sol [$\text{masa} = 1$]): también se contraen y se calienta, pero, al tener una masa mayor, la temperatura aumenta lo suficiente para generar nuevas reacciones. La estrella se infla como un globo convirtiéndose en una gigante roja; expulsa parte de su envoltura, formando una nebulosa planetaria; y, en el centro, los restos se transforman en una enana blanca.

(c) $2.5 < \text{masa} < 6$: cuanto mayor es la masa, más catastrófico es el final de una estrella. Ahora los desequilibrios y las últimas llamaradas son más fuertes. La estrella también pasa por la fase de gigante roja, pero después explota, haciéndose repentinamente mucho más luminosa durante unos cuantos días (fase de estrella **nova**). En la explosión se expulsa hacia el exterior

buena parte de la masa, pero la que queda se contrae terriblemente hasta formar un objeto mucho más denso aún que una enana blanca: se convierte en una **estrella de neutrones**, una esfera de 15 ó 20 km de radio en la que se concentra una masa equivalente a dos o tres soles. Estas estrellas de neutrones tienen un movimiento de rotación muy rápido (varias vueltas por segundo) lo que hace que actúen como un faro giratorio y su luz llega a la Tierra de forma intermitente, a impulsos, por lo que recibieron el nombre de **púlsares**.

(d) masa > 6: las estrellas supermasivas tienen un final aún más dramático. Todo les ocurre en grado superlativo: pasan por la fase de supergigante roja, explotan como **supernovas**, haciéndose visibles incluso en pleno día (como la supernova observada por Tycho Brahe en 1572, dentro de los límites de la constelación de Casiopea) y se contraen finalmente de forma desproporcionada hasta concentrarse en un objeto tan denso y tan pequeño que ni siquiera la luz puede escapar de él: se ha formado un **agujero negro**.



José Luis Comellas, *Astronomía*, Editorial Rialp.



1. Escribe los nombres de todos los astrónomos citados en este tema junto al descubrimiento que hizo cada uno.
2. Indica tres datos de las estrellas que puedan obtenerse a partir de su espectro.
3. Analizando el espectro de una estrella se detecta que su máximo de emisión se produce en la longitud de onda $\lambda_{\text{máx}} = 4.000 \text{ \AA}$. ¿Cuál es su temperatura superficial? ¿A qué clase espectral pertenece? ¿Qué estrella podría ser?
4. Localiza la clase espectral y la magnitud absoluta de Regulus en la tabla para el diagrama H-R. A partir de la clase espectral, averigua, aproximadamente, su temperatura. Utilizando la lámina 15.2, calcula su masa.
5. La $\lambda_{\text{máx}}$ de la Polar es de $4.700 \text{ \AA}$. ¿Cuál es su temperatura y su clase espectral? Su distancia a la Tierra es de 600 años-luz. ¿Cuál es su magnitud absoluta (tema 14)? Sitúala en el diagrama H-R. ¿Está en la secuencia principal?

6. Algol es una estrella situada a 105 años-luz de la Tierra. ¿Cuál es su magnitud absoluta (tema 14)? También se sabe que está en la secuencia principal. ¿Cuál será su clase espectral? ¿Y su masa?

7. ¿Por qué la mayor parte de las estrellas están en la secuencia principal y sólo unas pocas en las fases terminales de gigantes rojas o enanas blancas?

8. ¿En qué tipo de cadáver estelar terminará Sirio? A partir de los datos de la lámina 15.2, indica cómo será el final de todas las estrellas representadas allí.

LA VÍA LÁCTEA

Lo que en tercer lugar observamos fue la naturaleza o carácter de la propia Vía LÁCTEA, que pudimos examinar con los sentidos gracias al anteojo, dirimiendo así con la certeza que dan los ojos todos los altercados que han atormentado durante tantos siglos a los filósofos. La GALAXIA no es, pues, otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en montón.

Galileo Galilei, Sidereus Nuncius

Aspecto visual

En noches despejadas y sin Luna se puede apreciar en el cielo una tenue y difusa banda blanquecina que atraviesa unas cuantas constelaciones: es la Vía Láctea.

Este nombre proviene de su aspecto blanquecino, lechoso. Según el mito griego Hércules, que ya desde muy pequeño daba pruebas de su tremenda fortaleza, al ir a mamar mordió con tanto ímpetu el pecho de Hera, la esposa de Zeus, que una gota de la leche materna saltó despedida hacia fuera, desparramándose por el cielo.

En otras culturas se inventaron otros mitos. Cierta tribu africana que habita en el desierto de Kalahari cree que la Vía Láctea es el esqueleto, la espina dorsal, que sostiene la bóveda de la noche sobre nosotros impidiendo que caiga. En España y en otros países cristianos se suele conocer como el Camino de Santiago.

- 1** Con ayuda del planisferio haz una lista de las principales constelaciones por las que pasa la Vía Láctea.

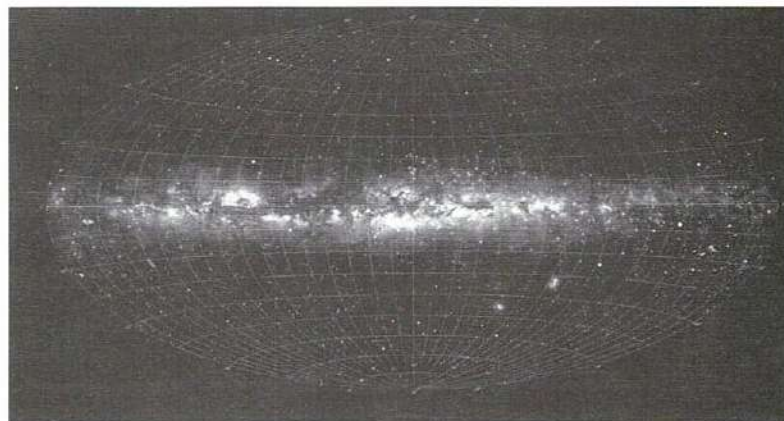
En el planisferio no viene más que el cielo que se puede ver desde nuestras latitudes. Por esa razón no está representada toda la Vía Láctea, que también recorre algunas zonas de la esfera celeste invisibles desde aquí.

Utilizando un globo celeste:

- (a) Completa la anterior lista de constelaciones por las que parece pasar la Vía Láctea.
- (b) Comprueba que la Vía Láctea forma una banda anular, que parte por la mitad la esfera celeste.
- (c) Localiza, aproximadamente, las constelaciones que estén lo más alejadas que sea posible de la Vía Láctea. Esto equivale a averiguar dónde están los polos de la misma (que haría ahora el papel de ecuador).

- 2** Una noche en la que la Luna no esté visible, dirige tu contador de estrellas hacia una constelación por la que pase la Vía Láctea y anota el número de estrellas que puedes ver a través de él. Realiza la misma experiencia dirigiendo la vista hacia alguno de los polos de la Vía Láctea. ¿Hay alguna diferencia? ¿Dónde se ven más estrellas?

La fotografía es una composición o mosaico de fotografías que muestra en su totalidad la esfera celeste, y que está centrada en la Vía Láctea tal y como la vemos desde la Tierra. La figura 1 es un esquema simplificado de la fotografía anterior. En ella están señaladas las 20 estrellas de mayor brillo, así como los principales objetos del catálogo Messier, quedando indicado con diferentes símbolos si se trata de cúmulos abiertos, cúmulos globulares, nebulosas o galaxias. La elipse central marca los límites aproximados de la banda de la Vía Láctea.



3 En la figura 1, cuenta el número de estrellas que hay dentro de los límites de la Vía Láctea, es decir, dentro del óvalo central. ¿Qué porcentaje representan con respecto al total de estrellas dibujadas?

Haz lo mismo con los cúmulos abiertos que aparecen en la figura 1. La mayoría de los cúmulos abiertos, ¿se ven cerca o lejos de la Vía Láctea?

Repite el recuento y responde a esta pregunta ¿tienden a verse cerca o

lejos de la Vía Láctea (a) las nebulosas, (b) las galaxias y (c) los cúmulos globulares?

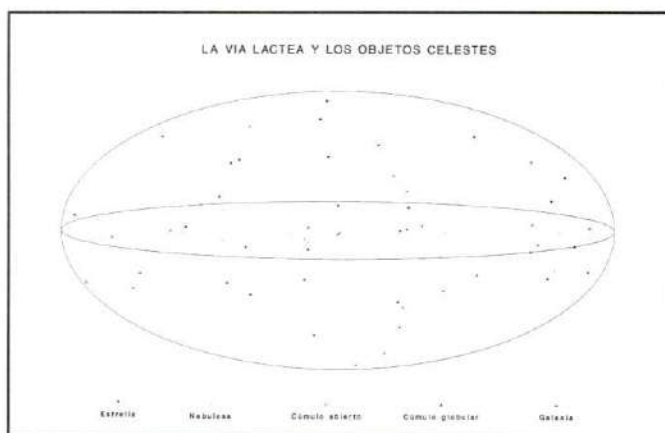


Fig. 1

Forma y tamaño

A partir del siglo XVIII, los astrónomos intentaron comprender cuál es la forma y el tamaño del Universo. El primero en hacerlo fue William Herschell, el descubridor de Urano. Llegó a la conclusión de que la Vía Láctea era un inmenso enjambre de estrellas con forma de lente y que el Sol estaba situado más o menos en el centro.

Posterioros estudios, entre los que destacaron los de Kapteyn y Shapley, ya en el siglo XX, llevaron a la conclusión de que la Vía Láctea, vista desde arriba, tiene forma circular, con un núcleo central donde se aprietan densamente las estrellas y unos brazos espirales que salen del núcleo (figura 2). El diámetro es de unos 100.000 años-luz. Los cúmulos

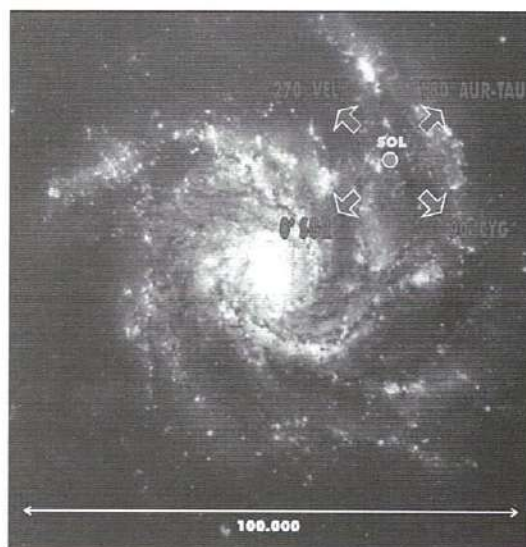


Fig. 2

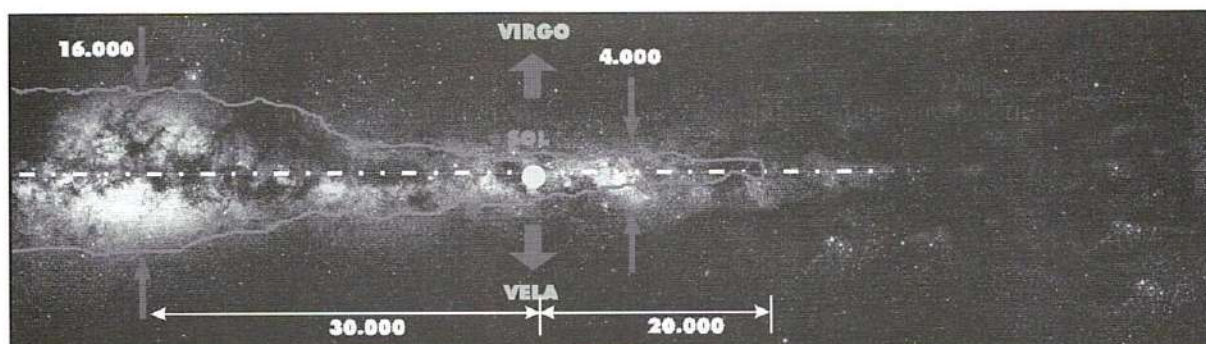


Fig. 3

abiertos y las nebulosas son parte integrante de nuestra galaxia y están, sobre todo, en los brazos espirales, donde también abunda el polvo y las nubes oscuras.

Si pudiéramos verla de perfil la Vía Láctea sería muy delgada, con un abultamiento central correspondiente al núcleo (figura 3). Los cúmulos cerrados forman una especie de halo esférico a su alrededor. Los únicos objetos que no forman parte de la Vía Láctea son las galaxias, a las que se dedica el tema siguiente.

El Sol no está en el núcleo, sino bastante lejos, a unos 30.000 años-luz del centro. Se estima que en la Vía Láctea hay unos 100.000 millones de estrellas.

En las figuras 2 y 3, 1 mm representa, poco más o menos, 1.000 años-luz, por lo que no es posible dibujar la órbita de la Tierra alrededor del Sol, ya que sería pequeñísima. El punto que señala la posición del Sol representa todo el Sistema Solar, incluida la Tierra.

¿Por qué desde la Tierra vemos esa banda blanquecina? La explicación no es muy complicada. La Tierra está, junto con el Sol, en una posición, muy excéntrica, pero prácticamente en el plano central (ilustración 3). Si se dirige la vista en cualquier dirección de ese plano central, nos tropezamos con tal cantidad de estrellas que sólo distinguimos claramente unas pocas, las más cercanas, y el resto forma una mancha difusa, la cual es más grande si se observa hacia el centro de nuestra galaxia, que coincide con la dirección de la constelación de Sagitario, y menos acusada si se observa hacia el borde externo (dirección de la constelación de Perseo).

En cambio, si se observa según una dirección perpendicular al plano de la galaxia, la vista no se encuentra con tantas estrellas y no se verá ninguna mancha difusa.



1 (**)

Puedes construir un modelo de nuestra galaxia utilizando una plancha delgada (1 mm de grosor aproximadamente) de algún plástico transparente y que sea algo rígido. El tamaño adecuado puede ser de unos 30x30 cm. Utilizando azúcar, como si cada grano fuera una estrella, y pegándola sobre la plancha de plástico puedes reproducir aproximadamente la figura de los brazos espirales (figura 2). Marca la posición del Sol mediante una bolita de plastilina amarilla o algo parecido. Para representar el núcleo central abultado puedes utilizar una bola de porexpán (corcho blanco) de unos 10 cm de diámetro, recortando de ella un par de trozos iguales y pegándolos en el centro, uno encima y otro debajo de la plancha de plástico.



Un modelo a escala

Como ocurre a menudo en Astronomía, es difícil hacerse una idea de las dimensiones de objetos tan descomunales como nuestra galaxia. Para conseguirlo se puede comparar toda la Vía Láctea con una gran ciudad, como Madrid.

La lámina 16.1 es un mapa de la ciudad de Madrid. Hay una circunferencia dibujada con centro en la Puerta del Sol y un radio de 10 km. También aparece la escala gráfica. En el centro las casas están muy apiñadas, como en el núcleo de la galaxia, mientras que en los barrios periféricos hay más espacios vacíos sin construir, como ocurre en los brazos espirales.

La equivalencia entre distancias en la galaxia y en la ciudad es la siguiente:

	Madrid	Vía Láctea
radio	10 km	50.000 a.l.
	5 km	25.000 a.l.
	1 km	5.000 a.l.
	100 m	500 a.l.

- 4** El Sistema Solar está situado a 30.000 años-luz del centro de la galaxia. ¿A qué distancia en km equivale en Madrid? Señala un punto sobre la lámina 16.1, donde tú quieras, pero que esté a esa distancia de la Puerta del Sol. Utiliza la escala gráfica y márcalo con la letra S. Completa la siguiente tabla:

Objeto	distancia real a la Tierra años-luz	distancia en Madrid metros
Deneb	1600	
Rigel	900	
Betelgeuse	520	
Antares	520	
Nebulosa de Orión (M 42)	1500	
Nebulosa de la Laguna (M 8)	4500	
Pléyades	400	
Cúmulo abierto M 37	4200	
Cúmulo cerrado M 13	20000	

- 5** Sitúa sobre el mapa de Madrid todos los objetos anteriores. Ten en cuenta que las distancias se cuentan desde el punto S, que es donde está todo el Sistema Solar. Hazlo, en cualquier dirección, utilizando la escala gráfica.

Casi todos los objetos celestes de la tabla anterior están muy cerca del punto S. El único que queda algo más alejado es el gran cúmulo de Hércules (M 13). La mayoría de las estrellas conocidas, de las nebulosas y de los cúmulos que podemos ver en el cielo están en nuestras proximidades. Es como si desde nuestra casa-observatorio (desde el punto S) sólo pudiéramos ver las casas vecinas y, estirando el cuello, parte de nuestro barrio. Del resto de la ciudad sólo podemos ver algunos edificios muy, muy altos; del resto de nuestra galaxia, sólo algunos objetos especialmente brillantes.

Para comprender mejor el verdadero tamaño de la Vía Láctea hay que hacerse una idea más detallada de las proximidades del Sol en donde se encuentran las estrellas más conocidas (Sirio, Vega, Capella, Arcturus, etc.). Dado que éstas distan 50 años-luz, como mucho, de nuestro astro, es preciso calcular la equivalencia en metros para distancias de ese orden de magnitud:

Madrid	Vía Láctea
100 m	500 a.l.
10 m	50 a.l.
2 m	10 a.l.
1 m	5 a.l.
20 cm	1 a.l.

El mapa de Madrid (lámina 16.1) es inadecuado para situar estas estrellas tan cercanas. Una distancia de 10 m es inapreciable en la escala gráfica del mapa de Madrid y una estrella a esa distancia (50 años-luz) no se distinguiría del punto S. Se necesita un mapa más detallado.

- 5** La lámina 16.2 es el plano de un piso, con su salón-comedor, cocina, baño y dormitorios. También hay una escala gráfica en la que ahora sí que podemos apreciar distancias del orden de un metro. Vamos a suponer que el Sol está situado en el centro de la mesa del comedor. Las distancias en años-luz desde el Sol hasta algunas de las estrellas más próximas son:

α Centauri (4) , Sirio (8) , Procyon (11) , Vega (27) , Arcturus (36) y Capella (45)

Calcula la equivalencia de estas distancias, en metros, en el modelo Madrid - Vía Láctea y sitúa todas estas estrellas sobre el plano del piso utilizando la escala gráfica que aparece allí. ¿En qué habitación podrían estar cada una de ellas?

Resulta que, si la Vía Láctea fuera como Madrid, las estrellas más cercanas estarían en la misma habitación que nosotros, y la mayor parte de las estrellas más brillantes y conocidas de las que podemos ver en el cielo estarían dentro de nuestra vivienda.

Conocemos realmente muy poco de nuestra galaxia, apenas nuestro piso, nuestros vecinos y algunos habitantes del barrio. Hay un gran número de otras casas y de otros barrios (otros brazos espirales de la Vía Láctea) llenos de magníficas estrellas y de otros objetos de interés como nebulosas y cúmulos, que apenas podemos distinguir forzando la vista con nuestros mejores telescopios.

Pero si el Sol está en el centro de la mesa del comedor, ¿dónde quedará la Tierra? ¿A 1 cm? ¿a 1 mm? ¿Podremos ahora dibujar su órbita aproximadamente?

Hay que descender a mayor detalle aún, calculando la equivalencia en metros (o, mejor, en cm) de las distancias típicas del Sistema Solar (que son sólo de horas-luz y no de años-luz como ocurre con las distancias a las estrellas).

Madrid	Vía Láctea
20 cm	1 a.l.
1 cm	20 días-luz
1 mm	2 días-luz
0'5 mm	1 día-luz
0'1 mm	5 horas-luz (radio de la órbita de Plutón)

¡Sigue siendo imposible dibujar la Tierra! Todo el Sistema Solar completo, hasta la órbita de Plutón, sólo mediría 1 décima de mm. Sería como la punta de un alfiler. Y ahí dentro estarían el Sol, la Tierra, la Luna y todos los demás planetas. Todo el resto de la mesa del comedor estaría vacío y, un poco más allá, aparecería otro pequeño alfiler (otra estrella), y habría algunos otros desperdigados por el piso y por cada uno de los pisos de la ciudad.



La especie humana apenas ha explorado una mínima parte de esa punta de alfiler. Sólo muy recientemente alguna nave espacial no tripulada (la Voyager 2) ha rebasado los límites del Sistema Solar y, tras varios años de viaje, está comenzando a alejarse un poco de esa punta de alfiler moviéndose lentísimamente por la mesa del comedor. Tardará aún muchos años en llegar al borde de la mesa, en acercarse a otra punta de alfiler. La empresa de explorar todo el piso es, de momento, absolutamente inabordable con la tecnología actual. Pensar en salir al rellano de la escalera, en llegar a otra casa, es, hoy por hoy, cosa sólo de la ciencia ficción.



2 (*)

Consigue un plano de Madrid del tamaño de un folio aproximadamente y pégalo sobre un cartón, sobre una plancha de corcho o de madera fina. Pega algodón sobre este plano hasta formar una figura similar a la que aparece en la ilustración 2 y obtener así una maqueta de nuestra galaxia. Señala con pintura amarilla la posición del Sol.



Motz, Lloyd: *El Universo*, Ed. Bosch.



1. ¿Por qué se observa mejor la Vía Láctea en noches sin Luna?
2. ¿Cuáles son las constelaciones por las que pasa la Vía Láctea y que nunca se ven desde nuestras latitudes?
3. ¿Por qué creyó Herschell que el Sol estaba en el centro de la Vía Láctea?
4. ¿Hay alguna estrella visible a simple vista que no esté en la Vía Láctea?

5. Cita dos estrellas de las que tienen nombre propio que no estén muy cerca del Sol.
6. ¿A qué se deben las franjas oscuras que parecen partir la Vía Láctea cuando se observa hacia la constelación del Águila, por ejemplo?
7. ¿Por qué la mayoría de las nebulosas y de los cúmulos abiertos se ven mirando hacia alguna constelación por las que pasa la Vía Láctea?
8. ¿Por qué casi todas las galaxias se ven en constelaciones por las que no pasa la Vía Láctea?

GALAXIAS

El Universo es como un desierto. Es una gran burbuja de espacio casi vacío. Imagínese un kilómetro cúbico en un punto de densidad media. La cantidad de materia en un cubo así es tan pequeña que pesaría menos que una de las minúsculas partículas de polvo que vemos sobre una superficie de caoba pulida cuando es iluminada por un rayo de luz solar.

Afortunadamente, encontramos oasis en el desierto. Son las islas del cielo profundo llamadas galaxias, cada una de las cuales consiste en miles de millones de estrellas y grandes nebulosas de gas y polvo.

Lausten, Madsen, West, Explorando el cielo austral

En el tema anterior se vio cómo es nuestro oasis, nuestro universo isla, la galaxia de la que formamos parte: la Vía Láctea.

En éste vamos a comenzar un viaje intergaláctico, alejándonos poco a poco, para ir conociendo y situando a nuestros vecinos, las otras galaxias que están relativamente cerca. Es fácil darse cuenta así de lo desierto que está el Cosmos.

Las distancias entre las galaxias, que aparecen continuamente en este tema, suelen medirse en millones de años-luz, unidad abreviada desde ahora como Mal (mega años-luz).

El Grupo Local

El primer paso es situar las galaxias más próximas a la Vía Láctea, sus verdaderas vecinas en el Universo. Hay un conjunto de unas 25 galaxias cercanas a la nuestra que constituyen un grupo aislado, conocido como el Grupo Local. La mejor manera de formarse una idea de sus dimensiones es confeccionar un mapa.

Vas a hacerlo sobre la lámina 17. Para desarrollar esta actividad necesitas un transportador de ángulos, una regla y la lámina 17. Vas a representar la situación de las galaxias del Grupo Local. La escala será de 1 Mal = 4 cm en el mapa, es decir que 100.000 años-luz = 4 mm en el mapa, como se indica en la lámina.

En la tabla 17 (a) aparece el nombre de cada galaxia, su orientación (un ángulo), su distancia (en Mal) y su diámetro (en años-luz). La letra entre paréntesis expresa la forma de esa galaxia, como se verá un poco más adelante.

La Vía Láctea va a quedar situada en Madrid. El círculo, de 4 mm de diámetro, dibujado en el punto M (el origen de coordenadas) representa a nuestra galaxia.

