



5

La Luna

- 5.1 Las fases lunares
- 5.2 Posición respecto al Sol
- 5.3 Posición respecto a las estrellas
- 5.4 Explicaciones de los fenómenos
- 5.5 Fases y horas de visibilidad
- 5.6 Mareas
- 5.7 La Luna como satélite
- 5.8 Geografía lunar
- 5.9 Trabajos escolares

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 el siglo XX, fuimos testigos del último prodigio de la aventura humana: la conquista de la Luna.

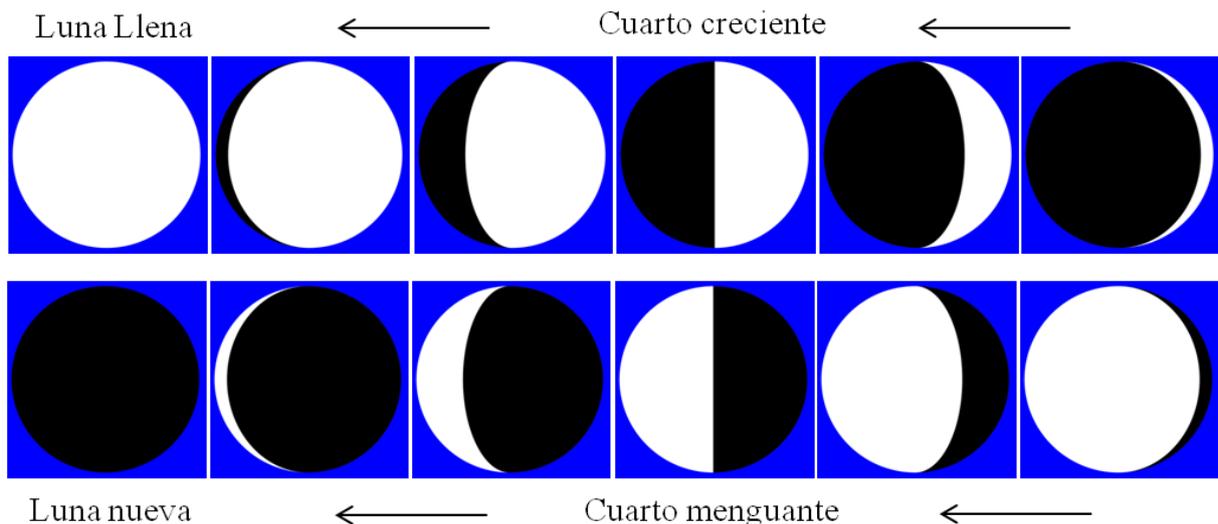
5.1 LAS FASES LUNARES



Figura 5.1

La Luna tiene el aspecto de un disco circular con una parte iluminada que va cambiando de tamaño. La línea que separa la zona brillante de la oscura se llama **terminador**. Lo más llamativo es la variación de la parte iluminada. Si la observamos a lo largo de un mes completo veremos cómo comienza siendo una débil franja en el borde derecho que va creciendo poco a poco, hasta que en el cuarto creciente toda su mitad derecha está iluminada. Luego sigue haciéndose más y más grande ese lado derecho iluminado hasta que llegamos a contemplar un círculo completo (luna llena). Después todo se repite pero ahora es la zona izquierda de la Luna la que se ve blanca y se va reduciendo paulatinamente, pasando por el cuarto menguante, hasta que se hace totalmente oscura e invisible.

Figura 5.2



Hay que advertir que el término “luna nueva” es algo equívoco; técnicamente es el instante en el que toda ella está oscura, pero es muy frecuente hablar de “luna nueva” cuando ya comienza a verse por primera vez el estrecho creciente en su lado derecho; gramaticalmente parece más acertada esta segunda acepción.

El ciclo de las fases lunares es muy fácilmente observable y fue utilizado desde las épocas más remotas como calendario, fijando las fiestas, ceremonias o los días de mercado en momentos destacados del ciclo. Las creencias ancestrales imaginaban que la Luna era un ser vivo: parece que “nace”, va creciendo, alcanza su plenitud y luego se va debilitando hasta “morir” al terminar su ciclo, para renacer dando comienzo a un nuevo mes. Por eso hablaban de la **edad de la Luna**, contando los días desde la luna nueva. Este término se sigue utilizando hoy día; así, una luna de 2 días presentará un muy estrecho creciente, con 7 u 8 días de edad alcanzará el cuarto creciente, a los 15 será llena y con 22 días estará en cuarto menguante.

De una luna nueva a la siguiente, o de llena a llena, transcurren entre 29 y 30 días. Para calcular con más precisión esta duración lo más sencillo es computarla durante varios periodos y hacer la media. En esta tabla se incluyen las fechas de la luna nueva a lo largo de 1996, que fue un año bisiesto, y la duración de cada ciclo:

20-I	18-II	19-III	17-IV	17-V	16-VI	15-VII	14-VIII	12-IX	12-X	11-XI	10-XII
	29	30	29	30	30	29	30	29	30	30	29

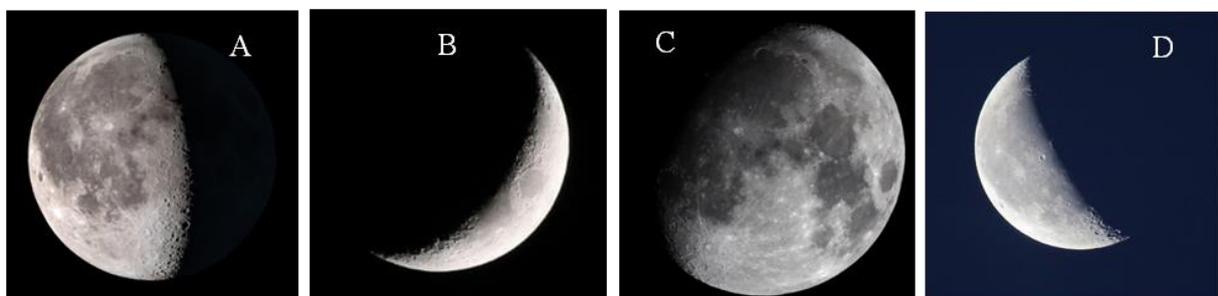
Hubo 5 meses de 29 días y 6 de 30. Haciendo la media resulta

$$\text{Mes lunar} = \frac{29 \cdot 5 + 30 \cdot 6}{11} = \frac{325}{11} = 29,54 \text{ días.}$$

Mediciones modernas más precisas indican que el mes lunar medio (naturalmente pequeñas irregularidades hacen que no todos los ciclos sean exactamente iguales) tiene una duración de 29 días 12 horas 44 minutos 3 segundos $\approx 29,53$ días.

Ejercicio 5.1

Indica la fase y estima la edad de la