Hay también señalada otra galaxia, la famosa M 31 ó galaxia de Andrómeda. Para situarla correctamente en la lámina 17 se ha seguido el siguiente proceso:

(a) Mirar en la tabla su orientación (17°). Medir con el transportador 17° desde la línea MX de la lámina en el sentido indicado y trazar la línea Mm.

(b) Mirar su distancia ($2'3 \text{ Mal} = 2'3 \times 4 = 9'2 \text{ cm}$ en el mapa). Medir 9'2 cm sobre la línea Mm, a partir de M. Marcar ese punto: ahí está la M 31.

(c) Mirar su diámetro (125.000 años-luz): es algo mayor que la Vía Láctea, así que se ha dibujado un círculo de 5 mm de diámetro.

Tabla 17(a) GALAXIAS DEL GRUPO LOCAL

Galaxia	Orientación	Distancia (Mal)	Diámetro (a.l.)
Vía Láctea (S)	0	0	100.000
M 31 (S)	17	2,3	125.000
M 33 (S)	24	2,5	50.000
M 32 (E)	19	2,4	5.000
NGC 205 (E)	16	2,2	8.000
NGC 185 (E)	15	1,8	7.500
NGC 147 (E)	14	1,9	8.000
GNM (I)	119	0,17	30.000
PNM (I)	157	0,22	14.000
Sculptor (E)	50	0,30	4.500
Fornax (E)	96	0,50	4.000
Ursa Minor (E)	326	0,30	2.000
Draco (E)	343	0,26	2.400
NGC 6822 (I)	94	1,43	4.500
Leo I (E)	287	0,75	2.300
Leo II (E)	290	0,75	3.200

- 1** Haz lo mismo con las demás galaxias de la tabla 17 (a). Cuando sean muy pequeñas (menos de 10.000 años-luz de diámetro), márcalas sólo con un punto.

Sólo hay cinco galaxias del Grupo Local que nos interesan especialmente: la Vía Láctea, M 31, M 33, GNM (Gran Nube de Magallanes) y PNM (Pequeña Nube de Magallanes). El resto son galaxias muy pequeñas, simples aldeas de muy pocos habitantes en el mapa de España.

- 2** Siguiendo la comparación que identifica la Vía Láctea con la ciudad de Madrid, ¿qué ciudades podrían corresponder, aproximadamente, por su situación y tamaño, a las demás galaxias? Completa este cuadro:

galaxia	ciudad
Vía Láctea	
M 31	
M 33	
GNM	
PNM	

Así estamos en el Universo: es como si viviésemos en Madrid y en toda España sólo hubiera otra ciudad como la nuestra (M 31), otras tres bastante más pequeñas y 10 ó 15 pequeñísimas aldeas. El resto estaría deshabitado.

Y si seguimos alejándonos, la próxima galaxia ya está a 10 Mal, es decir, se situaría más o menos ¡en Atenas!, y entre medias no habría nada.

3 Busca en el planisferio M 31 y M 33. ¿En qué constelación está cada una de ellas?

M 31, la galaxia de Andrómeda (porque se ve mirando hacia esa constelación), es parecida a la Vía Láctea. Tiene forma de espiral, es algo más grande que la nuestra y se puede vislumbrar a simple vista.

M 33, en el Triángulo, también es una galaxia espiral, aunque de tamaño más modesto.

GNM y PNM, las nubes de Magallanes, son dos pequeñas galaxias de forma irregular satélites de nuestra Vía Láctea. No se pueden ver desde España, por estar muy cerca del Polo Sur. Se llaman así porque los primeros europeos que las vieron fueron los astrónomos que acompañaban a Magallanes en su viaje en barco alrededor del mundo, realizado entre los años 1520 y 21.



M 31.



M 33.



Las nubes de Magallanes.

Clasificación de las galaxias

Con los grandes telescopios construidos en el siglo XX se han podido fotografiar miles y miles de nuevas galaxias. Los astrónomos las clasifican en los siguientes tipos:

M 32, una pequeña galaxia cercana a M 31, es elíptica (E). Las galaxias elípticas tienen forma parecida a un balón de rugby, más o menos alargado.

M 81, en la Osa Mayor, es una típica espiral (S, de 'spiral', en inglés). Las galaxias S tienen un núcleo central abultado y algunos brazos espirales.

NGC 1365, en Fornax, una constelación del hemisferio Sur, es una espiral barrada (SB). Se diferencian de las espirales normales en que su núcleo parece una barra.

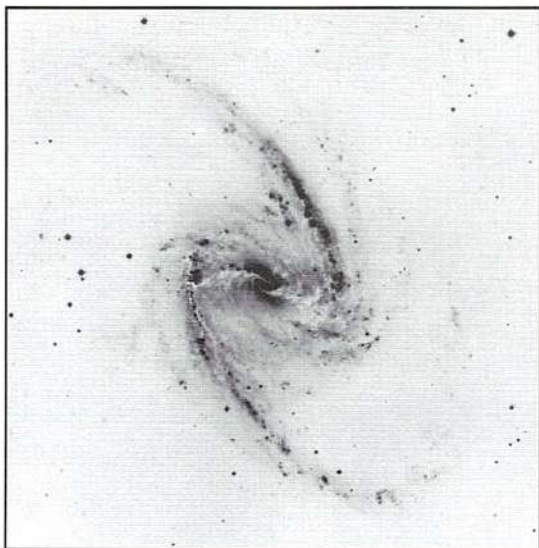
NGC 1427 A, también en Fornax, es una galaxia irregular (I), sin ninguna forma definida, como las nubes de Magallanes.



M32.



M81.



NGC1365



NGC1427



1 (*)

Si en una taza de café con leche pones un poco de nata líquida y remueves enérgicamente con una cucharilla (como haces para disolver el azúcar), verás que la nata de la superficie adopta una forma similar a la de una galaxia espiral.



4

Aquí tienes las fotos de 6 galaxias. Escribe, a su lado, la letra que corresponda a cada una (E, S, SB o I). Puedes consultar la tabla 17 (b) para comprobar algunas de tus respuestas.



NGC 205



M 82



M 87

M 101



M 104



M 49



El Supercúmulo Local

El siguiente eslabón que aparece en este viaje hacia el exterior es otra estructura mucho mayor formada por nuestro Grupo Local, otros grupos parecidos y algunos más grandes y compactos. De nuevo la realización de un mapa a escala será la mejor manera de visualizar su tamaño y su disposición espacial.

La tabla siguiente recoge las principales galaxias situadas a menos de 100 millones de años-luz de la Vía Láctea. A continuación de la denominación de cada galaxia aparece una letra entre paréntesis que indica su forma. Las columnas de «orientación», «distancia» y «diámetro» son similares a las correspondientes de la tabla 17 (a).

Tabla 17(b) GALAXIAS DEL SUPERCÚMULO LOCAL

Galaxia	Orientación	Distancia (Mal)	Diámetro (a.l.x10 ³)
Vía Láctea (S)	0	0	100
M 31 (S)	14	2,3	125
M 33 (S)	23	2,5	50
M 81 (S)	149	10,5	100
M 82 (I)	149	9	40
NGC 3077 (S)	151	10	10
NGC 2976 (E)	146	9	15
M 51 (S)	202	24	65
M 101 (S)	211	20	200
NGC 55 (S)	4	10	45
NGC 253 (S)	12	11	50
NGC 300 (S)	14	9	40
Cent A (E+S)	201	12	125
M 49 (E)	187	52	125
M 60 (E)	191	50	90
M 84 (E)	186	48	100
M 86 (E)	187	53	125
M 87 (E)	188	51	250
M 89 (E)	189	49	100
M 90 (S)	189	53	100
M 98 (S)	183	52	150
M 99 (S)	185	50	100
M 104 (S)	190	48	130

5 En una hoja de papel apaisada traza unos ejes de coordenadas, de forma que el horizontal quede en el centro, pero el vertical bastante a la derecha, a unos 20 cm del borde izquierdo y a 10 del derecho. Vuelves a necesitar un transportador y una regla. Sitúa cada una de las galaxias de la tabla en la hoja marcada con los ejes, tal y como hiciste en el mapa del Grupo Local. ¡Cuidado!: ahora la escala que debes adoptar para las distancias es de 1 Mal = 3 mm (10 Mal = 3 cm). Cada galaxia será simplemente un punto. No hace falta que dibujes pequeños círculos como antes.

6 Como ves, el Grupo Local (Vía Láctea, M 31 y M 33) ocupa un pequeño espacio en el origen de coordenadas. Dibuja un pequeño círculo que rodee a estas tres galaxias y que va a representar al Grupo Local.
¿Hay en el mapa que acabas de hacer otros grupos de galaxias parecidos al Grupo Local? Rodéalos también con un pequeño círculo.
¿Hay algún conjunto de galaxias próximas entre sí claramente mayor que el Grupo Local? Enciérralo también con un círculo más grande. Se trata del llamado Cúmulo de Virgo.

Todo el conjunto de galaxias del mapa que acabas de hacer recibe el nombre de Supercúmulo Local.

7 Busca las galaxias de la tabla 17 (b) en el planisferio y señala la constelación en la que está cada una de ellas. Ten en cuenta que el planisferio sólo recoge el cielo hasta una declinación $\delta = -50^\circ$. Hay algunas constelaciones (como Centauro) que están muy cerca del Polo Sur y que no vienen en el planisferio.



2 (*)

Puedes repetir los dibujos a escala del Grupo Local o del Supercúmulo Local, pero utilizando una cartulina de tamaño normal (70x50 cm). Así realizarás un mural mucho más grande y llamativo de nuestros alrededores en el Universo.

Tendrás que utilizar una nueva escala (algo así como el doble o el triple de grande que en los dibujos: por ejemplo 1 Mal = 8 mm). Podrías utilizar colores y representar las galaxias, no como meros círculos, sino dándoles una forma más artística (espirales, elipses).



Teresa Lozano: *Galaxias, islas en el Universo*, Ed. Equipo Sirius.



1.- ¿Cuál es la unidad de medida adecuada para las distancias intergalácticas?

2.- ¿Cuál es la galaxia más cercana a la Vía Láctea?

- 3.- ¿Cuáles son las tres galaxias más importantes del Grupo Local?
- 4.- Escribe cuatro galaxias espirales.
- 5.- Clasifica las siguientes galaxias: NGC 1365, M 81, M 104, GNM y M 87.
- 6.- Escribe dos galaxias que sean mayores que la Vía Láctea.
- 7.- ¿Cuál es la constelación en la que hay más galaxias de las vistas en esta lección?
- 8.- ¿A qué distancia de nosotros se encuentra el cúmulo de Virgo?

EL UNIVERSO

Cualquiera que sea su distancia exacta, sabemos que la mayor parte de las galaxias lejanas están situadas a miles de millones de años-luz de nosotros. Pero, ¿qué sabemos de su velocidad y de la dirección de su movimiento? ¿Están moviéndose todas en la misma dirección y con velocidades parecidas? Si pudiéramos responder a estas preguntas estaríamos en mejores condiciones para formarnos una imagen del Universo.

Colin A. Ronan, Secretos del Cosmos

Más allá del Supercúmulo Local existen otras muchas galaxias, casi siempre agrupadas en nuevos cúmulos cada vez más lejanos. Para conseguir entrever cuál puede ser la estructura del Universo a gran escala hay que intentar averiguar sus distancias. El principal método conocido se basa en un fenómeno físico llamado «efecto Doppler» y en el cálculo de las distancias a galaxias cercanas realizado, con fuertes imprecisiones, por otros procedimientos.

El efecto Doppler

Ya se ha visto que uno de los principales recursos de los astrónomos es el espectro, ese arco iris surcado por múltiples rayas oscuras. Gracias al estudio de los espectros se ha podido averiguar muchas cuestiones acerca de las estrellas. También van a servir ahora para estudiar el movimiento y las distancias de las galaxias.

La figura 1 es un esquema muy simplificado del espectro ordinario de la luz solar, en el que sólo se han representado algunas rayas oscuras características.

El espectro (también esquematizado, como todos los que aparecerán en este tema) producido por una lejana galaxia visible en la constelación de Leo (figura 2) es muy parecido al ordinario correspondiente al Sol: la secuencia de rayas oscuras es la misma. Pero hay una pequeña diferencia: todas las rayas están un poco desplazadas hacia la derecha, hacia el rojo.

¿Qué significa este desplazamiento? Que la galaxia en cuestión está alejándose de nosotros. Es lo que se conoce como el **efecto Doppler**: siempre que una fuente de luz se aleje del observador, éste verá las rayas oscuras desplazadas hacia el rojo. Y, al revés, si la fuente de luz se acerca al

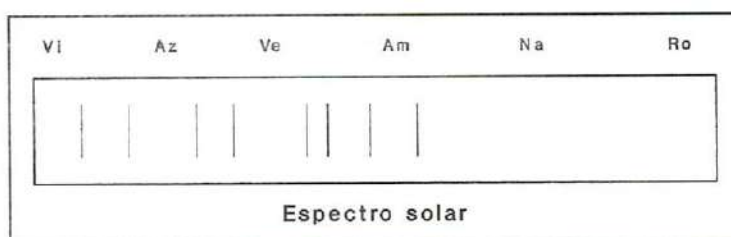


Fig. 1

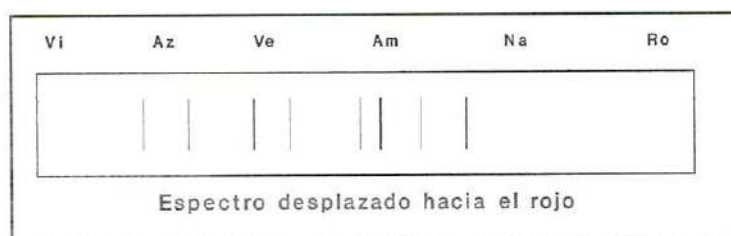


Fig. 2

observador las rayas se desplazarán hacia la izquierda, hacia el violeta, dando lugar a un espectro como el siguiente (figura 3):

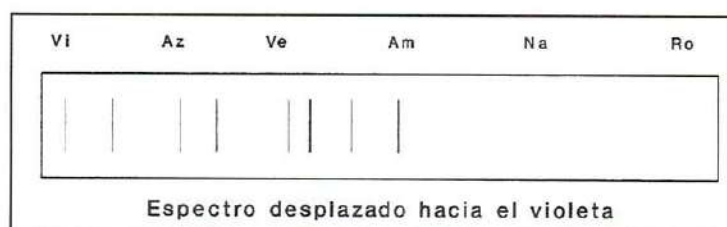
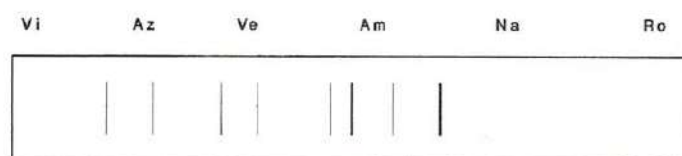
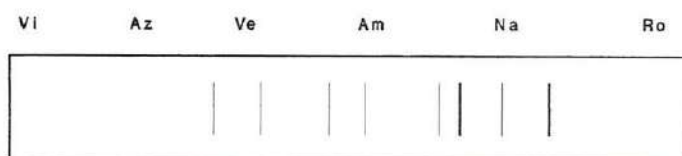


Fig. 3

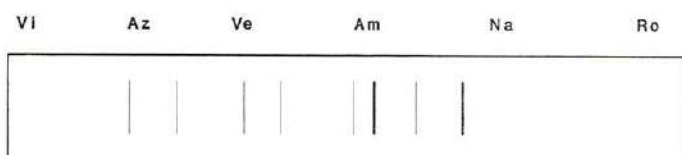
1 En las figuras siguientes aparecen los espectros de tres galaxias:



Cygnus A



Cuásar 3C273



galaxia en el cúmulo de Gemini

¿Hacia qué color hay desplazamiento en cada una de ellas? ¿Cuáles se acercan y cuáles se alejan de nosotros?

¿En cuál de ellas es más acusado el desplazamiento?

Cuanto mayor sea el desplazamiento de las líneas espectrales, mayor es la velocidad de esa galaxia con respecto a nosotros. A la escala de los dibujos, un desplazamiento de 1 cm equivale, aproximadamente, a una velocidad de 20.000 km/s.

2 Mide en cada dibujo cuánto se han desplazado las rayas con respecto a su posición en el espectro solar y calcula la velocidad de esas tres galaxias. En la tabla 18 puedes consultar algunas de las soluciones.

Entre los años 1910 y 1930 se pudieron estudiar los espectros de muchas galaxias gracias a la construcción de nuevos telescopios cada vez más grandes y potentes.

La primera conclusión de esos estudios fue muy sorprendente: prácticamente todas las galaxias presentan desplazamientos hacia el rojo, es decir, casi todas se alejan de nosotros, como si huyeran.

La ley de Hubble

En 1929 el astrónomo americano **Edwin Hubble** hizo otro descubrimiento importante. Calculó, lo mejor que pudo con los métodos entonces conocidos, las distancias y las velocidades de muchas galaxias y confeccionó una tabla parecida a la 18. Luego hizo una gráfica con los datos de la misma y encontró una relación de gran interés.

Tabla 18 CÚMULOS DE GALAXIAS

Cúmulo	Distancia (Mal)	Velocidad (km/s)	x	y
galaxia M 31	2,3	-100		
Virgo	60	1.000	-1	0
Fornax	70	1.250	+1	+1
Hydra I	160	3.000	-3	+1
Centaurus	160	3.210	-3	-1
Pavo	190	3.600	-4	0
Pegasus I	200	3.990	+4	+1
Cancer	240	4.800	-3	+4
Perseus	250	5.100	+5	+4
Coma	330	6.600	-6	-2
Leo A	500	10.500	-10	2
Hercules	570	11.400	-6	-11
Pegasus II	635	12.690	+12	-4
galaxia Cygnus A740		15.000	+14	-5
Ursa Major	760	15.300	-15	+1
Leo	975	19.500		
Gemini	1.170	23.400		
cuáasar 3C273	2.500	50.000		
cuáasar 3C48	3.912	78.240		

3 Ahora sólo tienes que fijarte en las columnas correspondientes a la distancia y a la velocidad. En una hoja de papel colocada en vertical dibuja unos ejes de coordenadas. Gradúa el eje OX (distancias) de manera que 1 cm = 100 Mal. En el eje OY (velocidad) 1 cm = 1000 km/s.

Utilizando los datos de la tabla, señala en ese gráfico el punto que corresponde a cada una de las galaxias (algunas no cabrán, pero no importa; pon las que puedas).

Como ves en tu gráfica, prácticamente todas son velocidades de alejamiento y, además, los puntos casi forman una recta.

Ésta es la **ley de Hubble**: las velocidades son proporcionales a las distancias. Si un cúmulo de galaxias está situado el doble de lejos que otro, el más lejano tendrá una velocidad doble que el más cercano, siempre distanciándose de nosotros, del observador.

4 Traza en tu gráfica una recta que pase por el origen de coordenadas y por todos los puntos que puedas.

Utilizando la gráfica, averigua la velocidad a la que se aleja de nosotros una galaxia que esté situada a 400 Mal.

Ahora vamos a hacerlo al revés: si observamos en el espectro de una galaxia un desplazamiento de las rayas oscuras que indica una velocidad de alejamiento de 14.000 km/s, ¿a qué distancia está esa galaxia?

5 Un poco más difícil: del espectro de las galaxias del lejano cúmulo llamado Hydra II deducimos que se alejan a la increíble velocidad de 60.000 km/s. De nuevo, ¿a qué distancia están esas galaxias?



Ahora no puedes utilizar la gráfica, porque nos salimos de ella. Tendremos que hacer cuentas. Averigua la ecuación de la recta que has trazado en tu gráfica: para ello recuerda que la ecuación de una recta que pasa por el origen es de la forma $y = k x$. Una pista más: ¿por cuánto hay que multiplicar cada número de la primera columna de la tabla (distancia) para obtener el correspondiente número de la derecha (velocidad)?, es decir, ¿cuál es el valor del número k , de la pendiente de esa recta? Fíjate, sobre todo, en los cúmulos más lejanos, a partir de Pegasus I.

El número k se llama constante de Hubble y es crucial para determinar la edad del Universo y para calcular las distancias a los objetos más remotos. Los astrónomos no se ponen de acuerdo acerca de cuál es su valor exacto, pues hay datos contradictorios. No todos los científicos se muestran conformes con los valores que aparecen en la tabla 18, porque no se tiene seguridad sobre las distancias a las galaxias, incluso a las más cercanas como la M 31 de Andrómeda.

La expansión del Universo

*La característica más desconcertante de la ley de Hubble -la velocidad de recesión de una galaxia es proporcional a la distancia que la separa de nosotros- se puede expresar con una pregunta muy sencilla: ¿por qué precisamente de **nosotros**?*

¿Qué magia tenemos para que las galaxias nos rehuyan? ¿Y cómo saben las galaxias a qué distancia se hallan de nosotros para guiar sus pasos de un modo acorde?

Isaac Asimov, El Universo

Parece como si fuéramos el centro desde el que todas las demás galaxias son expulsadas. Pero ya sabemos que estas apariencias son engañosas: la Tierra no es el centro del Universo, ni el Sol está en el centro de la Vía Láctea, ni la Vía Láctea destaca especialmente entre las demás galaxias. Debe haber alguna explicación lógica para esa aparente posición central.

En las dos últimas columnas de la tabla 18 (tituladas x e y) aparecen unos números que permiten situar en las láminas 18.1 y 18.2 las posiciones de cada cúmulo de galaxias con respecto a nosotros. Por ejemplo, los valores del cúmulo Hydra I son $x=-3$, $y=+1$. Esto quiere decir que este cúmulo está situado 3 unidades (3 puntos) a la izquierda de la Vía Láctea y 2 hacia arriba.

- 6 La lámina 18.1 es una malla o cuadrícula de puntos. Señala la Vía Láctea en un punto cualquiera. Marca la posición del cúmulo Hydra I, tres puntos hacia la izquierda y uno hacia arriba.
Haz lo mismo con los demás cúmulos de la tabla.

- 7 Coge ahora la lámina 18.2. Se trata de la misma cuadrícula, pero estirada, de manera que los puntos están más separados.
Haz lo mismo que antes: señala la Vía Láctea en el punto que quieras. A partir de ahí ve situando los demás cúmulos de galaxias en los puntos que les correspondan.
Es posible que ahora, al haber menos puntos en la cuadrícula, algunos cúmulos no te quepan. No tiene ninguna importancia.

Los astrónomos creen que el Universo se encuentra en expansión y que si ahora está como en la lámina 18.1, dentro de algún tiempo se habrá estirado y se parecerá a la lámina 18.2. Es como si tu habitación se fuera estirando mientras los objetos conservan su tamaño: la cama seguirá estando en una esquina y el armario en otra, pero la distancia entre ambos habrá aumentado; el techo estará mucho más alto y ahora no llegarás a la lámpara con la mano.

- 8 En las láminas 18.1 y 18.2 la escala es, aproximadamente, $1 \text{ cm} = 100 \text{ Mal}$. Mide con una regla y completa el siguiente cuadro:

Distancias medidas desde la Vía Láctea

<i>Galaxia o cúmulo</i>	<i>Ahora (lámina 18.1)</i>	<i>Después (lámina 18.2)</i>
-------------------------	----------------------------	------------------------------

Virgo		
Hydra I		
Cancer		
Pavo		
Coma		
Centaurus		
Fornax		

Pasando de la lámina 18.1 a la 18.2, observamos que, con el transcurrir del tiempo, todas las galaxias y cúmulos se alejan de nosotros y que los que estaban inicialmente más lejos se han alejado mucho más (que es lo que dice la ley de Hubble).

Pero ¿qué veríamos, si estuviéramos en un planeta habitable de una estrella perteneciente a una galaxia del cúmulo Hydra I? Al pasar de la lámina 18.1 a la 18.2 y viendo ahora los cambios desde el punto de vista de Hydra I, resulta que ocurre lo mismo. ¿Qué ha hecho la Vía Láctea? Se ha alejado **de ellos**. ¿Y el cúmulo de Fornax? También se ha alejado de ellos.

- 9 Mide con una regla y completa el siguiente cuadro:

Distancias medidas desde Hydra I

<i>Galaxia o cúmulo</i>	<i>Ahora</i> (lámina 18.1)	<i>Después</i> (lámina 18.2)
-------------------------	-------------------------------	---------------------------------

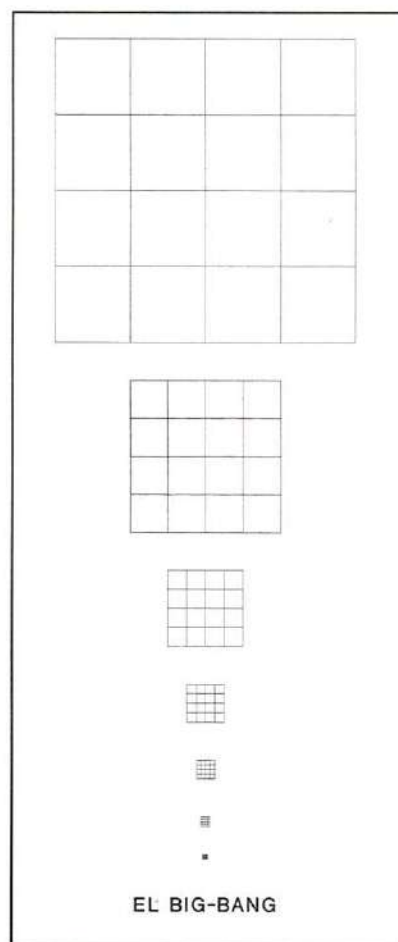
Vía Láctea
Virgo
Cancer
Pavo
Coma
Centaurus
Fornax

No es que todo se aleje de nosotros, es que todo se aleja de todos: el Universo está en expansión continua.

El Big Bang

¿Y si diéramos marcha atrás en el reloj del tiempo? ¿Cómo sería la cuadrícula hace algunos millones de años?

Cuanto más nos volvamos para atrás, más apretada será la cuadrícula, hasta llegar a un límite en el que toda ella estaría comprimida en un sólo punto. En ese momento inicial se produjo el Big-Bang: el Gran Estallido a partir del cual se originó todo el Universo tal y como ahora lo conocemos.



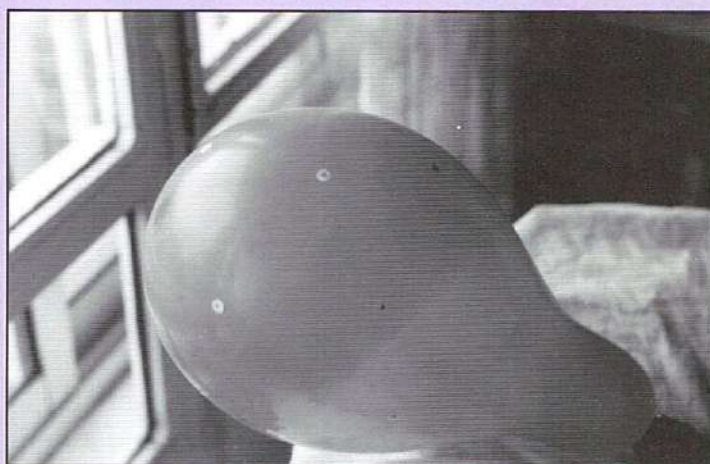
1 (*)

Otra forma de hacerse una idea de lo que significa la expansión del Universo consiste en utilizar un globo.

Consigue un globo de color azul celeste. Inflalo un poco y pega sobre él pequeños círculos de papel que van a representar los cúmulos de galaxias. Hazlo de forma que te quepan 15 ó 20 en todo el globo.

Desinfla completamente el globo: todas las galaxias dibujadas han quedado apelotonadas.

Luego ve hinchando el globo poco a poco. ¿Qué ocurre con las galaxias?



Algo así es lo que parece que hace el Universo: el espacio se expande y se dilata cada vez más, alejándonos a todos de todos, mientras que las galaxias conservan su tamaño.



Malcom S. Longair, *Los orígenes del Universo*, Alianza Editorial (AU n° 738).



1. De las galaxias y cúmulos citados en el texto sólo hay una que se acerque a la Vía Láctea. ¿Cuál es?
2. Si las líneas espectrales de una galaxia aparecen desplazadas 1 mm (a la escala de las figuras) hacia el rojo, ¿a qué velocidad se mueve esa galaxia respecto a la Vía Láctea? ¿Se acerca o se aleja de ella?
3. ¿A qué distancia de nosotros estará la galaxia anterior?
4. M 81 es una brillante galaxia espiral visible en la Osa Mayor y situada a 10 millones de años-luz de la Tierra. ¿Cuál será su velocidad de recesión?
5. ¿Aumentan también la distancia entre dos galaxias del cúmulo de Virgo? ¿Por qué?
6. ¿Por qué razón discrepan los astrofísicos sobre el valor preciso de la constante de Hubble? ¿Cuál es el dato del que no están muy seguros?
7. Si observáramos un desplazamiento de 6 cm en las rayas oscuras del espectro de un cuásar, ¿a qué distancia estará de nosotros?
8. ¿Crece el tamaño de la Vía Láctea con la expansión del Universo? ¿Y el Sistema Solar?

Este texto corresponde a la materia optativa "Taller de Astronomía" del Segundo Ciclo de la ESO y pertenece al proyecto curricular de Equipo Sirius S.A. y ha sido debidamente revisado y aprobado por el Ministerio de Educación y Cultura según la Orden de 29 de julio de 1996.

Prohibida la reproducción total o parcial de todo o parte del libro por cualquier método electrónico, fotocopia u otro análogo sin la autorización expresa y por escrito del propietario del copyright.

COLECCIÓN MANUALES

ASTRONOMÍA PASO A PASO

Segundo Ciclo

ESO

La Astronomía es una ciencia basada en la observación. Hasta el siglo XVII no se dispuso de ningún instrumento óptico que ayudase a la visión humana. Sin embargo, hay una gran cantidad de cuestiones que pueden abordarse a simple vista: conocer las constelaciones y las estrellas, comprender los mecanismos de los movimientos aparentes de la bóveda celeste o medir el paso del tiempo con la ayuda de los fenómenos astronómicos. No es imprescindible disponer de un telescopio o de unos prismáticos para iniciarse en la ciencia de los cielos. Te animo a que disfrutes reconociendo las principales constelaciones visibles un cierto día, a orientarte por medio de la Polar o de otras estrellas, a que sepas distinguir rápidamente si ese punto de luz tan brillante es un planeta, a observar las fases de la Luna y la distinta altura y recorrido del Sol según las estaciones.

Es conveniente empezar la construcción de una casa por los cimientos. Los nuestros serán un buen conocimiento de la esfera celeste y de sus movimientos, de manera que sepamos interpretar correctamente todo lo que observemos. A ello se dedica la primera mitad del libro. En la segunda aparecen otras cuestiones, como la

posibilidad de vida extraterrestre, la exploración espacial, la observación telescópica, los agujeros negros o el Big-Bang, que serían algo así como el segundo piso de nuestro edificio.

En el libro no hay muchas definiciones ni demasiadas explicaciones. Casi todo el trabajo se hace a base de actividades gráficas, de algunos ejercicios y de la construcción de algún instrumento, maqueta o modelo. Una vez realizadas las tareas, tú mismo te habrás dado cuenta de cómo quedan explicados los fenómenos celestes. Las cuestiones que hay al final de cada tema te pueden ayudar a fijar o aclarar las ideas y a ampliar algún detalle.

Así pues, se hace un recorrido elemental por los principales temas de la Astronomía. Seguramente a lo largo del curso no será posible verlos todos. Tu profesor se encargará de seleccionar los que crea más apropiados.

Y se enfoca el trabajo de una manera activa. No hay demasiadas cosas que memorizar, pero sí bastantes tareas a realizar. La más importante de todas es analizar, interpretar y encontrar relaciones en las tablas de datos y en las gráficas que vayas construyendo. En dos palabras: razonar y descubrir.



ASTRONOMÍA PASO A PASO

Cuaderno de láminas

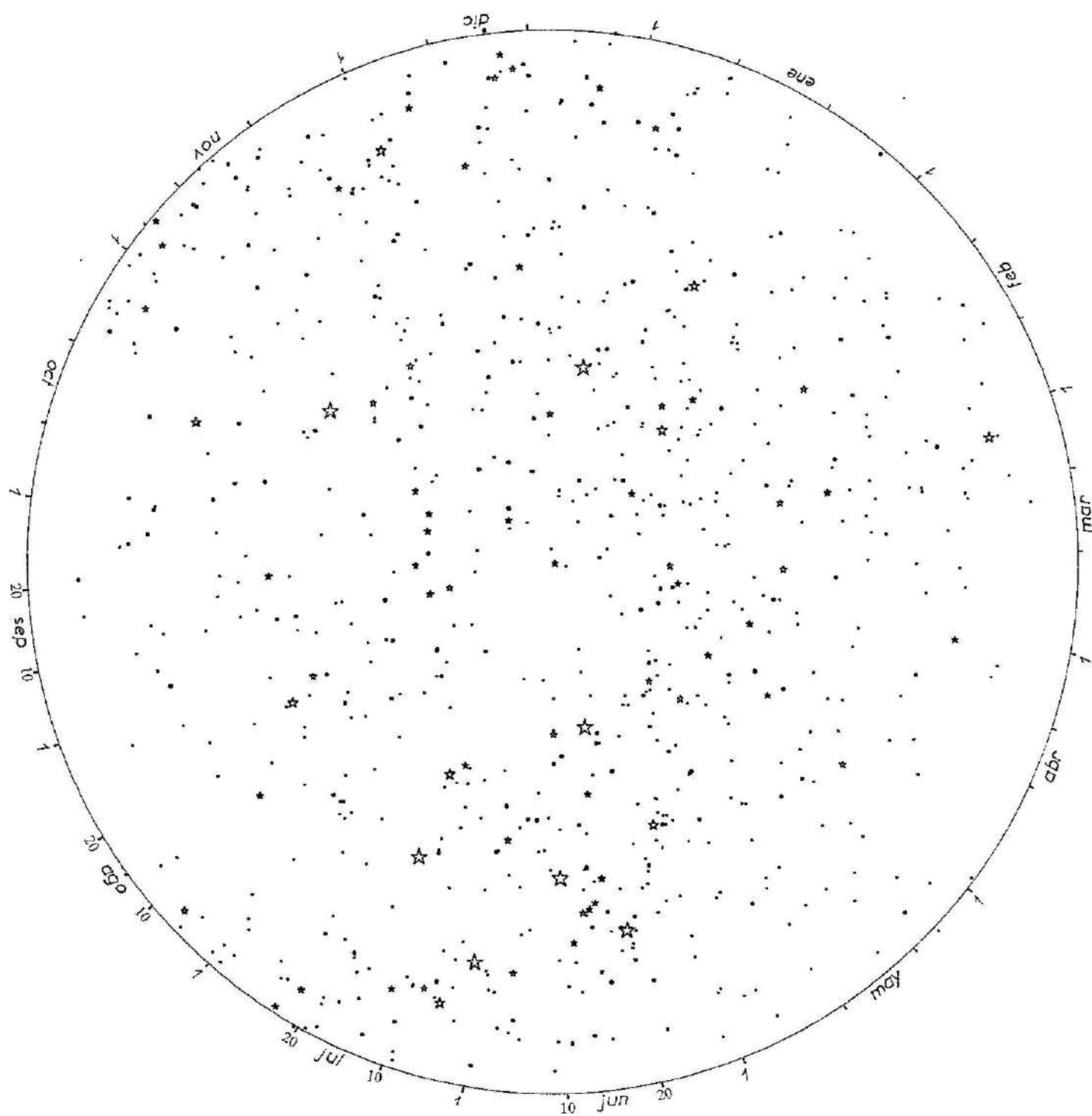
Segundo Ciclo ESO

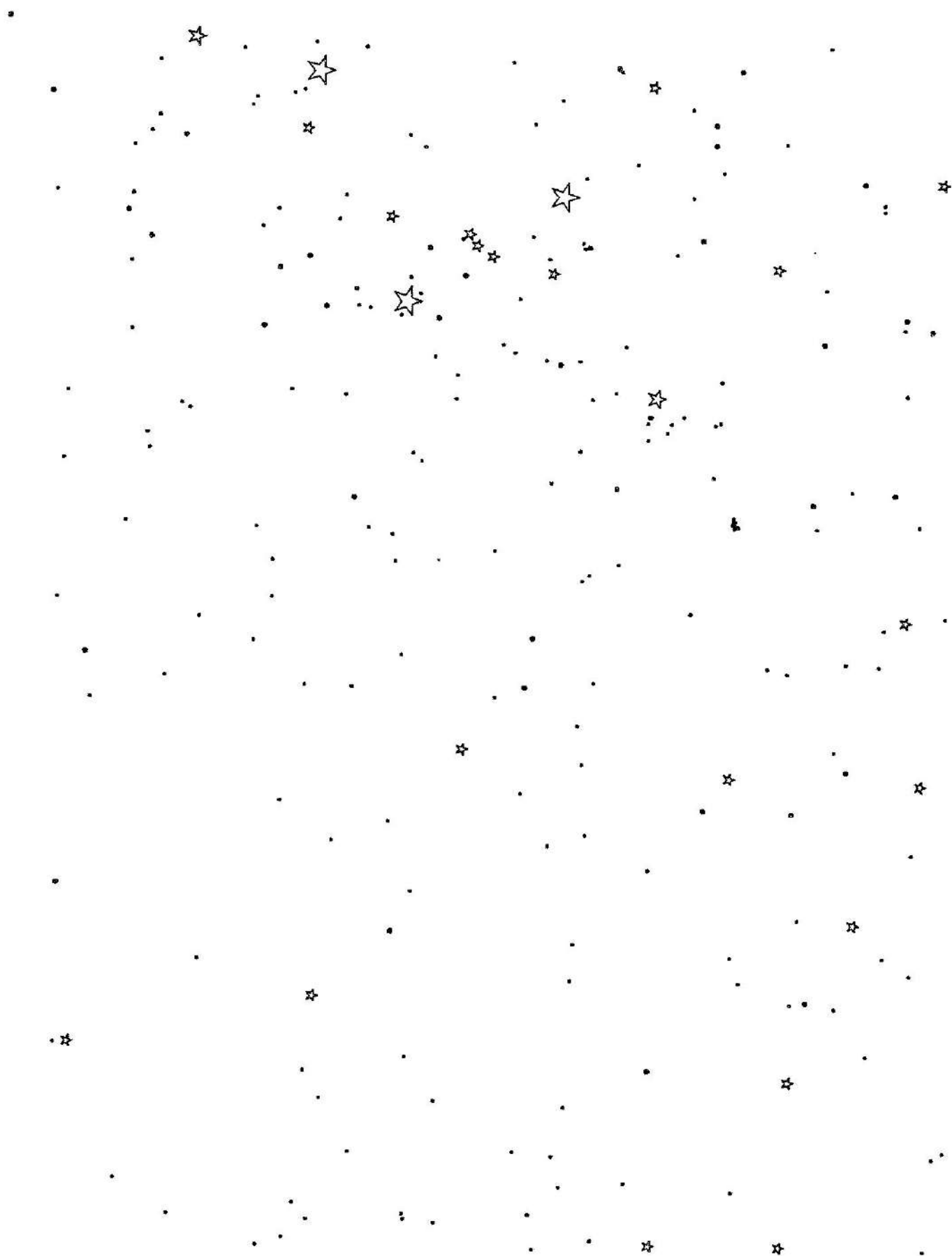
COLECCIÓN MANUALES

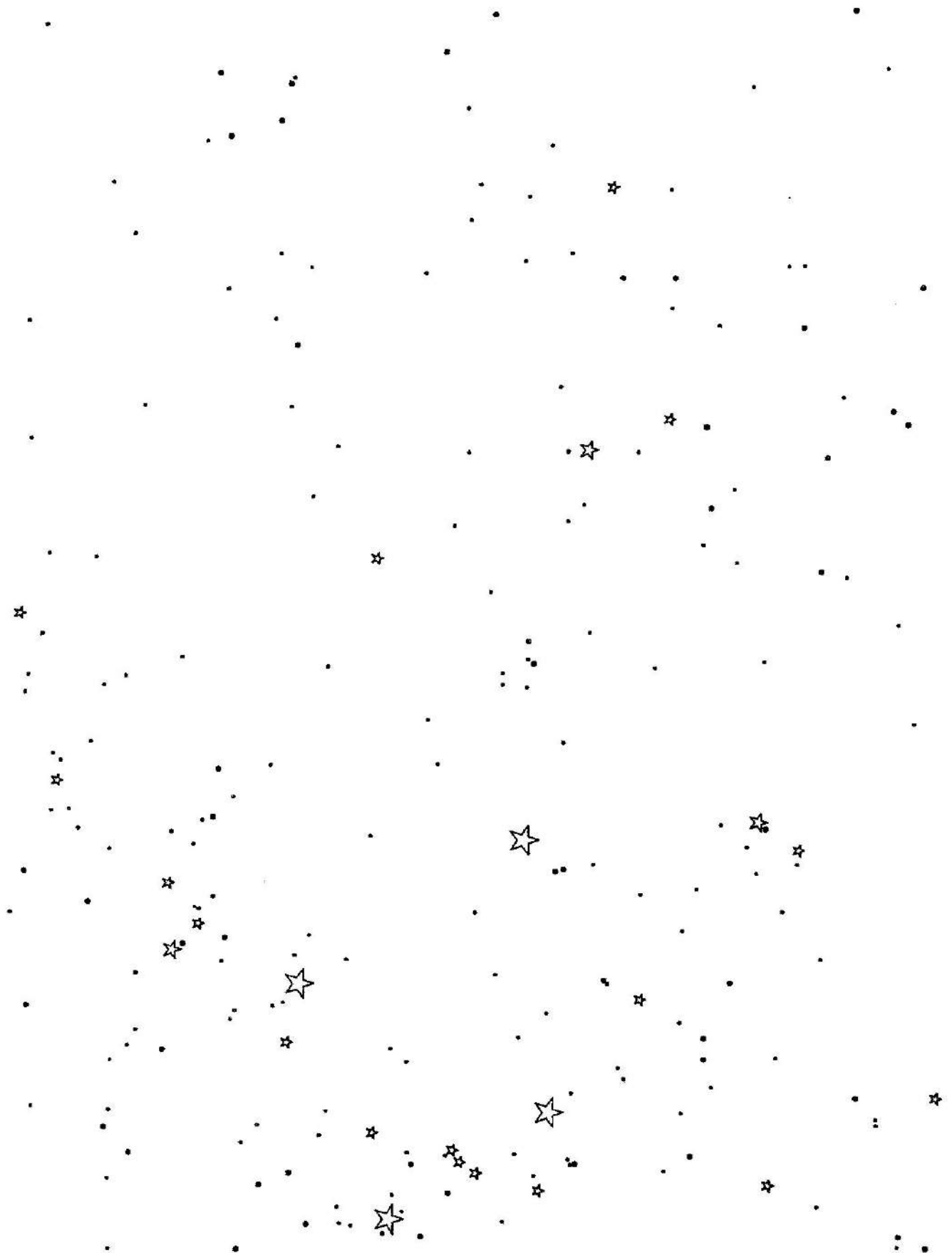
ANTONIO ARRIBAS

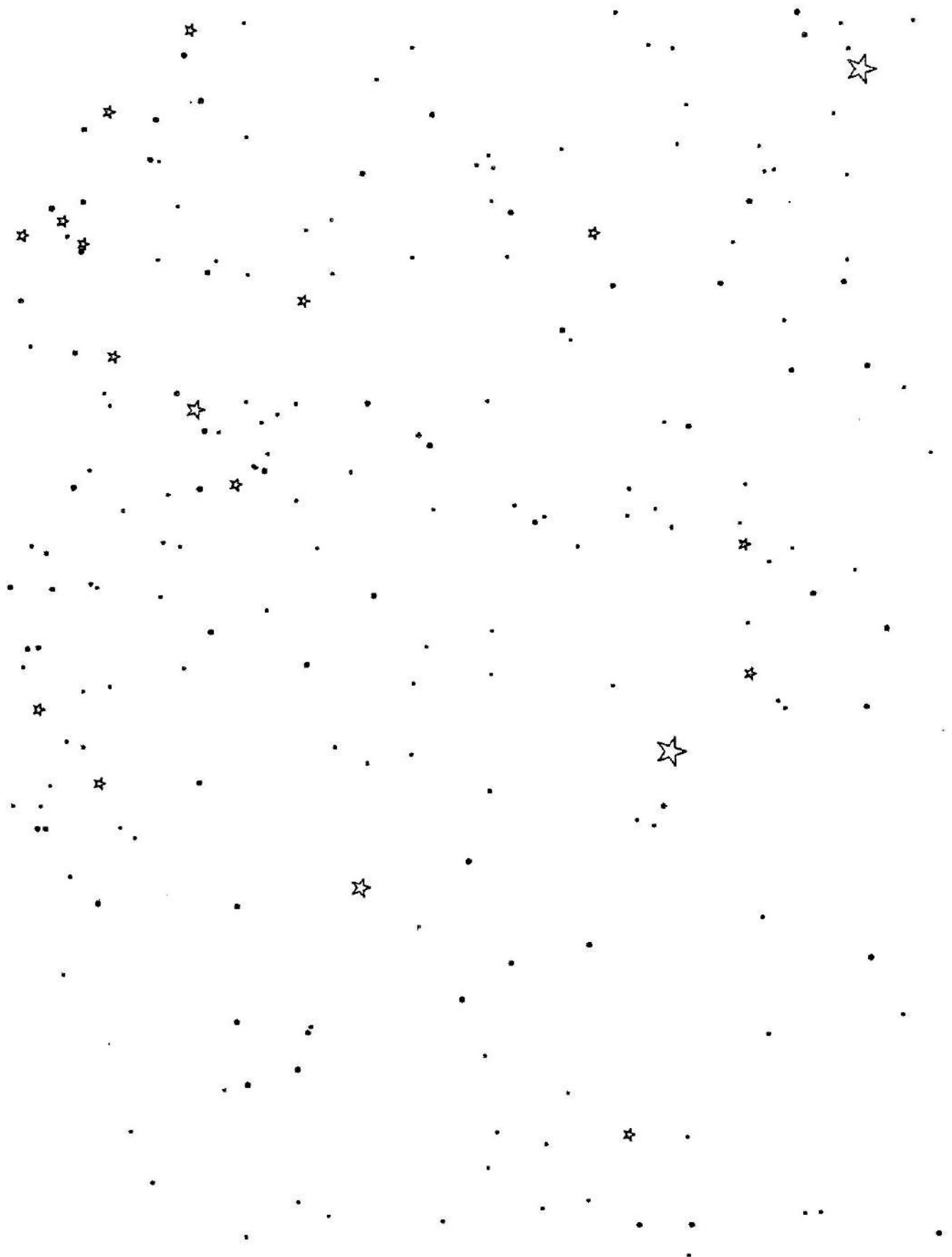


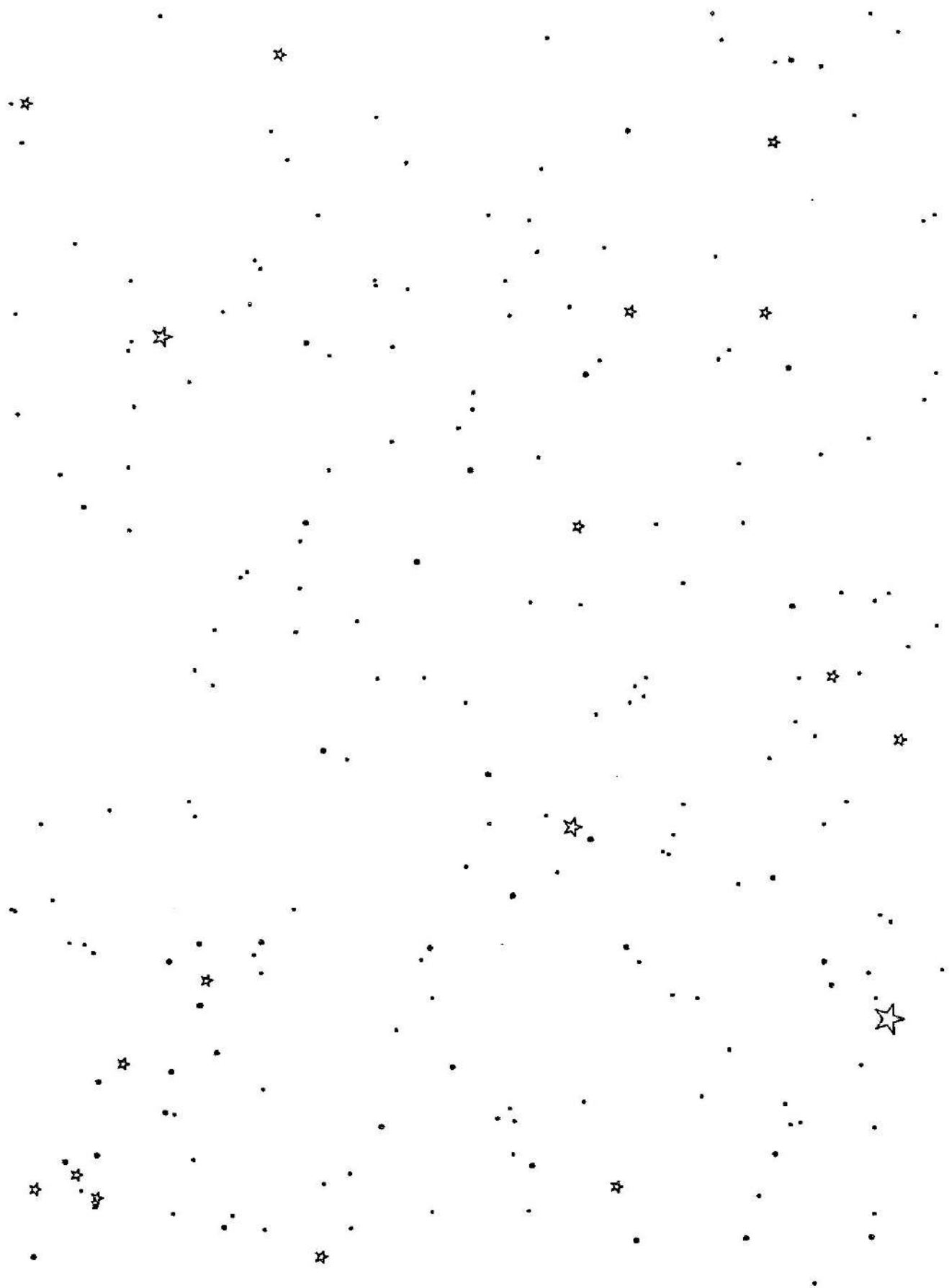
ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 1.1 - Mapa mudo





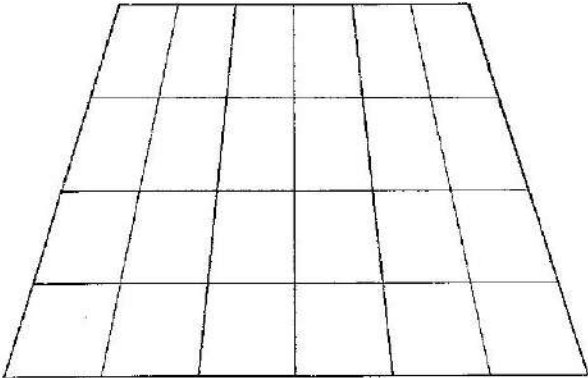






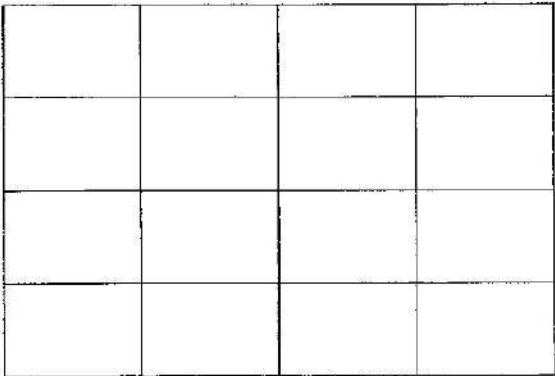


OSA MAYOR



LAMINA 2.2 A

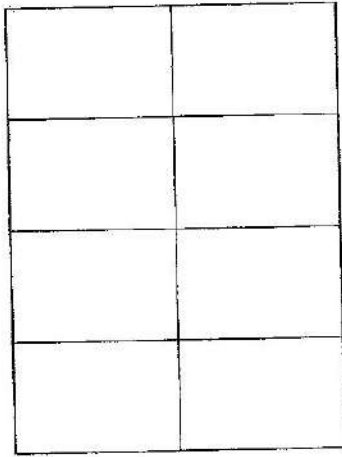
LA CONSTELACION FANTASMA



LAMINA 2.2 B

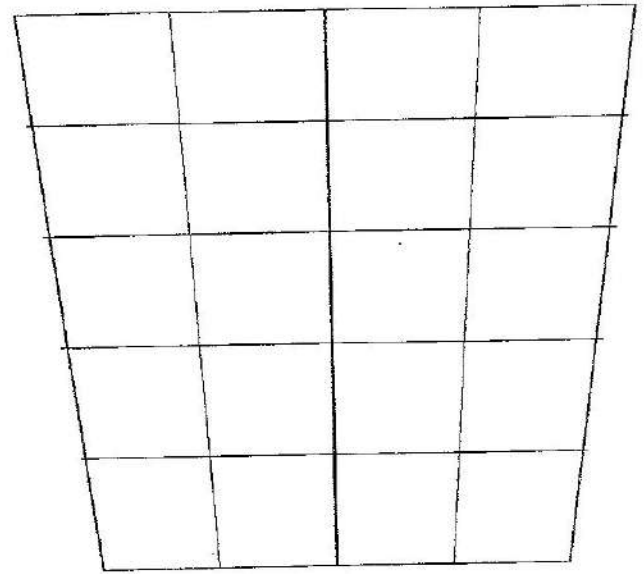
ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 2.3

ORION



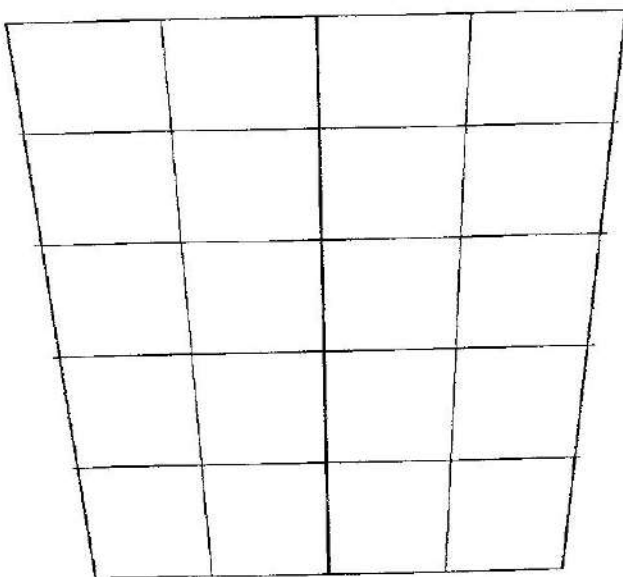
LAMINA 2.3 A

SCORPIUS

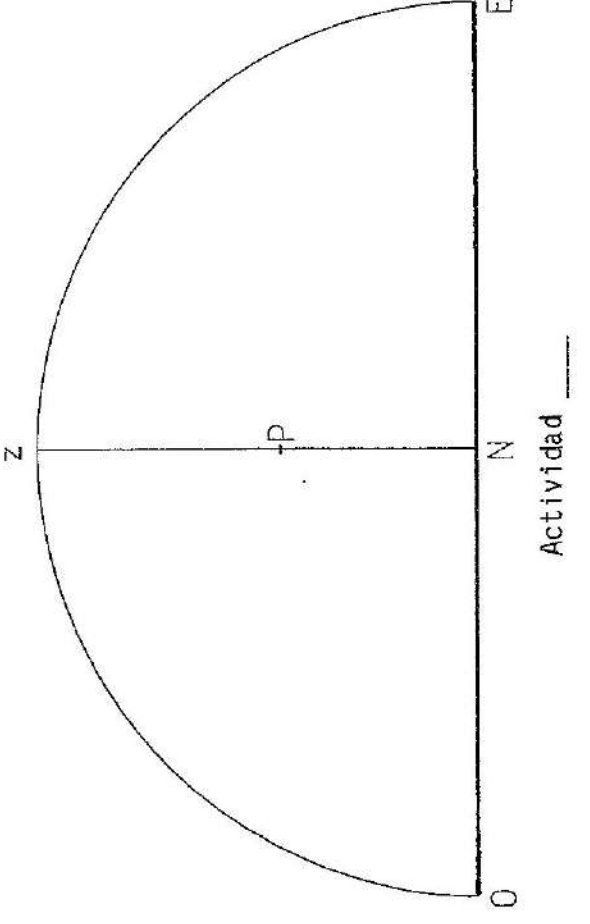
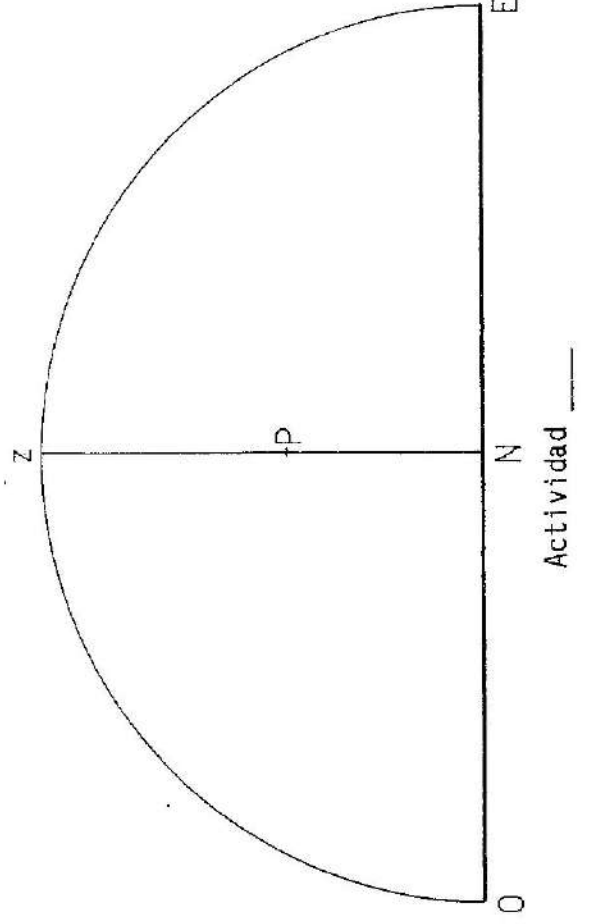
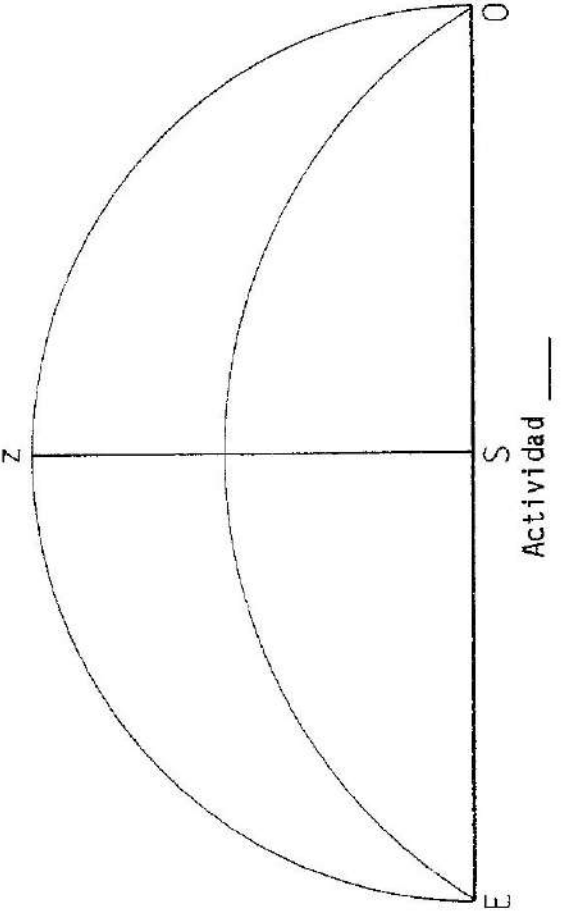
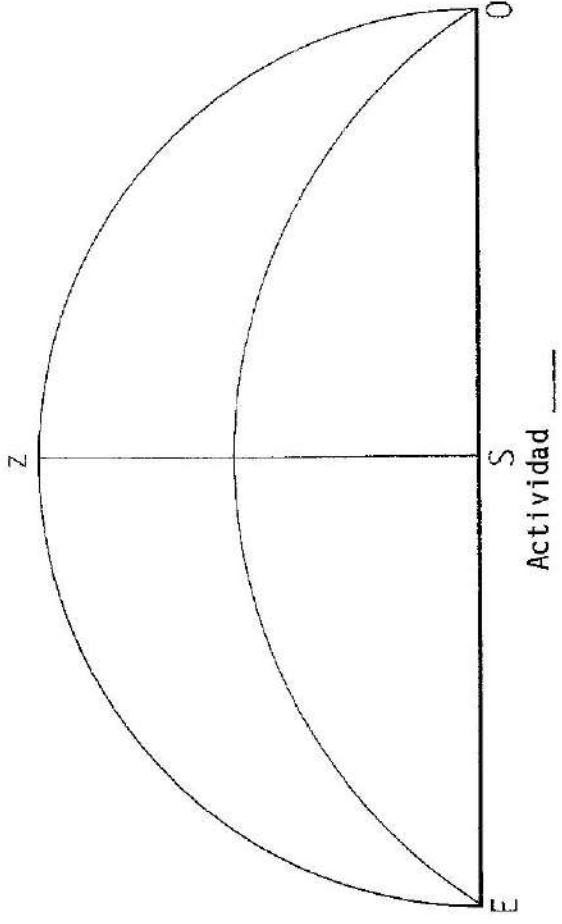


LAMINA 2.3 B

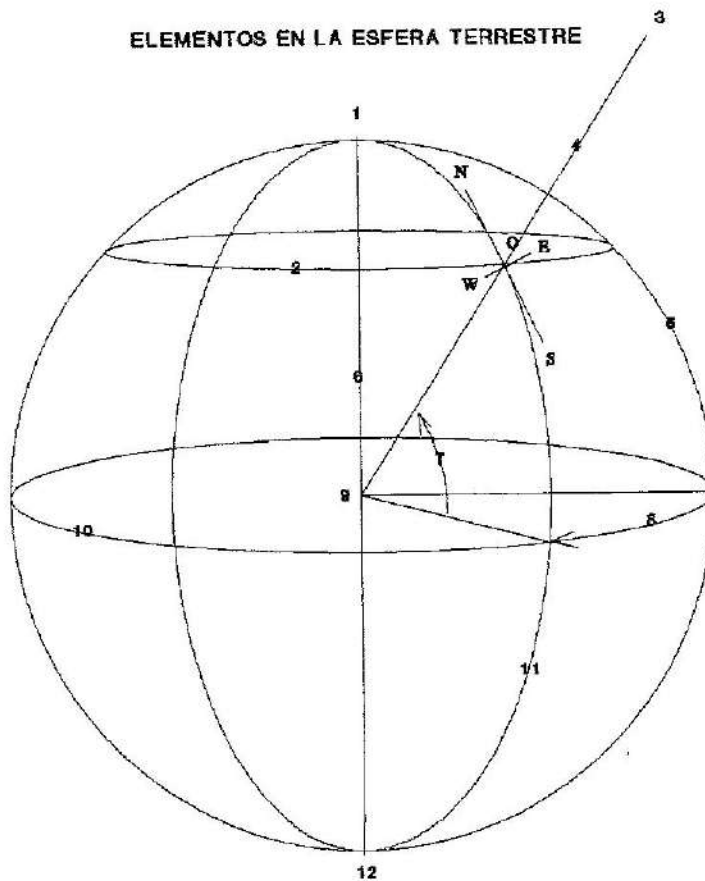
SAGITTARIUS



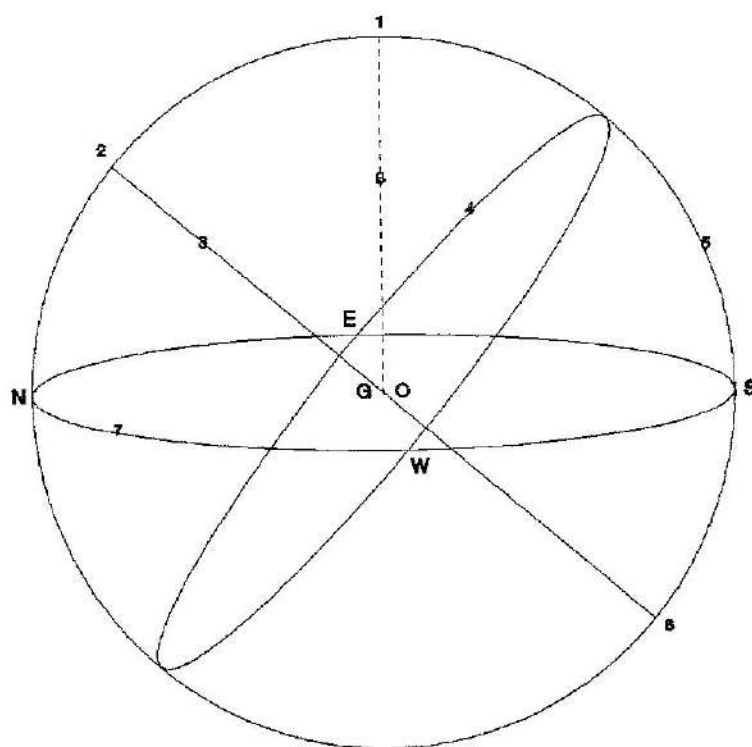
LAMINA 2.3 C

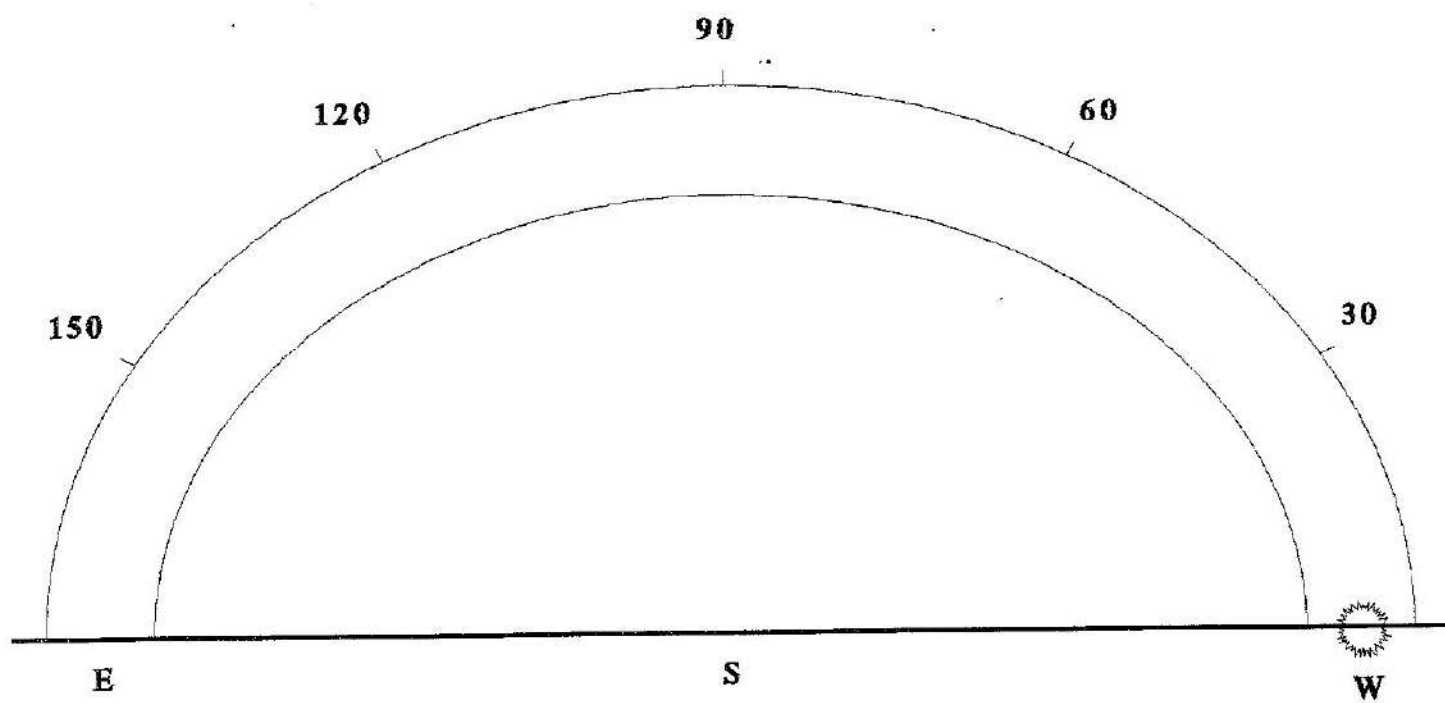


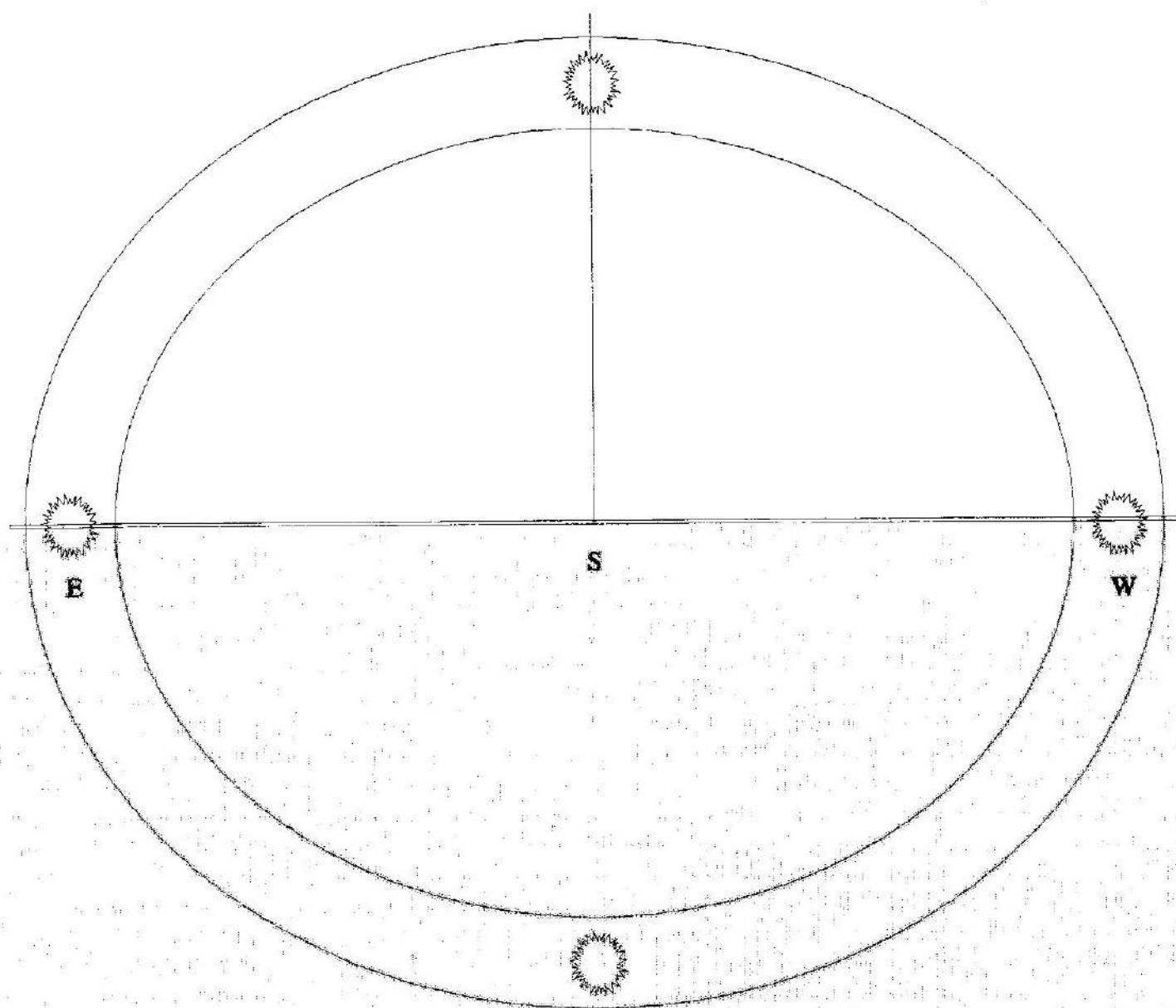
ELEMENTOS EN LA ESFERA TERRESTRE



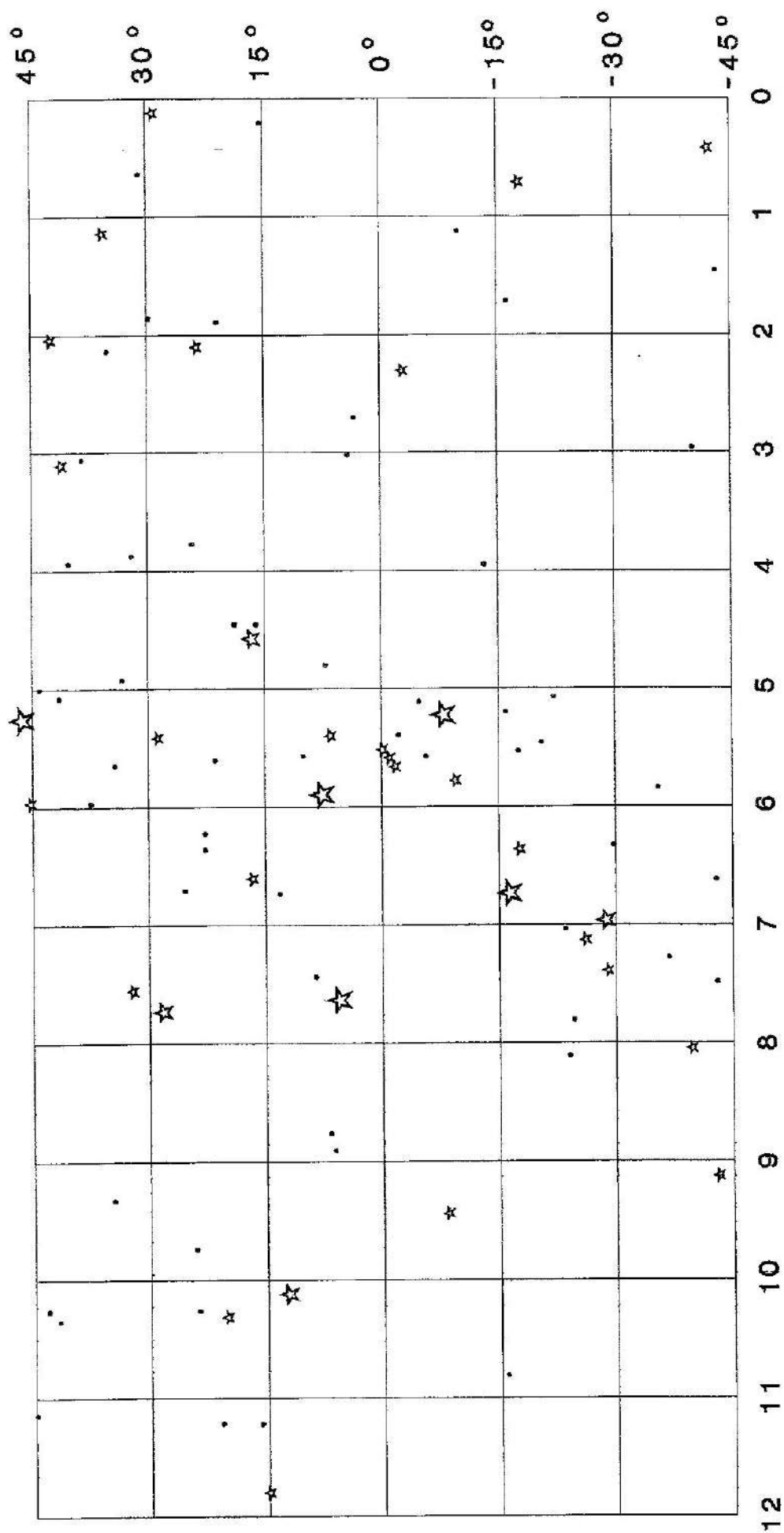
ELEMENTOS EN LA ESFERA CELESTE



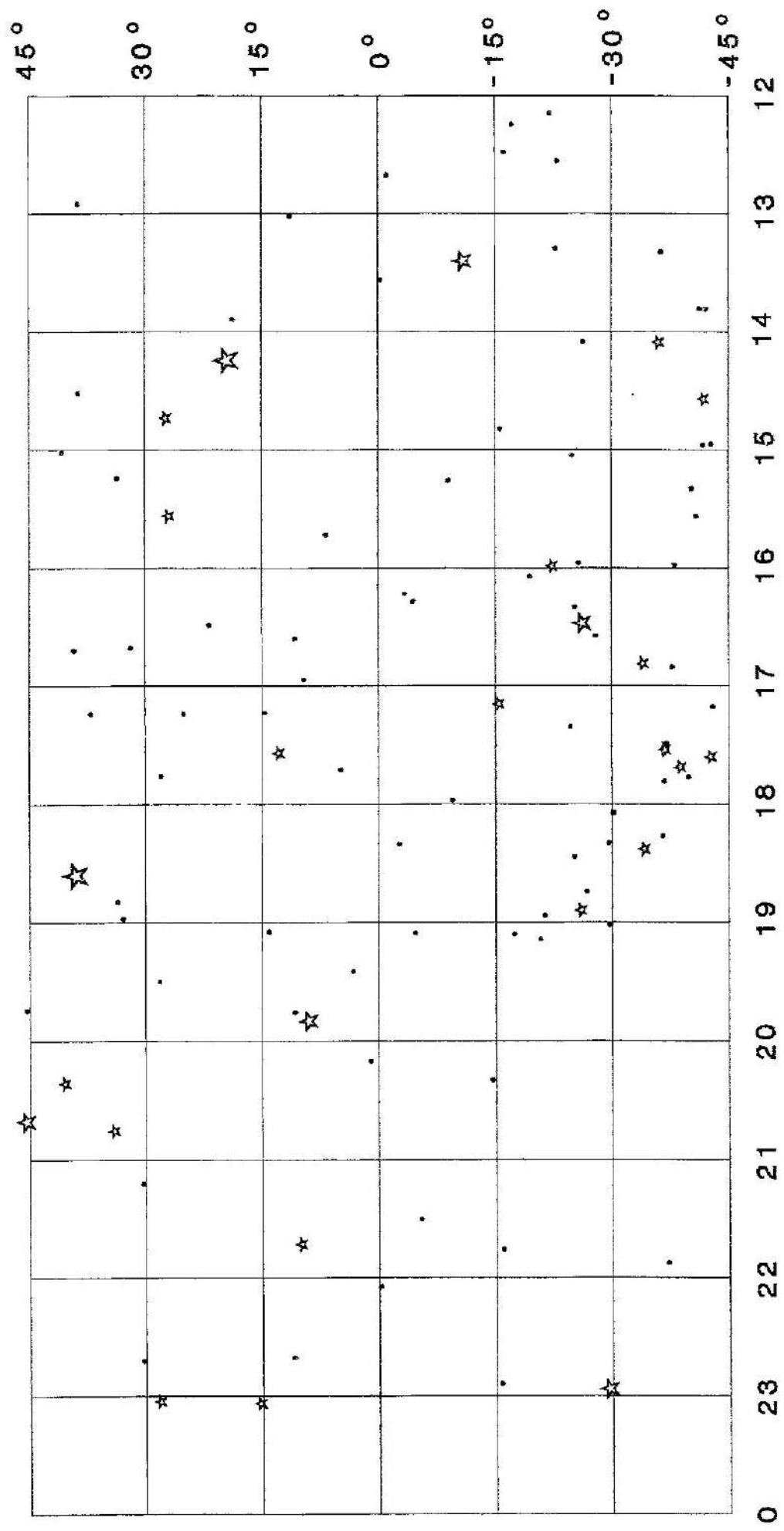




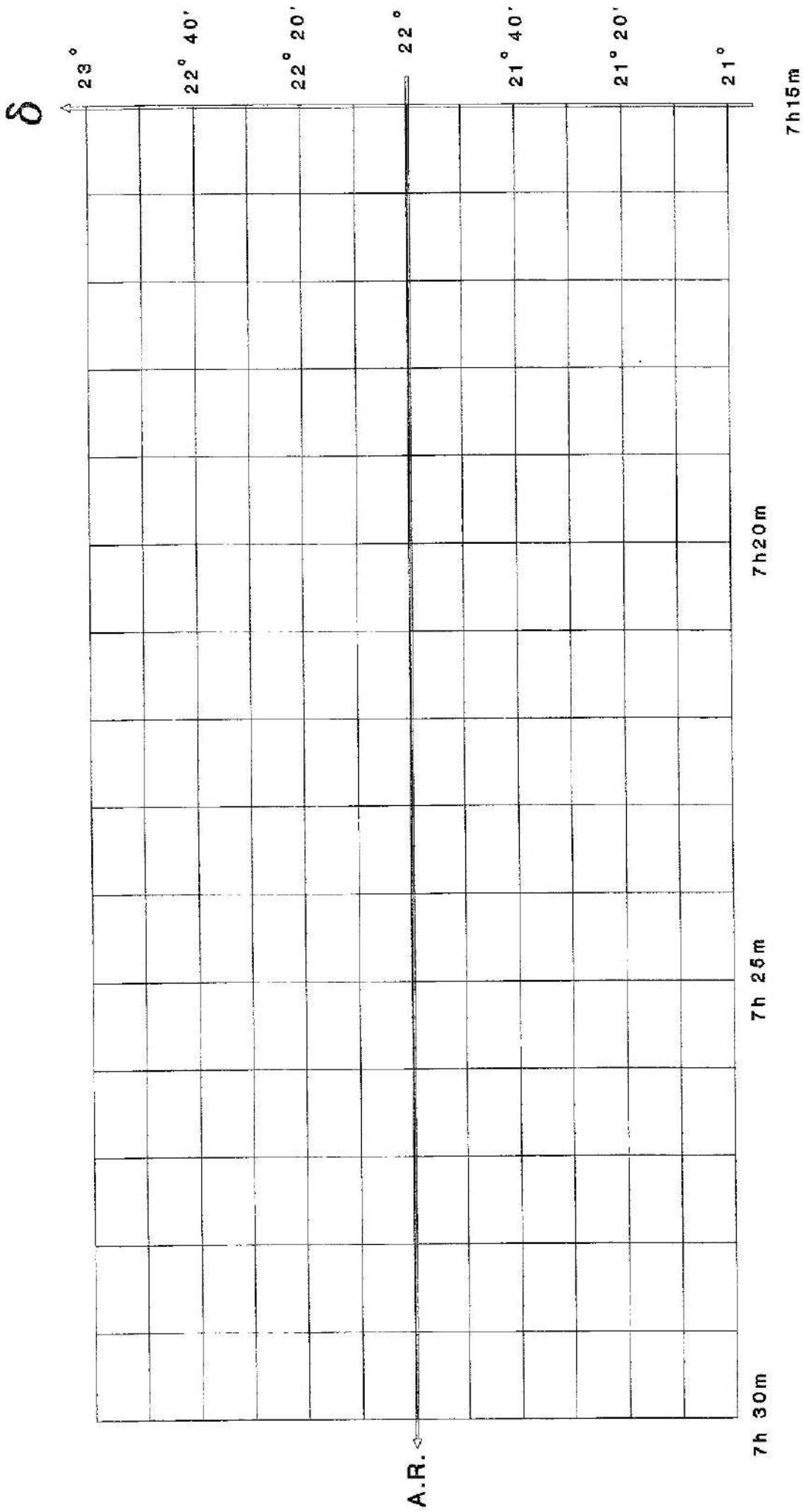
ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 6.3 A - Mapa del cinturón ecuatorial
(0 - 12 horas)

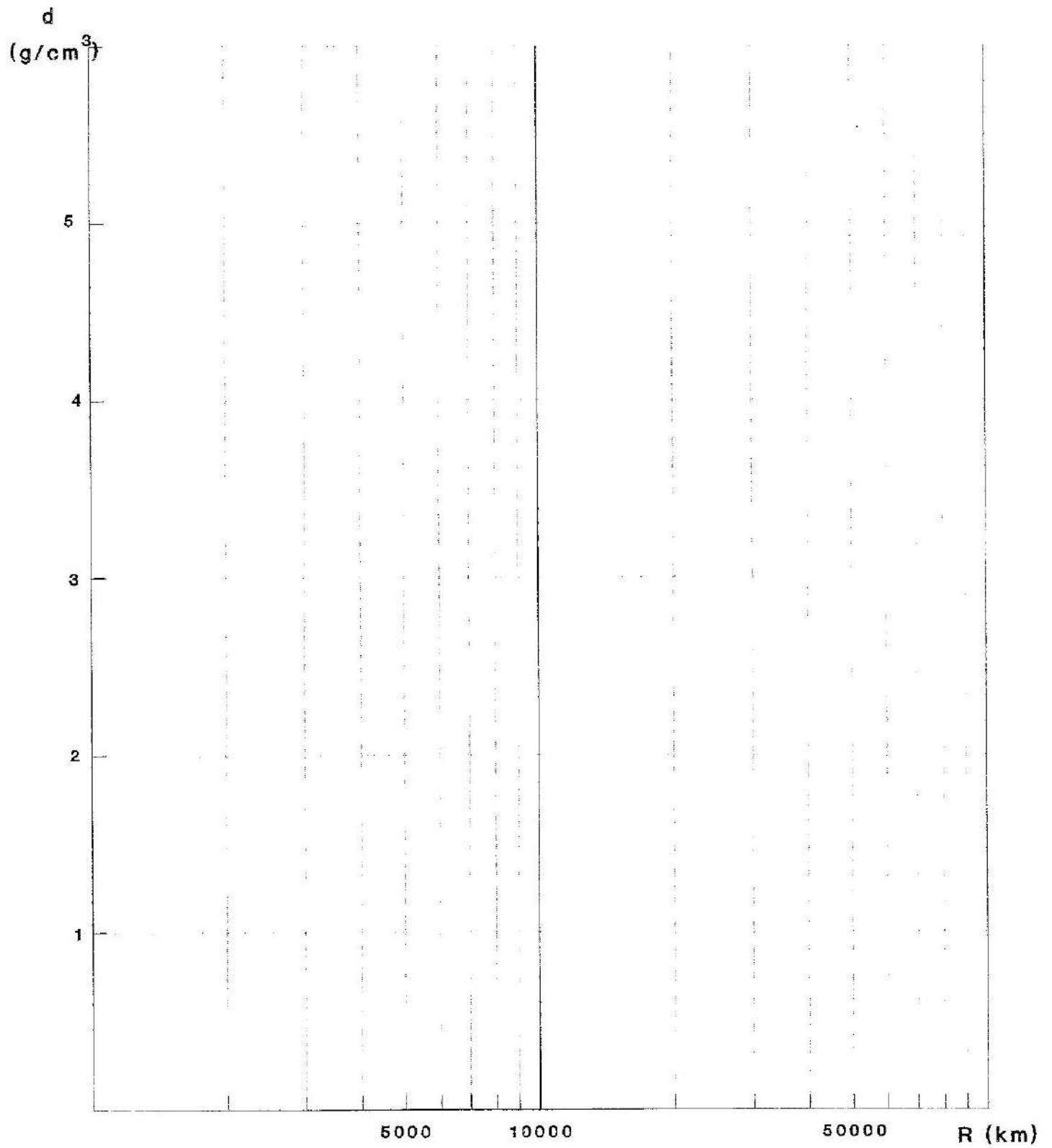


ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 6.3 B - Mapa del cinturón ecuatorial
(12 - 24 horas)



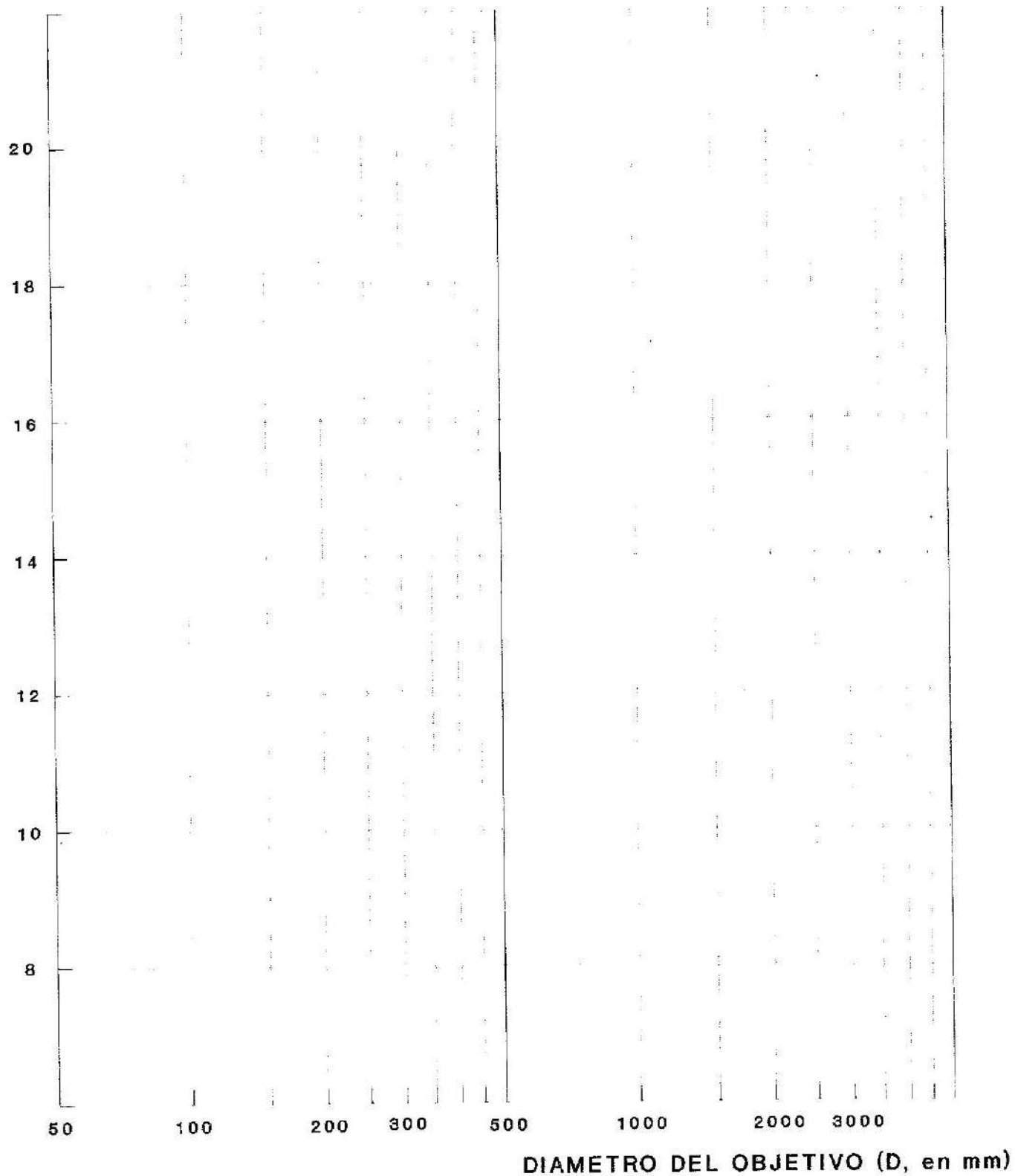
ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 8 - Cuadrícula para simular un eclipse de Sol.



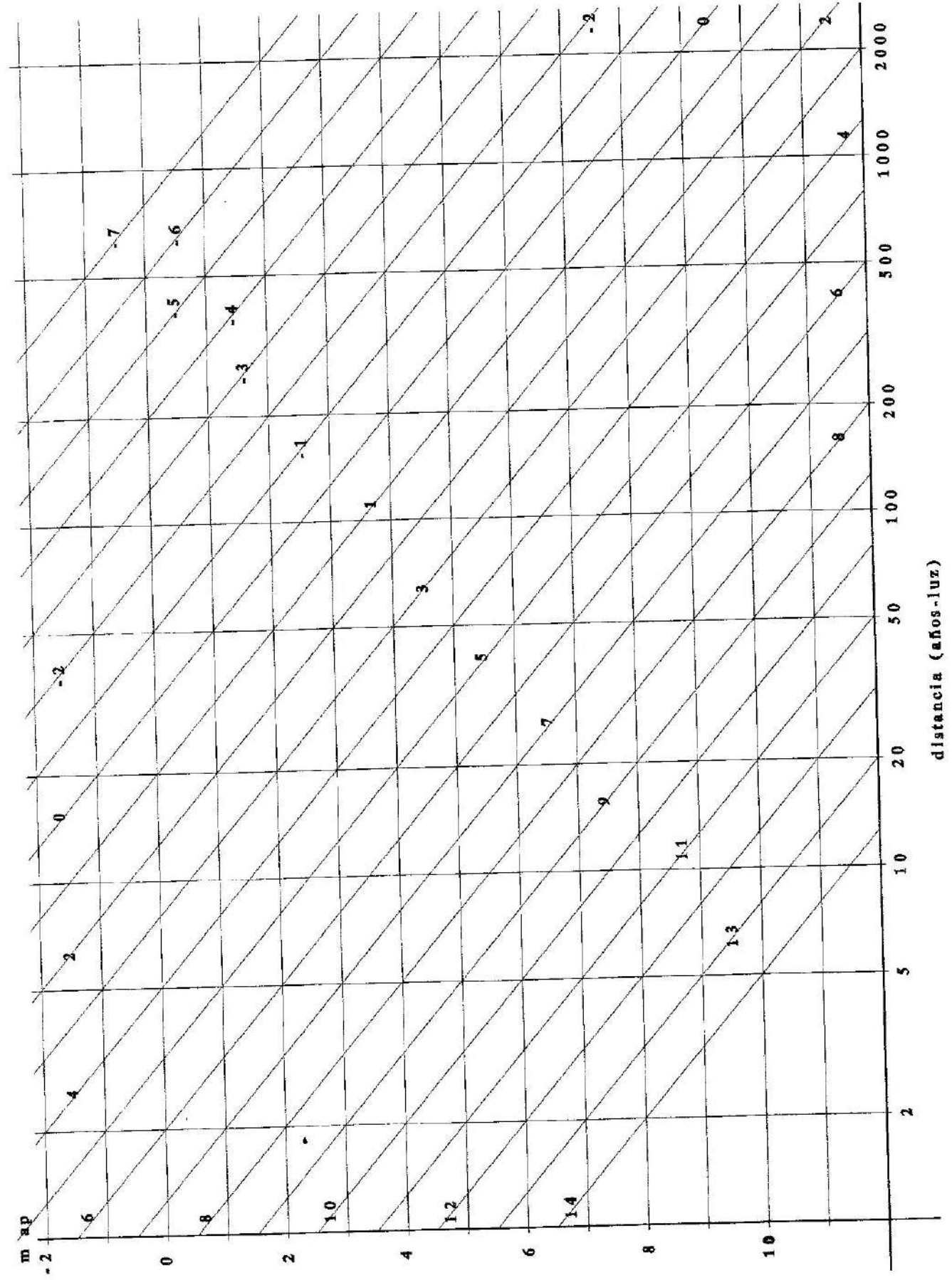


ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 12 Magnitud límite / Diámetro del objetivo

MAGNITUD
LÍMITE

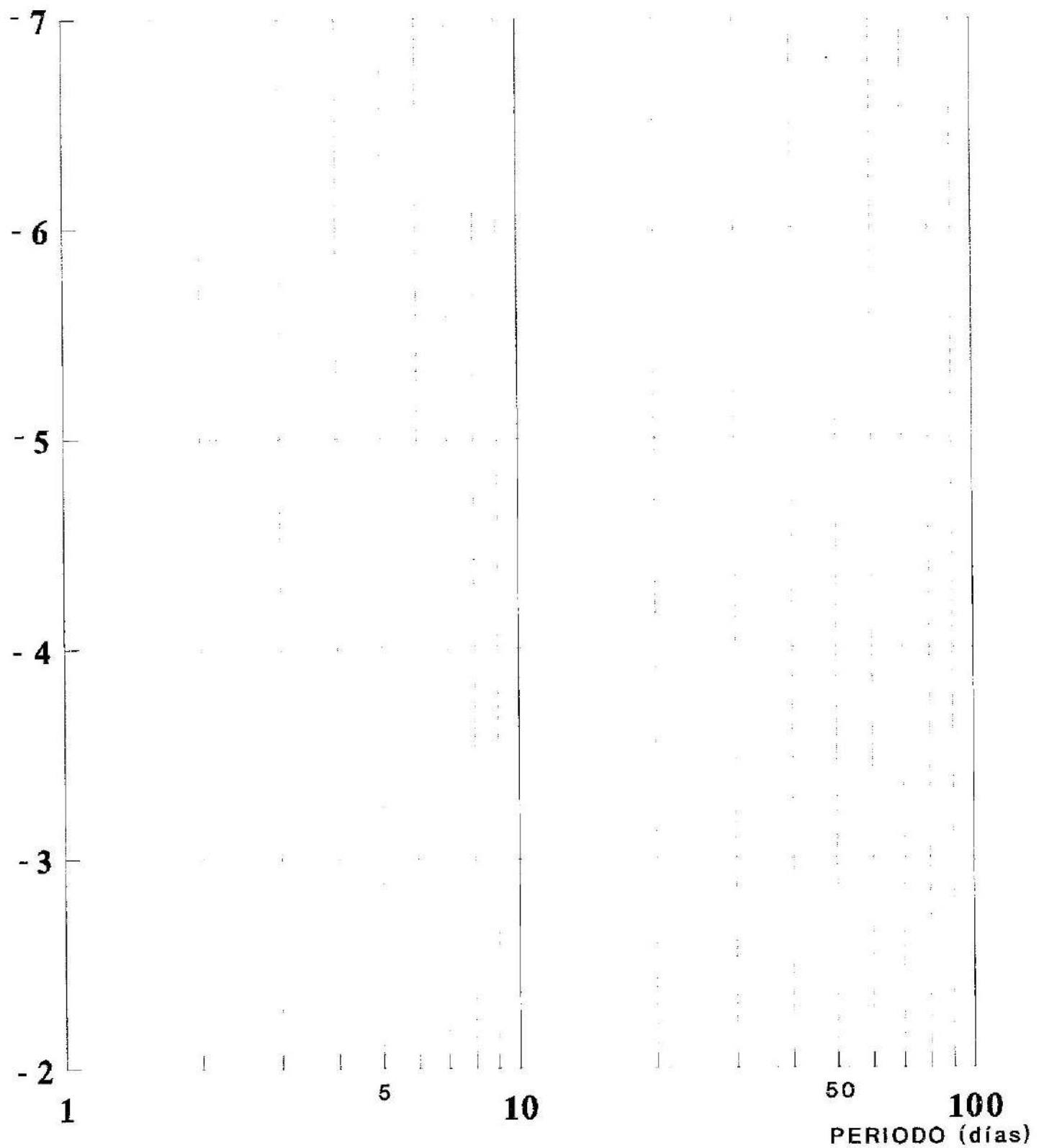


ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 14.1 Magnitud aparente / Distancia / Magnitud absoluta

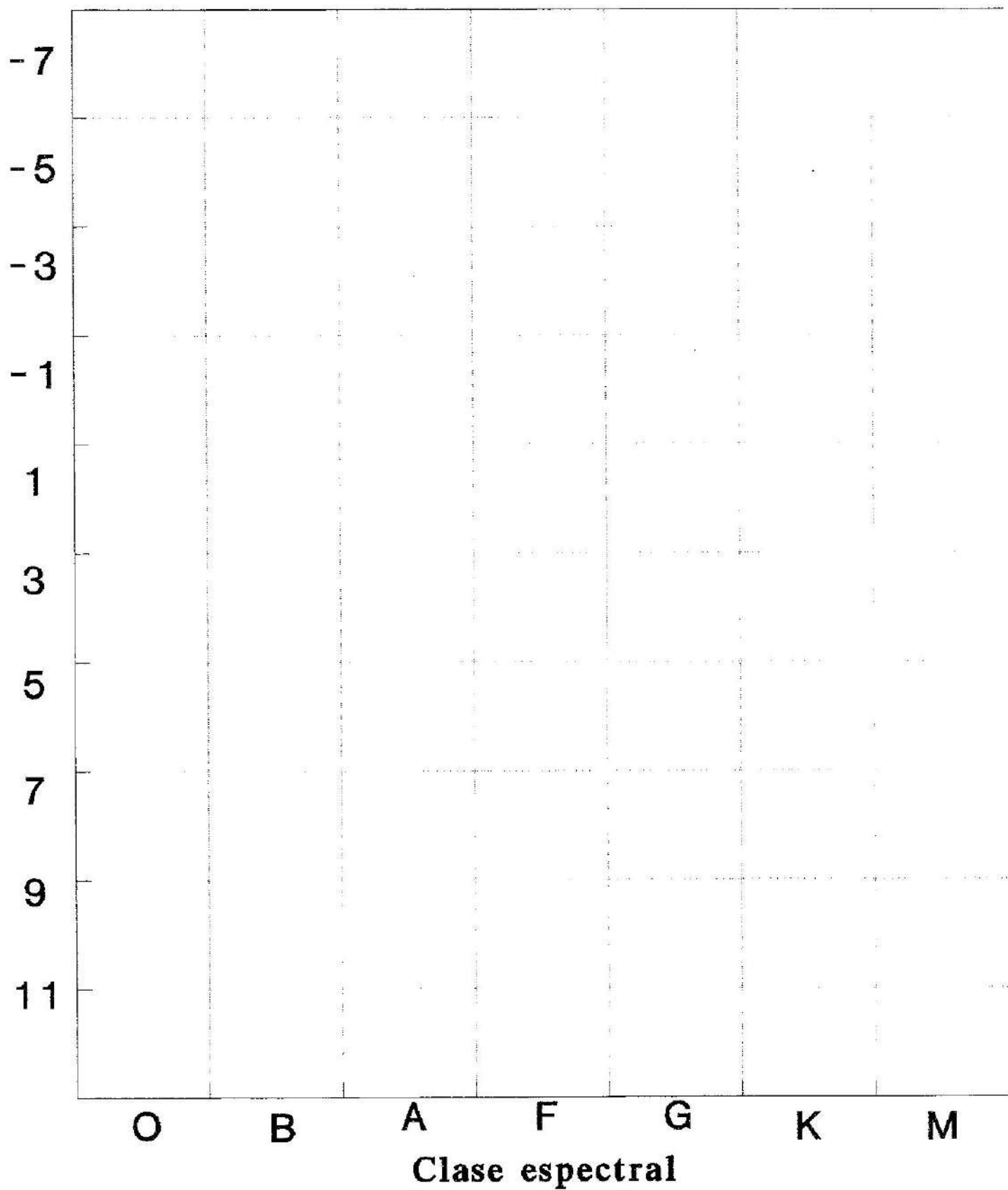


ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 14.2
Relación periodo / Magnitud absoluta en las variables Cefeidas

**MAGNITUD
ABSOLUTA**



Magnitud absoluta



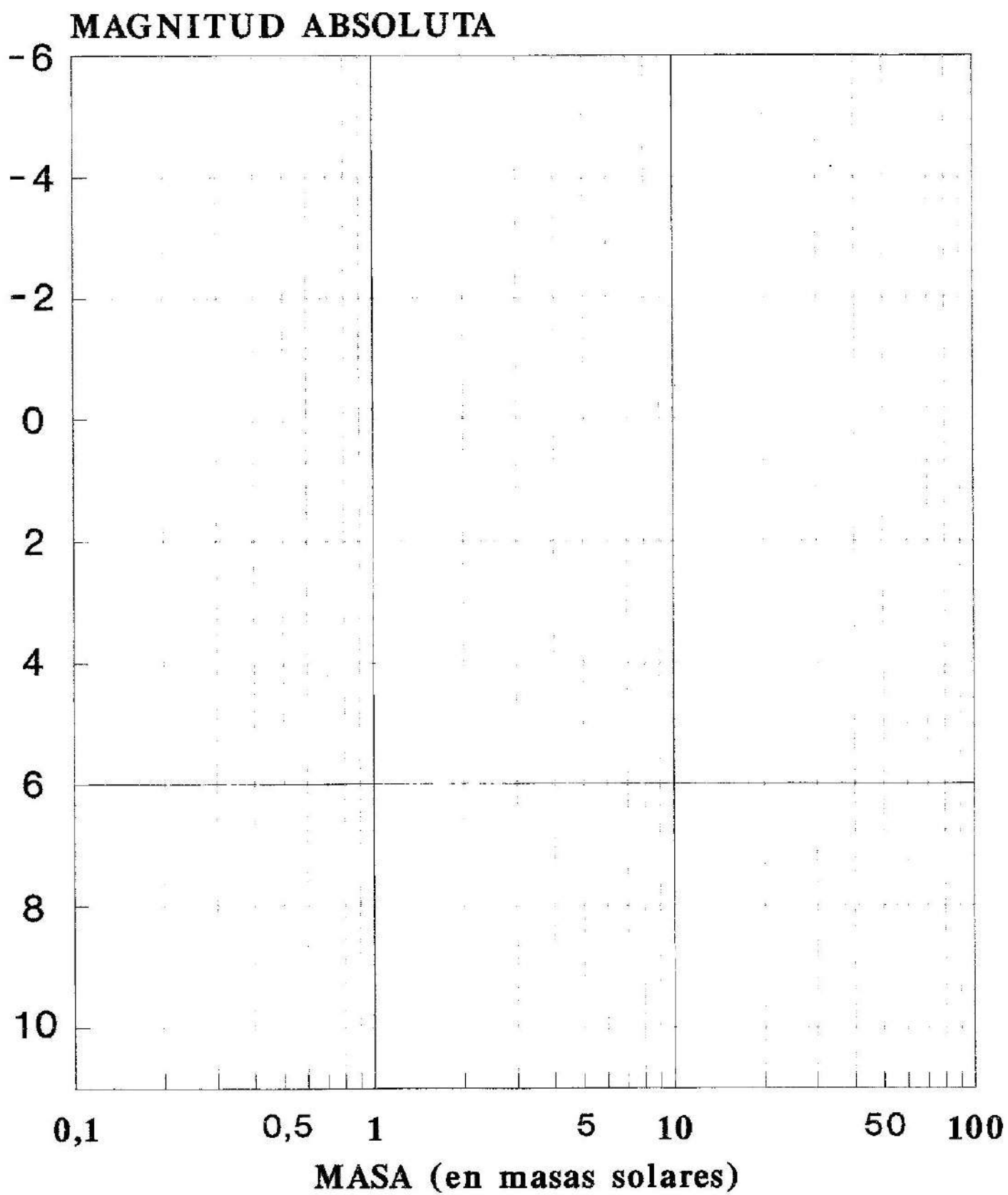
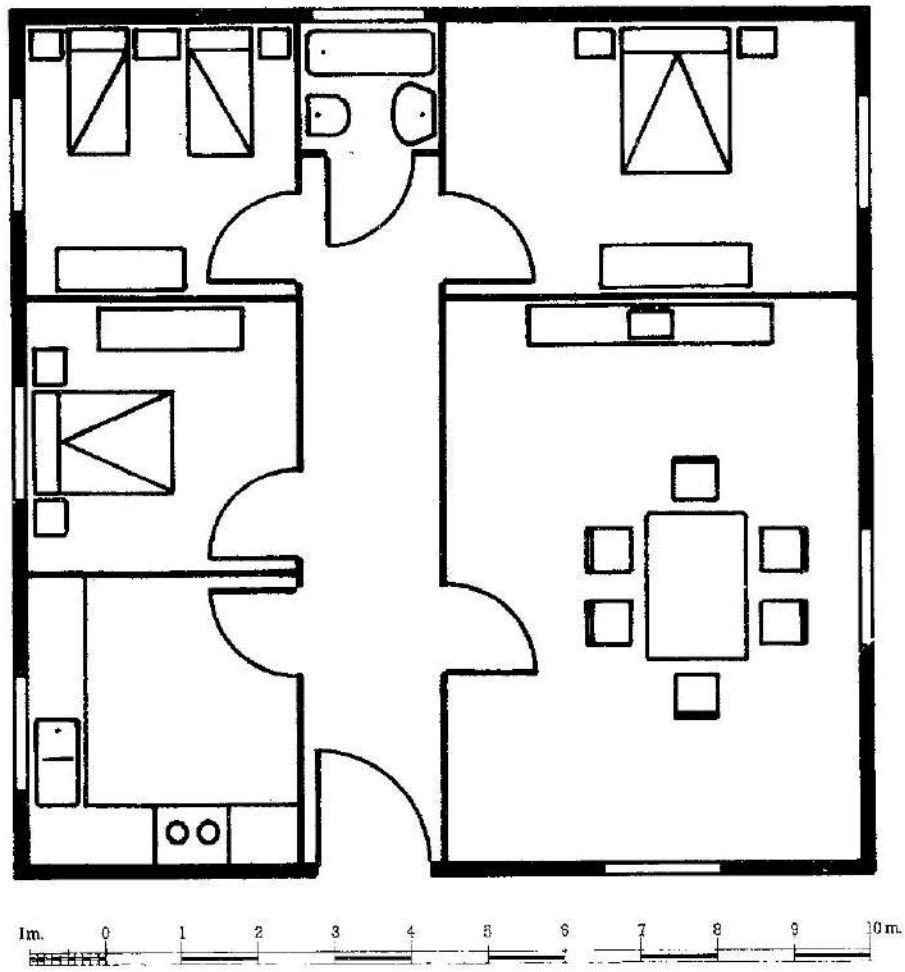
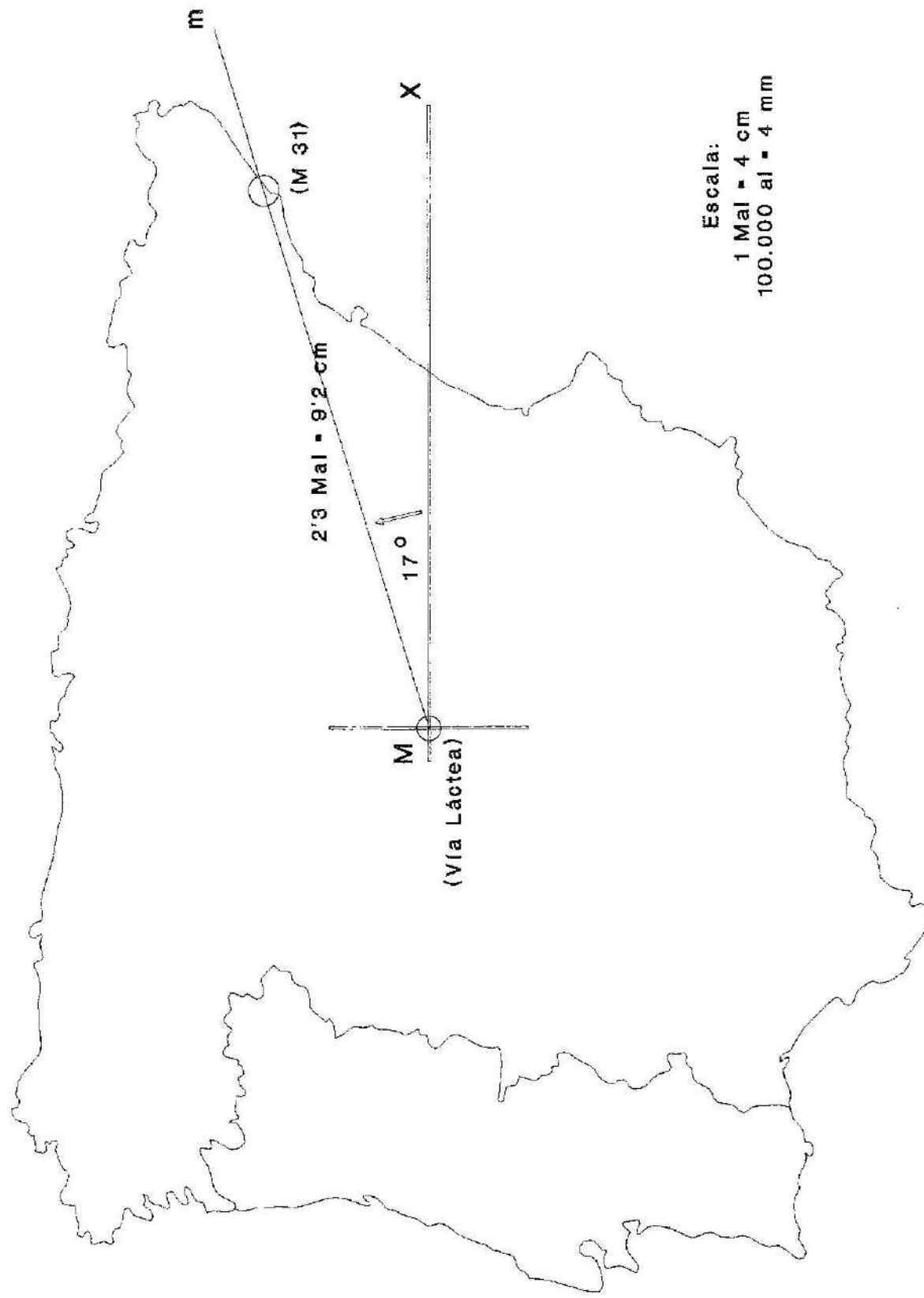
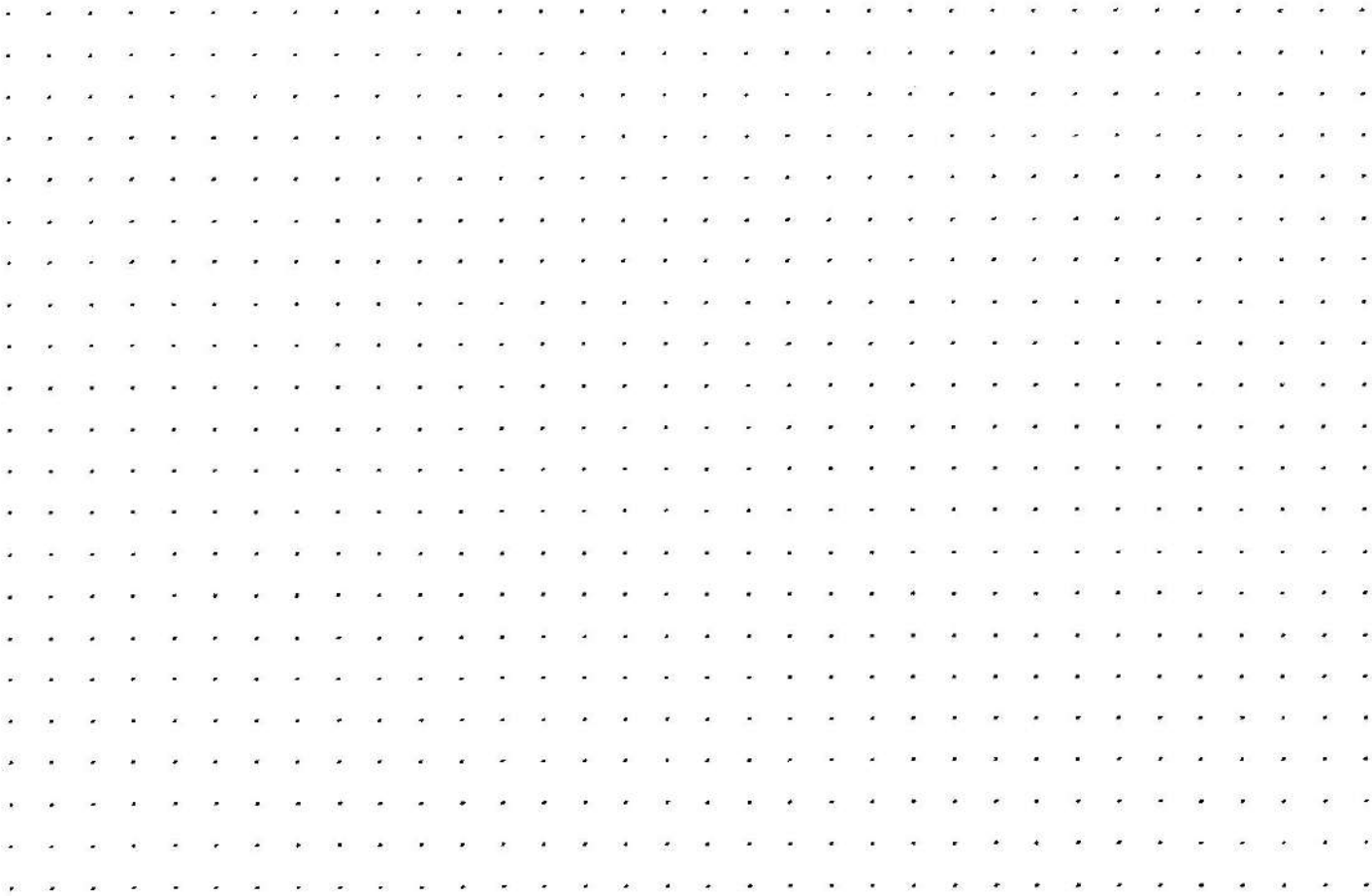


LÁMINA 16.1

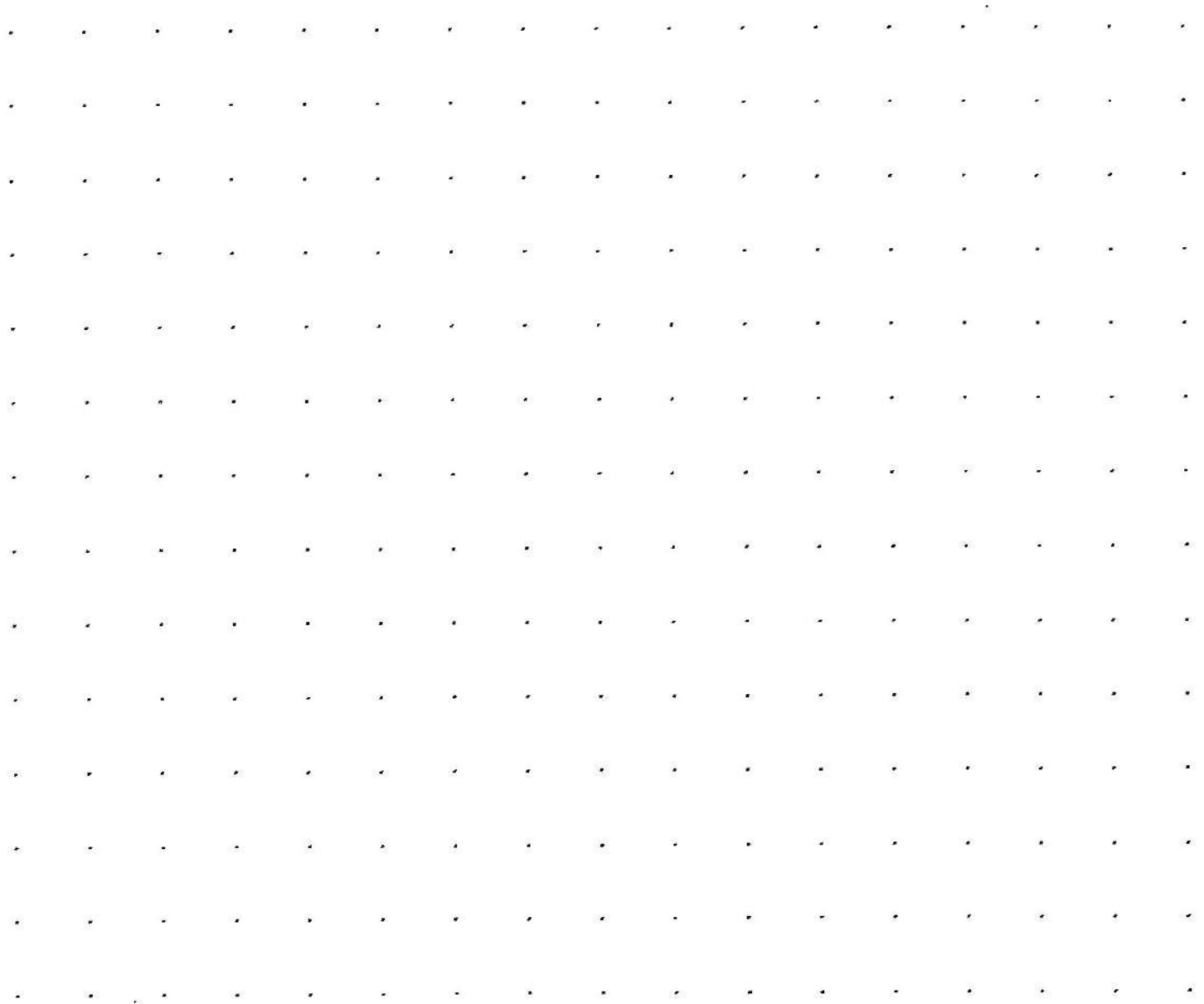


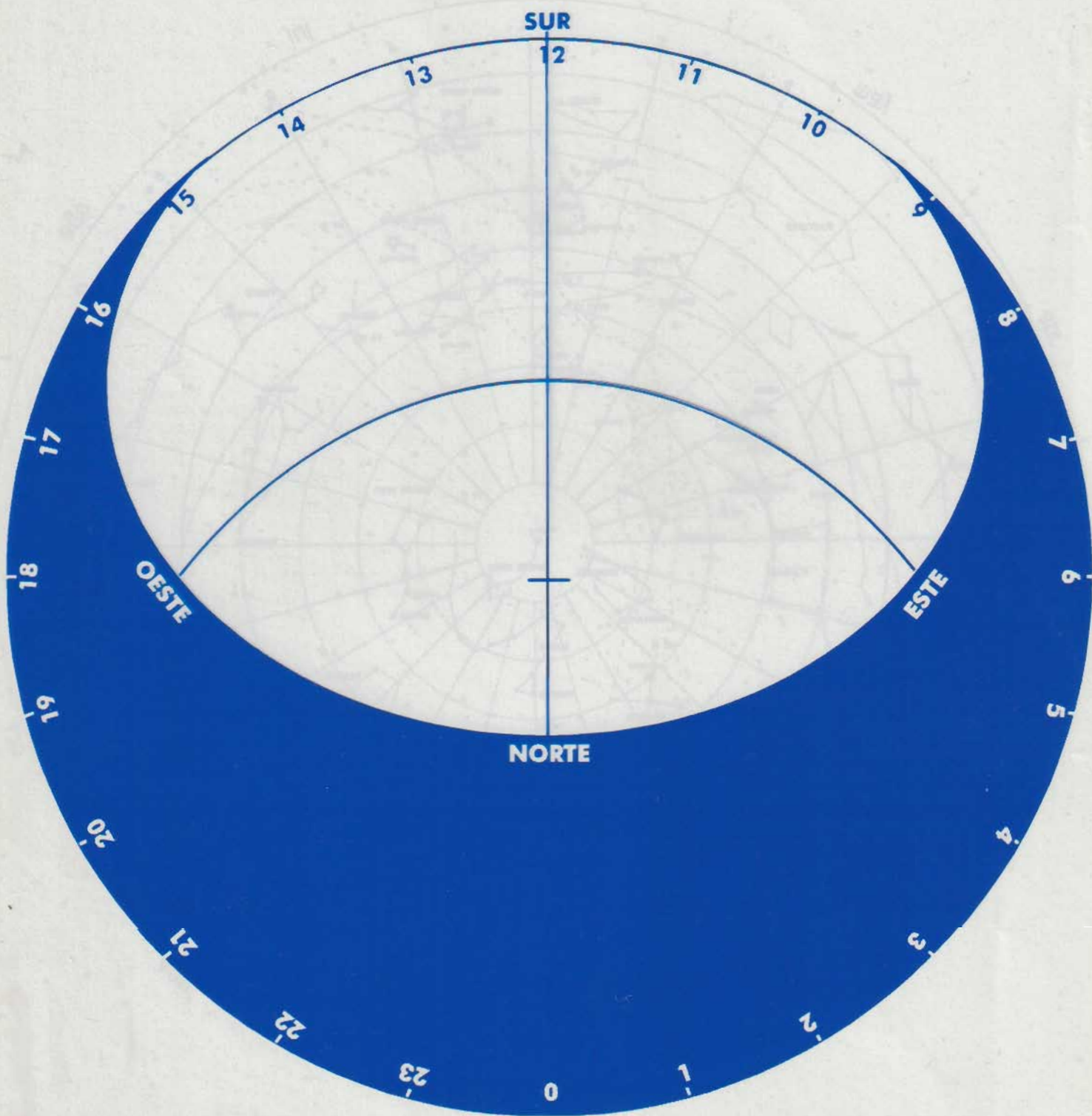


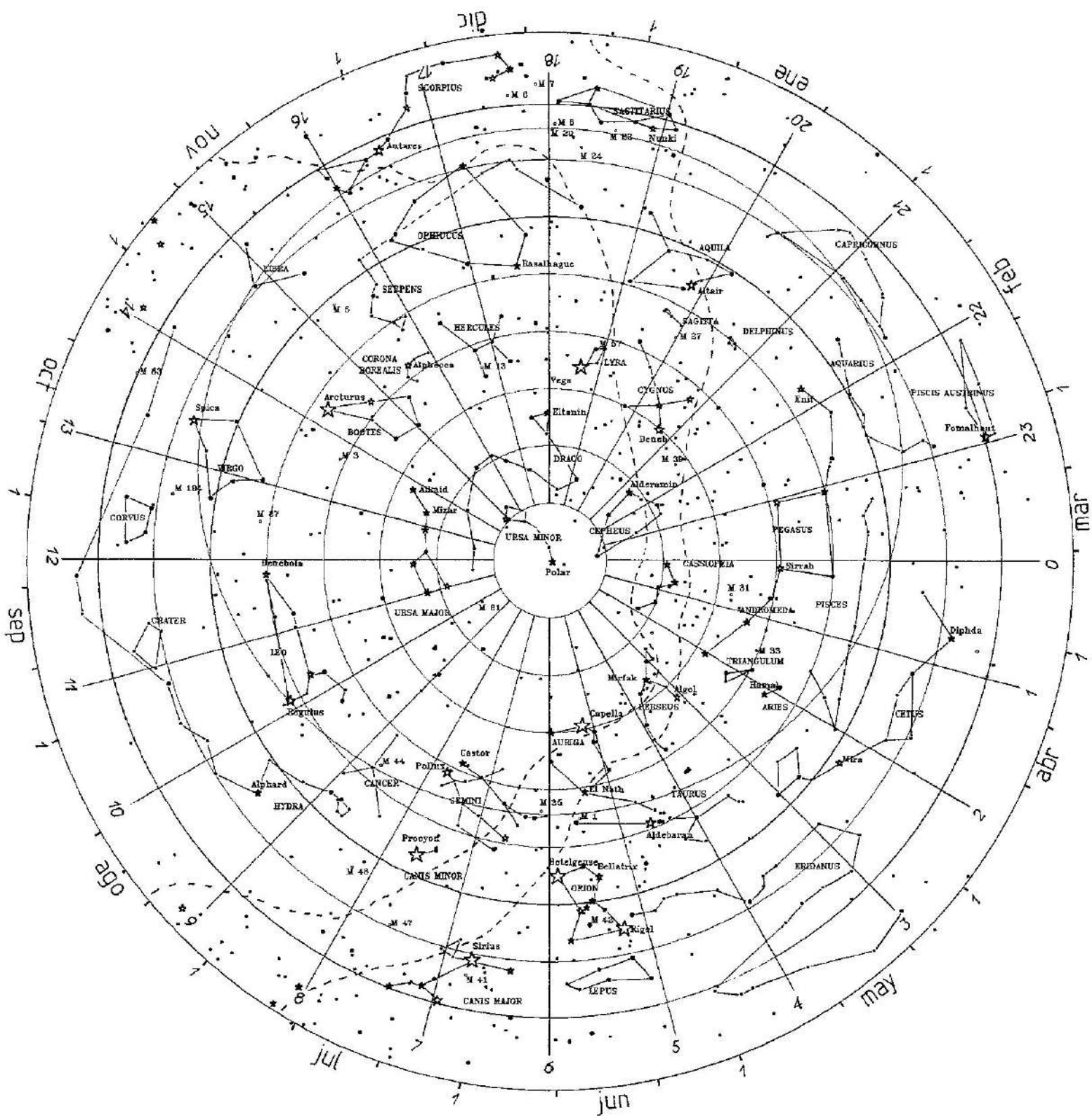




ASTRONOMÍA PASO A PASO / Lámina 18.2
La misma zona del Universo dentro de algún tiempo







COLECCIÓN MANUALES

ASTRONOMÍA PASO A PASO

Segundo Ciclo

ESO

La Astronomía es una ciencia basada en la observación. Hasta el siglo XVII no se dispuso de ningún instrumento óptico que ayudase a la visión humana. Sin embargo, hay una gran cantidad de cuestiones que pueden abordarse a simple vista: conocer las constelaciones y las estrellas, comprender los mecanismos de los movimientos aparentes de la bóveda celeste o medir el paso del tiempo con la ayuda de los fenómenos astronómicos. No es imprescindible disponer de un telescopio o de unos prismáticos para iniciarse en la ciencia de los cielos. Te animo a que disfrutes reconociendo las principales constelaciones visibles un cierto día, a orientarte por medio de la Polar o de otras estrellas, a que sepas distinguir rápidamente si ese punto de luz tan brillante es un planeta, a observar las fases de la Luna y la distinta altura y recorrido del Sol según las estaciones.

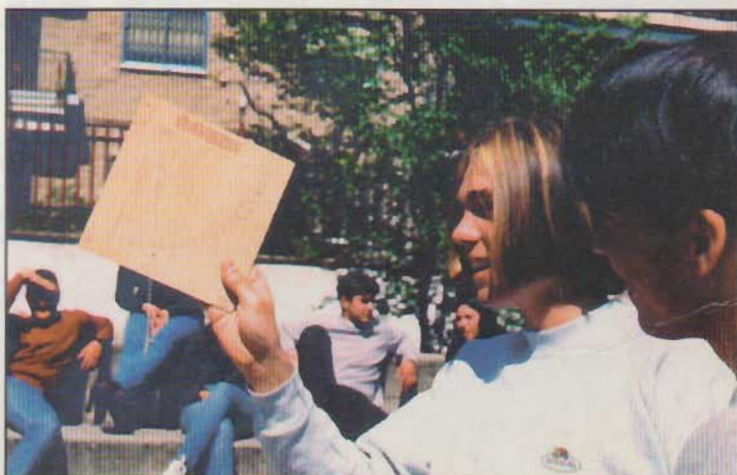
Es conveniente empezar la construcción de una casa por los cimientos. Los nuestros serán un buen conocimiento de la esfera celeste y de sus movimientos, de manera que sepamos interpretar correctamente todo lo que observemos. A ello se dedica la primera mitad del libro. En la segunda aparecen otras cuestiones, como la

posibilidad de vida extraterrestre, la exploración espacial, la observación telescópica, los agujeros negros o el Big-Bang, que serían algo así como el segundo piso de nuestro edificio.

En el libro no hay muchas definiciones ni demasiadas explicaciones. Casi todo el trabajo se hace a base de actividades gráficas, de algunos ejercicios y de la construcción de algún instrumento, maqueta o modelo. Una vez realizadas las tareas, tú mismo te habrás dado cuenta de cómo quedan explicados los fenómenos celestes. Las cuestiones que hay al final de cada tema te pueden ayudar a fijar o aclarar las ideas y a ampliar algún detalle.

Así pues, se hace un recorrido elemental por los principales temas de la Astronomía. Seguramente a lo largo del curso no será posible verlos todos. Tu profesor se encargará de seleccionar los que crea más apropiados.

Y se enfoca el trabajo de una manera activa. No hay demasiadas cosas que memorizar, pero sí bastantes tareas a realizar. La más importante de todas es analizar, interpretar y encontrar relaciones en las tablas de datos y en las gráficas que vayas construyendo. En dos palabras: razonar y descubrir.



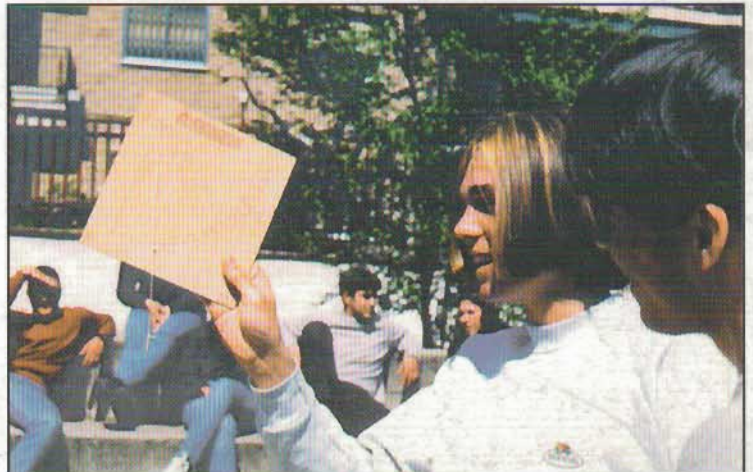
ASTRONOMÍA PASO A PASO

LIBRO DEL PROFESOR

Segundo Ciclo - ESO

COLECCIÓN MANUALES

ANTONIO ARRIBAS



Diseño cubiertas: *L. Rolando Potts*
Diseño interior: *L. Rolando Potts / Jorge Ruiz*

© EQUIPO SIRIUS, S.A.

Desengaño 12, 4º - 1

Madrid 28004

ISBN: 84-86639-79-4

Dep. Legal: M-31467-1996

Imprime:

Industrias Gráficas AFANIAS

Printed in Spain

IDEAS GENERALES	7
ESQUEMA DE CADA TEMA	9
(a) Introducción-motivación	9
(b) Texto + Actividades	9
(c) Referencias para ampliar	9
(d) Cuestiones	10
COMENTARIOS DETALLADOS	11
BLOQUE I: <i>La esfera celeste</i>	11
TEMA 1	11
TEMA 2	11
BLOQUE II: <i>El movimiento de rotación</i>	12
TEMA 3	12
TEMA 4	12
TEMA 5	13
BLOQUE III: <i>El Sol, la Tierra y la Luna</i>	13
TEMA 6	14
TEMA 7	14
TEMA 8	15
BLOQUE IV: <i>El Sistema Solar</i>	15
TEMA 9	15
TEMA 10	16
TEMA 11	16
BLOQUE V: <i>El astrónomo aficionado</i>	16
TEMA 12	16
TEMA 13	17

BLOQUE VI: <i>Las estrellas</i>	17
TEMA 14	17
TEMA 15	18
 BLOQUE VII: <i>El Universo</i>	18
TEMA 16	18
TEMA 17	19
TEMA 18	19

El libro está diseñado para impartir la materia de Astronomía en el espacio de opcionalidad de la ESO. En principio se piensa en 4º de ESO, aunque también se podría utilizar en 3º de Secundaria.

El número de actividades y de trabajos incluidos es más que suficiente para 'llenar' dos o tres horas semanales. Si, en algún caso, esta materia se impartiera en 3º y en 4º ESO, el libro podría dar de sí para ambos cursos. Una primera misión del profesor que utilice este libro será, pues, la de **seleccionar el material** que vaya a utilizar en sus clases.

El objetivo fundamental es que el alumno aprenda Astronomía. Se pretende completar un recorrido elemental por los principales campos del saber astronómico, incluyendo algunos temas que considero imprescindibles (movimientos aparentes) aunque no estén de moda y otros que, porque sí están de moda y atraen la atención de los jóvenes, no creo conveniente rechazar (vida extraterrestre, por ejemplo).

Aunque enfocado principalmente desde una óptica científica, se pretende poner de manifiesto el carácter interdisciplinar de esta materia, incluyendo o tocando los diversos temas desde diferentes puntos de vista (historia, etimologías, mitología, vida cotidiana).

La Astronomía es una ciencia observacional. Partir de los movimientos aparentes del cielo me parece fundamental. Para recoger y sistematizar estos movimientos aparentes sería necesario que los alumnos rehiciesen todo el camino recorrido por la Humanidad. Esto es irrepetible en un curso escolar, máxime cuando las posibilidades de observación directa en las grandes ciudades es mínima. La alternativa que planteo consiste en utilizar de forma continua y sistemática el **planisferio para simular** cuantas observaciones se deseen.

Se ha hecho un esfuerzo importante por alentar una **dinámica de clase constructiva**. En buena parte de los temas (más de la mitad) las actividades propuestas al alumno tienen carácter estructurante: los contenidos se van organizando a partir de las actividades. En el resto, aunque también se incluyen actividades, éstas tienen un carácter más clásico de ejercicios para comprobar o consolidar lo explicado en el texto. En general, los capítulos dedicados a Astronomía de posición tienen una estructura más constructiva y los temas de Astrofísica son de corte más clásico.

Por ello, se ha procurado que las actividades sean autosuficientes, en el sentido de que el alumno pueda acometerlas directamente, disponiendo de las tablas o los gráficos necesarios y de las instrucciones suficientes. El profesor deberá aclarar las dudas que surjan y, sobre todo, favorecer la tarea de **interpretación de las actividades** realizadas y lograr que se establezcan de forma clara los resultados a los que se ha llegado.

Cada tema se divide en unos pocos epígrafes (normalmente 3 ó 4 por tema) que marcan los diferentes contenidos tratados. Dentro de cada epígrafe hay textos destinados a ser leídos por los alumnos, actividades o ejercicios para ser realizados (en el cuaderno de clase, o en algunas láminas especiales que forman el cuaderno de láminas) y algunas actividades tituladas «taller».

(a) Introducción-motivación

Es un texto breve, con frecuencia una cita de algún personaje, en el que se dan pistas al alumno sobre qué es lo que se va a trabajar en el tema, hasta dónde se va a llegar, qué es lo que se pretende o por qué es importante o interesante, procurando motivar su estudio.

(b) Texto + Actividades

Constituyen el grueso de cada tema y, por tanto, del libro. Pretenden encuadrar el proceso de enseñanza-aprendizaje en un marco activo.

Hay actividades de diverso tipo. Predominan las de **carácter gráfico** (completar algún dibujo, elaborar una gráfica), procedimental (obtener datos del planisferio), o de cálculo que pueden ser realizadas de forma individual o en pequeño equipo de dos. Son teórico-prácticas, pues pretenden, por lo general, utilizar algún concepto, manejarlo y trabajar con él para obtener alguna información de interés.

En algunas actividades se definen conceptos astronómicos, casi siempre a través de ejemplos o ejercicios resueltos, que preceden a otros similares para que el alumno resuelva.

También se incluyen algunas actividades de tipo «taller» , como construcción de una maqueta, de un mural, de algún aparato (como un reloj de Sol). Vienen indicadas con (*) las más sencillas, con (**) las que requieren algún material no muy corriente o son de cierta complejidad y con (***) las más complicadas. Para estas actividades se dan sugerencias de construcción (siempre en material sencillo de obtener: maderas, cartón, etc.) y se incluye alguna foto de una maqueta o modelo ya construido, pero no se hace una exposición exhaustiva de los materiales necesarios ni se desmenuza al detalle el proceso constructivo. En algunos casos se da la referencia bibliográfica donde se pueden encontrar todo tipo de detalles.

(c) Referencias para ampliar

Publicaciones sencillas sobre el tema en cuestión para que cada alumno pueda satisfacer su interés. Puede servirle al profesor como guía para ir formando una biblioteca de aula.

(d) *Cuestiones*

A modo de compendio y resumen de lo que se ha ido trabajando en las actividades. Algunas son de carácter conceptual, preguntando las razones de cierto fenómeno o modelo, y otras son de aplicación práctica, de realizar algún pequeño cálculo o encontrar algún dato con el planisferio.

El libro se estructura en siete bloques:

- I La esfera celeste (temas 1 y 2)
- II El movimiento de rotación (temas 3, 4 y 5)
- III El Sol, la Tierra y la Luna (temas 6, 7 y 8)
- IV El Sistema Solar (temas 9, 10 y 11)
- V El astrónomo aficionado (temas 12 y 13)
- VI Las estrellas (temas 14 y 15)
- VII El Universo (temas 16, 17 y 18)

BLOQUE I: LA ESFERA CELESTE

Entiendo que la esfera celeste, con sus estrellas y constelaciones, es el marco de referencia en el que nos vamos a mover continuamente, tanto al hablar de la posición del Sol en el Zodíaco, como al situar la galaxia de Andrómeda o cualquier otro objeto telescópico de interés. Por ello, lo he situado en primer lugar y considero que debe ser mínimamente conocido. No me parece razonable que se hable de agujeros negros sin saber localizar la estrella Polar.

TEMA 1

Se hace un recorrido por el cielo con ayuda de mapas mudos y del planisferio, de forma bastante clásica: localizando algunas constelaciones de referencia y buscando alineaciones y jalones para encontrar otras. Los alumnos lo hacen con interés. Puede encontrarse alguna pequeña dificultad al realizar los mapas mudos por estaciones, debido a la distorsión del planisferio, pero se resuelven bien.

TEMA 2

El objetivo es repasar las coordenadas geográficas e introducir las celestes. Ambas son sencillas y necesarias para comprender muchos temas siguientes (estaciones, manejo de guías). El trabajo de mapas hace entretenido un tema más bien árido y, además, permite reforzar los conocimientos del tema anterior. Sin dificultades destacables.

BLOQUE II : EL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN

No es preciso justificar su inclusión, pero sí su tratamiento. Las explicaciones 'terminadas' (la Tierra gira en 24 horas), suelen estar memorizadas pero no interiorizadas y, por tanto, no se sabe asociarlas con los fenómenos aparentes. Creo que es imprescindible trabajar largamente las observaciones y, después, ofrecer los dos modelos posibles (el geostático y el geodinámico, ambos igualmente válidos) y mostrar su equivalencia. Lograr que los alumnos tengan una idea muy clara del modelo de las dos esferas, en el que tienen cabida todas estas observaciones, es un objetivo prioritario.

TEMA 3

Se presentan las observaciones que hacen referencia al movimiento de rotación aparente del Sol, de la Luna y de las estrellas. Para el Sol y la Luna no hay ningún problema. Para recopilar datos acerca del movimiento de las estrellas se recurre, como siempre en este libro, a simulaciones mediante el planisferio. El proceso resulta muy laborioso y difícil y requiere algún comentario.

Se trata de reproducir lo que vemos en el cielo por la noche mediante el dibujo, para diferentes fechas y horas, de semicírculos de visibilidad. Éstos se utilizan en numerosas guías y manuales, y reflejan con buena aproximación el aspecto de la bóveda celeste. Pero el paso del planisferio a los semicírculos de visibilidad no es sencillo y los alumnos encuentran dificultades importantes, en especial, como es lógico, con el semicírculo Sur. Si el profesor ha optado por la línea elegida en este libro y quiere que sus alumnos se familiaricen cabalmente con los movimientos aparentes, creo que es rentable dedicar todo el tiempo que sea necesario hasta conseguir automatizar el paso del planisferio a los semicírculos.

Cualquier otra ayuda en forma de maqueta tridimensional que simule una pantalla semiesférica, observación nocturna de alguna duración, fotografías del cielo nocturno de larga exposición, visitas a un planetario o utilización de vídeos o de programas de ordenador que simulen estos sencillos movimientos, será, sin duda, de gran utilidad.

TEMA 4

En la primera pregunta de este tema se presenta el modelo de las dos esferas. Luego se muestra cómo todas las observaciones recopiladas hasta ahora encajan perfectamente y de forma sencilla en él, lo que nos ofrece un marco conceptual en el que todo queda explicado satisfactoriamente.

El trabajo se basa en el dibujo de la esfera celeste en sección (actividad 3 y varias posteriores, en este tema y en el dedicado a las estaciones). Estos dibujos son bastante fáciles de realizar pues no hay que representar ninguna elipse en perspectiva y, si se saben interpretar correctamente, dan una idea muy clara del movimiento aparente de los astros. Se insiste en su confección como uno de los elementos clave de toda la primera parte del libro, pues se utilizan para simular el movimiento de rotación y las estaciones en cualquier lugar de la Tierra, siendo esto último uno de los objetivos fundamentales.

Para estas actividades es cómodo que los alumnos dibujen las circunferencias utilizando un transportador de ángulos, pues así pueden medir directamente sobre ella los ángulos necesarios para situar los polos, el ecuador y los paralelos de las estrellas que aparezcan en los enunciados de los ejercicios. Se evitan así algunos errores y dificultades que surgen cuando se ha trazado la circunferencia con un compás y se utiliza un transportador de distinto radio que esa circunferencia.

Muchas de las preguntas que se hacen (altura máxima que alcanza Sirio, por ejemplo) pueden contestarse (a) midiendo directamente con el transportador el ángulo correspondiente o bien (b) realizando algunas cuentas sencillas entre los ángulos de declinación y de latitud. Cuando el profesor lo estime oportuno podría pedir a algún alumno que intente el segundo método.

En la tercera pregunta se explica la relación fundamental entre la altura aparente de la Polar sobre el horizonte de un lugar y su latitud, para aplicar inmediatamente esta relación al estudio y simulación del movimiento aparente de rotación en diferentes localidades.

En el texto no se enuncia explícitamente la clasificación de las estrellas en los tres grupos de (a) siempre visibles (o circumpolares), (b) estrellas que salen y se ponen y (c) estrellas invisibles, pero se trabaja sobre ello en las actividades 3, 5 y 6. Se puede remarcar si se cree conveniente hacerlo.

El último epígrafe, titulado 'Antiguos y modernos' intenta colocar en su justa posición el modelo de las dos esferas, mostrando su eficacia pero haciendo ver que no es más que un artificio imaginario.

Las cuestiones 7 y 8 no son simples ejercicios rutinarios sino verdaderos problemas, no tanto por su dificultad que no es mucha, sino porque quizá permitan valorar si una persona ha interiorizado y es verdaderamente capaz de manejarse con seguridad dentro del esquema conceptual del modelo de las dos esferas.

TEMA 5

Se trata de un tema claramente opcional. Es perfectamente posible seguir todo el curso sin abordarlo. Se incluye porque suele resultar atractivo, porque rompe la dinámica abstracta de los dos temas anteriores y porque permite reforzar los conocimientos del movimiento de rotación, toda vez que el fundamento de todo reloj de Sol es la regularidad del movimiento aparente de rotación del astro rey.

Hay una verdadera infinidad de tipos de relojes de Sol y de variantes. He elegido algunos en los que el trazado de las líneas horarias puede comprenderse con facilidad (como ocurre con los ecuatoriales) y otro más complejo, el horizontal-ecuatorial-vertical. Aunque la construcción de éste último parece un aborrecible recetario, creo que este reloj, ya montado, es bastante instructivo, pues puede permitir vislumbrar la justificación del trazado de las líneas horarias, un poco más complicado, de los relojes horizontales o verticales.

Se completa el tema con las correcciones necesarias para obtener la hora oficial a partir de la solar o viceversa. La primera de ellas, la correspondiente a la longitud geográfica, es una consecuencia inmediata y muy clara del movimiento de rotación de la Tierra y quizá debería considerarse como un contenido básico, y no como opcional, el que los alumnos comprendan claramente la justificación de la diferencia horaria entre diversos países según su longitud geográfica.

BLOQUE III: EL SOL, LA TIERRA Y LA LUNA

En este bloque se hace una revisión de los principales fenómenos relacionados con los dos astros más importantes de nuestros cielos. En el tema 6 se describen los relacionados con la Luna, el 7 se dedica a las estaciones y el 8 a algunas cuestiones, como los eclipses y los calendarios, en las que intervienen las posiciones y movimientos aparentes tanto del Sol como de la Luna.

El tema 8 puede considerarse un tanto accesorio, pues sus contenidos no parecen absolutamente básicos en un primer curso general de Astronomía. También es posible seleccionar bas-

tante del tema dedicado a la Luna, según el gusto de cada cual, mientras que el asunto de las estaciones quizá merezca una dedicación amplia.

TEMA 6

Se recogen primero algunas observaciones relacionadas con las fases de la Luna: no sólo los, más o menos conocidos, cambios en el aspecto de la Luna (actividad 1) sino también aquellas que relacionan la fase con su proximidad al Sol en el cielo (actividad 2). Para poder realizar la actividad 2 hay que recordar que los astros parecen avanzar 15° cada hora. Si no se ha trabajado el tema de los relojes de Sol habrá que insistir en ello y aclararlo ahora.

En el segundo epígrafe se intentan explicar las observaciones anteriores. Recomendando realizar la simulación de las fases de la Luna con una esfera en blanco y negro. Las explicaciones convencionales a base de dibujos no me parecen enteramente satisfactorias, mientras que con la esfera en blanco y negro se simula claramente el cambio en la faz de la Luna.

Me ha parecido de cierto interés abordar las relaciones entre la fase y la hora de visibilidad de la Luna; son observables con toda facilidad y, por lo general, muy poco conocidas, estando muy extendida la errónea creencia de que la Luna es visible tan sólo por las noches. La actividad 5 pretende poner de manifiesto estas relaciones. Algunos alumnos encuentran dificultades en distinguir claramente el movimiento de rotación aparente de la Luna en un día y su revolución alrededor de la Tierra en un mes.

La actividad 6 sólo busca descubrir la estrecha relación que existe entre las mareas y la Luna. Como se observa en la tabla, el ciclo de las mareas es muy irregular, dependiendo de factores poco controlables como la profundidad de las aguas y la forma de la costa. El retraso medio de ambos fenómenos, sin embargo, concuerda con gran precisión. La explicación del doble abombamiento de los océanos es de alguna complejidad y el profesor tendrá, seguramente, que completarla con aclaraciones.

La última pregunta tiene como objetivo una breve descripción de la Luna como cuerpo planetario. En el ejercicio 7 se ofrece un procedimiento muy sencillo para averiguar su tamaño, conociendo de antemano su distancia a la Tierra. Se trata de hacer ver, cuando se pueden reproducir sin necesidad de matemáticas complicadas, algunos métodos ingeniosos utilizados en Astronomía evitando una lluvia de datos sin justificación.

TEMA 7

De alguna manera, el objetivo primordial de esta parte dedicada a los movimientos, a la Astronomía de posición, es que los alumnos comprendan claramente el fenómeno de las estaciones en cualquier latitud terrestre. Las actividades del tema 4 se han diseñado para poder llegar a ello ahora.

Como de costumbre se comienza sistematizando las observaciones, en este caso bastante familiares, relativas a las estaciones. Se podría pasar rápidamente a las explicaciones, aunque prefiero una vez más que los alumnos utilicen el planisferio y reproduzcan los recorridos del Sol, y que realicen numerosas gráficas para impregnarse claramente de las apariencias que debemos tener en cuenta.

A estas alturas el manejo del planisferio ya les resulta bastante habitual y no suele presentarse ninguna dificultad notable en encontrar la posición del Sol, sus horas de salida y de puesta y en reproducir su recorrido diurno.

Las actividades 6, 7 y 8 son el colofón de estos temas. Aunque algo complejas, son exactamente iguales que las realizadas en el tema 4, en las que ya se manejaban simultáneamente los

ángulos de latitud y de declinación. Creo que el conseguir explicar adecuadamente el Sol de medianoche y los climas en las diferentes latitudes bien vale la pena el esfuerzo.

El último apartado es importante desde un punto de vista teórico, pues parece necesario mostrar la equivalencia entre la visión geocéntrica que hemos trabajado y la heliocéntrica, que los alumnos reconocen como verdadera. Da bastante buen resultado la actividad de 'taller' en la que se coloca un globo terráqueo sobre un pupitre y dos planchas verticales sirven para separar claramente la parte iluminada por el Sol y la zona en la que es de noche. Haciendo girar sobre su eje el globo se aprecia con claridad la diferente duración de días y noches en función de la latitud del lugar y de la orientación del eje respecto al Sol, es decir, de la estación en la que estemos.

TEMA 8

En la primera pregunta se utiliza de nuevo el planisferio para hacer ver los ciclos de visibilidad anual de algunas estrellas. Estas apariciones y desapariciones regulares fueron utilizados en la Antigüedad para marcar el ritmo del año. Es una curiosidad de cierto interés, más que nada histórico y cultural, aunque no imprescindible. Las actividades que se proponen requieren bastante tiempo y un poco de atención, pues hay que coordinar los recorridos diurnos del Sol y de la estrella en cuestión.

La presentación de las normas para la duración del año según el calendario juliano y según el gregoriano, actualmente en vigor, ocupan el segundo apartado. Lo más probable es que las reglas para fijar qué años son bisiestos no sean conocidas por los alumnos y puede tener cierto interés hacerlas explícitas.

La parte final es una exposición clásica sobre los eclipses. En las actividades 6 y 8 se reproducen, utilizando tablas con las coordenadas del Sol y de la Luna, los dos tipos de eclipses. La intención es familiarizarse con el sentido de avance de las sombras evitando errores de bulto como los que aparecen en algunas secuencias de anuncios televisivos, que presentan supuestos eclipses en los que los astros se desplazan en sentido opuesto al que vemos desde la Tierra.

BLOQUE IV: EL SISTEMA SOLAR

La transición de la Astronomía de posición a la Astrofísica se produce gradualmente en este bloque. Su primer tema, el 9º, se dedica exclusivamente a la cinemática de los cuerpos planetarios, en el 10º se efectúa una descripción de los principales astros del Sistema Solar y en el 11º se aborda la cuestión de la vida, en la Tierra y fuera de ella.

TEMA 9

Una vez presentadas las observaciones correspondientes (los bucles o retrogradaciones de los planetas), se menciona levemente todo el trabajo de los astrónomos en busca de una teoría ajustada, para pasar directamente a las explicaciones heliocéntricas. Hubiera sido excesivamente costoso zambullirse en el magnífico mundo de la Historia de la Astronomía, desde Eudoxo hasta Kepler. Para los interesados, me remito al libro de Agustench y Baig, *La revolución científica de los siglos XVI y XVII*, de Alhambra (colección BREDAS).

Las siguientes actividades (desde la 3 en adelante) explotan el modelo heliocéntrico para obtener cuantos datos sea posible relativos al movimiento y distancia de los planetas. Las actividades 4 y 5 consisten en relacionar los períodos sidéreo y sinódico de cada planeta, como si la Tierra y el otro planeta fueran los extremos de las manecillas de un gigantesco reloj con centro

en el Sol. La 3 y la 6 (distancias del Sol a Venus y a Marte) suelen resolverse utilizando trigonometría. Sin embargo, como no está claro que los alumnos dispongan de esta herramienta y es posible resolver el problema sin ella, sugiero en el texto que se dibujen a escala los triángulos correspondientes y se mida el lado que nos interese.

Ya en la última pregunta dedicada a las leyes de Kepler, en las actividades 7 y 8 pueden presentarse algunas dificultades derivadas del correcto uso de las unidades y sus conversiones.

TEMA 10

Es esencialmente descriptivo; una lección para leer, más que para hacer. Tan sólo hay un pequeño bloque de actividades, que no desarrollan ningún contenido de importancia, incluido para poder, si así se quiere, variar la metodología.

La nº 3 hace referencia a una lámina en la que aparece una graduación logarítmica, sin decirlo expresamente, puesto que los alumnos probablemente no conozcan aún los logaritmos. Esta misma técnica, situar los puntos correspondientes a una tabla sobre unos ejes con graduación logarítmica en uno de ellos, se ha utilizado mucho en Astrofísica para buscar correlaciones entre diversas magnitudes. Aparece en este libro en otras dos ocasiones. Los alumnos no tienen dificultades en situar gráficamente los puntos, y así pueden ir atisbando el procedimiento de investigar a través de la búsqueda de correlaciones.

La actividad 4 no tiene muchas dificultades de cálculo y resulta atractivo averiguar lo que uno pesaría en tal o cual planeta. La nº 5, en cambio, requiere un buen dominio de las matemáticas involucradas (notación científica) así como facilidad para la conversión de unidades.

TEMA 11

Lo mismo que la anterior, pero más acusadamente aún. Las escasas actividades sólo pretenden ofrecer al profesor la posibilidad de romper momentáneamente el ritmo, si eso le conviene.

No he incluido la famosa ecuación de Drake, relativa al número de planetas con una civilización tecnológica que existen en la Vía Láctea, porque prácticamente todos los factores que aparecen en ella son puramente especulativos y no me ha parecido oportuno adjudicar uno u otro valor sin fundamento claro.

Para llevar al aula este tema quizá sea conveniente utilizar medios audiovisuales de apoyo. Diversos programas de vídeo reproducen y simulan el origen del Sistema Solar y el de la vida en la Tierra. Un apoyo de este tipo es especialmente aconsejable aquí.

BLOQUE V: EL ASTRÓNOMO AFICIONADO

Uno de los objetivos de esta materia opcional es que los alumnos alcancen a ver en la Astronomía una posibilidad de interés para su tiempo libre, para su ocio. Por eso he creído necesario incluir unas breves nociones acerca de los instrumentos (en especial los telescopios, tema 12) y de lo que se puede hacer con ellos (tema 13), con el ánimo de mostrar cuál es la actividad del astrónomo aficionado que dispone de un instrumento mediano.

TEMA 12

El énfasis debe ponerse en la segunda pregunta (características ópticas), en la que las actividades, casi todas simples cálculos a partir de una fórmula dada, pretenden hacer ver claramente

la importancia del diámetro del telescopio y el poco caso que debe hacerse de propagandas abusivas acerca de los aumentos que puede alcanzar un instrumento. Sería interesante valorar ofertas comerciales que los propios alumnos encuentren en su entorno.

En la actividad 3 se calcula la magnitud límite que es capaz de apreciar un telescopio en función del diámetro de su objetivo. A pesar de que se podía realizar, como otras muchas que aparecen en el libro, de forma gráfica, por una vez he decidido dejar la fórmula y proponer que se efectúen las operaciones con calculadora. Quizá el profesor tenga que aclarar algunas cuestiones respecto a la calculadora y las teclas si la explicación del texto no resultara suficiente.

TEMA 13

Es una descripción de los principales tipos de objetos telescópicos que son del interés de los astrónomos aficionados. Si se aborda este tema, lo más apropiado sería hacerlo con apoyo abundante de imágenes: diapositivas, vídeos, mostrando ilustraciones de libros, etc.

Las actividades 1 y 2, relativas a la curva de luz de una estrella variable, se han introducido aquí para preparar el terreno a otras posteriores en las que se trata el cálculo de distancias de las variables cefeidas.

En el apartado final se dan indicaciones acerca de cómo preparar una sesión de observación telescópica. Naturalmente no quiero decir con ello que hasta este momento no se deba hacer ninguna salida de observación nocturna. De ningún modo. Seguramente lo más indicado sea hacer una primera excursión nocturna al poco de empezar el curso, quizá a finales de octubre o primeros de noviembre, cuando todavía no hace mucho frío pero ya anochece bastante temprano.

BLOQUE VI: LAS ESTRELLAS

Entramos ya de lleno en la parte de Astrofísica. Dos temas se dedican a las estrellas, el primero a las distancias y el segundo a su evolución. Aparecen conceptos nuevos y de cierta abstracción, como, por ejemplo, la magnitud absoluta, con lo que todo el resto del libro puede requerir, aún más, el concurso del profesor.

A diferencia de los capítulos de Astronomía de posición, aquí no hay posibilidad de partir de observaciones, ni reales ni simuladas con un planisferio, para luego buscarles un modelo apropiado. De alguna manera se pierde ese hilo conductor. Sin embargo, vuelve a imperar la metodología de actividades, aunque suelen requerir una explicación inicial más extensa.

TEMA 14

Presenta razonadamente algunos métodos utilizados para evaluar las distancias a las estrellas. Se pretende que los alumnos comprendan cómo se ha podido llegar a hacerlo, viendo procedimientos cuya comprensión está al alcance de sus conocimientos.

En la actividad 1 se expone el método del ángulo de paralaje. Aunque la versión didáctica más habitual de este método utiliza trigonometría, es perfectamente válido hacerlo mediante proporcionalidad. Al ser los ángulos tan pequeños, la tangente trigonométrica es directamente proporcional a la abertura del ángulo. Para simplificar aún más las cuentas, utilizo las distancias en parsecs, de manera que, así, resulta que la distancia es inversamente proporcional al ángulo: D (en parsecs) = $1 / p$ (en segundos de arco). Tal y como se presenta la tabla, los alumnos no suelen encontrar dificultades en completar la actividad.

Idénticas razones de soslayar escollos matemáticos, en este caso los logaritmos, me llevaron a utilizar una gráfica con tres 'ejes' para trabajar la relación entre la magnitud aparente, la absoluta y la distancia de una estrella. Esta idea en particular, y seguramente algunas más relativas a trabajos gráficos, está tomada del excelente libro *Projects and Demonstrations in ASTRONOMY*, de David Tattersfield, editado en 1979 por Stanley Thornes Ltd. En esta actividad 2 tampoco hay dificultades de consideración por parte de los alumnos. Únicamente cabe decir que les molesta la poca precisión con la que se obtienen las distancias, pues al ser la escala logarítmica, una pequeña desviación en el valor de las magnitudes aparente y absoluta puede provocar una fuerte discrepancia en la distancia estimada.

El tercer método, el de las cefeidas, involucra simultáneamente varios conceptos y resulta más laborioso. Por eso el enunciado de la actividad 5, en la que, finalmente, se llega a deducir la distancia de una cefeida, está muy desmenuzado de forma que los alumnos, con cierto esfuerzo, consiguen seguir los pasos correspondientes a cada apartado.

TEMA 15

La primera parte es una presentación, en la forma activa habitual, de las principales magnitudes de estado de interés en la Física estelar y de los instrumentos más comúnmente utilizados: la clasificación espectral y el diagrama H-R, que deben formar parte del bagaje de cualquier persona que haya seguido un curso inicial de Astronomía. La magnitud absoluta, la luminosidad, la clasificación espectral, la temperatura y la masa son ahora los datos cuyas relaciones tenemos que intentar explicar con coherencia.

El último epígrafe, meramente explicativo, sin ninguna actividad para los alumnos, expone las líneas básicas del origen, evolución y muerte de las estrellas.

BLOQUE VII: EL UNIVERSO

El objetivo principal es transmitir una idea de las escalas de tamaño y de la estructura del Cosmos a grandes rasgos. Se hace en las tres etapas clásicas y lógicas, en orden creciente de tamaño: nuestra galaxia (tema 16), las galaxias en general (tema 17) y el Universo en conjunto (tema 18).

La mejor manera de hacerse una idea del tamaño de los descomunales objetos astronómicos es utilizar un modelo a escala. La idea central de estos temas es equiparar una galaxia (como la Vía Láctea) con una gran ciudad (como Madrid) y a partir de ahí comparar y tratar de vislumbrar las dimensiones reales de lo que conocemos hasta ahora de nuestro Universo, tanto de los sistemas más pequeños (como el Sistema Solar) como de los más grandes (cúmulos de galaxias).

TEMA 16

De nuevo se repite el proceso de observación / explicación, ahora recopilando observaciones acerca de la banda blanquecina resultado de nuestra posición dentro de la galaxia Vía Láctea. Es importante, y creo que no siempre se consigue en el texto, diferenciar claramente entre las dos acepciones de la Vía Láctea, (a) como esa banda que vemos desde la Tierra, y (b) como toda la galaxia de la que formamos parte. En más de una ocasión los alumnos confunden ambas ideas.

La actividad 3 debería poner de manifiesto qué tipos de objetos pertenecen a nuestra galaxia (y por tanto se ven cerca de la franja lechosa, como los cúmulos abiertos y las nebulosas) y cuáles son ajenos a ella (las galaxias).

La explicación de las apariencias, debidas a nuestra posición en el seno de la galaxia, no es demasiado fácil de transmitir y algunos alumnos, a veces, quedan un poco desconcertados. Quizá alguna maqueta tridimensional podría ayudar a su correcta comprensión.

En el modelo a escala Madrid-Vía Láctea se ha buscado que sea muy cómoda la traducción de distancias en la Vía Láctea a las correspondientes en el mapa o plano. Así, en la lámina 16.1, 1 cm sobre el mapa equivale a 1 km en la ciudad de Madrid, es decir a 5.000 años-luz en el espacio. De la misma manera, en el plano del piso (lámina 16.2), 1 cm equivale a 1 m en el piso, es decir a 5 años-luz en el espacio. Suelen dar bastante buen resultado estas dos actividades, con ligeras dificultades en el cálculo de las distancias a escala. Ciertamente la sorpresa final, descubrir que todo el Sistema Solar es - respecto a nuestra galaxia - como la punta de un alfiler dentro de una gran ciudad, es bastante llamativa y suele perturbar el ánimo de los alumnos.

TEMA 17

La primera y la última preguntas de esta lección prosiguen la labor de cartografiar el Universo, en las dos etapas sucesivas del Grupo Local de galaxias y del Supercúmulo local. No se suelen encontrar dificultades a la hora de realizar ambos «mapas».

En la actividad 6 se pide reunir las galaxias en grupos, más o menos parecidos al Local. La tabla 17(b) ya aparece con algunas separaciones entre esos grupos existentes en nuestras cercanías: el grupo de la Osa Mayor (centrado en M 81) y el de Sculptor (NGC 55 y las otras dos cercanas).

En el apartado central se sitúa la clasificación morfológica de las galaxias según el conocido «diapasón» de Hubble, que requiere un abundante apoyo gráfico, de la misma manera que ocurre con el tema 13 dedicado a los objetos telescópicos.

TEMA 18

En este último tema se presentan, de forma muy breve y simplificada, algunas ideas elementales relativas a Cosmología: el fenómeno básico del efecto Doppler, la ley de Hubble (que permite medir distancias y deducir la expansión del Universo) y el famoso Big-Bang.

Con la intención de mantener la cuota de actividades, he simplificado los dibujos de los espectros, de forma que se pueda medir sobre ellos el desplazamiento y calcular la velocidad correspondiente. Este cálculo, tal y como se presenta en el libro, no es del todo exacto pero para velocidades pequeñas sí es, a mi juicio, una aproximación suficiente, válida en este nivel y que no provoca ningún error conceptual.

En el segundo apartado se «redescubre» la ley de Hubble, haciendo uso, de nuevo de la correlación casi lineal entre dos variables, manifestada de forma gráfica.

Las actividades 6, 7, 8 y 9 intentan explicar de forma práctica la aparente paradoja formulada por Asimov «¿Por qué precisamente de nosotros?». Al completar las tablas de las actividades 8 y 9 queda claro que las apariencias van a ser las mismas, sin importar cuál sea la situación del punto de vista.

Este texto corresponde a la materia optativa "Taller de Astronomía" del Segundo Ciclo de la ESO y pertenece al proyecto curricular de Equipo Sirius S.A. y ha sido debidamente revisado y aprobado por el Ministerio de Educación y Cultura según la Orden de 29 de julio de 1996.

Prohibida la reproducción total o parcial de todo o parte del libro por cualquier método electrónico, fotocopia u otro análogo sin la autorización expresa y por escrito del propietario del copyright.

COLECCIÓN MANUALES

ASTRONOMÍA PASO A PASO

LIBRO DEL PROFESOR

Segundo Ciclo - ESO

Este libro está diseñado para impartir la materia de Astronomía en el espacio de opcionalidad de la ESO. En principio se piensa en 4º de ESO, aunque también se podría utilizar en 3º de Secundaria.

El objetivo fundamental es que el alumno aprenda Astronomía. Se pretende completar un recorrido elemental por los principales campos del saber astronómico, incluyendo algunos temas que se consideran imprescindibles (movimientos aparentes) aunque no estén de moda y otros que, porque sí están de moda y atraen la atención de los jóvenes, no es conveniente rechazar (vida extraterrestre, por ejemplo).

Aunque enfocado principalmente desde una óptica científica, se pretende poner de manifiesto el carácter interdisciplinar de esta materia, incluyendo o tocando los diversos temas desde diferentes puntos de vista (historia, etimologías, mitología, vida cotidiana).

*Se ha hecho un esfuerzo importante por alentar una **dinámica de clase constructiva**. En buena parte*

de los temas (más de la mitad) las actividades propuestas al alumno tienen carácter estructurante: los contenidos se van organizando a partir de las actividades. En el resto, aunque también se incluyen actividades, éstas tienen un carácter más clásico de ejercicios para comprobar o consolidar lo explicado en el texto. En general, los capítulos dedicados a Astronomía de posición tienen una estructura más constructiva y los temas de Astrofísica son de corte más clásico.

*Por ello, se ha procurado que las actividades sean autosuficientes, en el sentido de que el alumno pueda acometerlas directamente, disponiendo de las tablas o los gráficos necesarios y de las instrucciones suficientes. El profesor deberá aclarar las dudas que surjan y, sobre todo, favorecer la tarea de **interpretación de las actividades** realizadas y lograr que se establezcan de forma clara los resultados a los que se ha llegado.*

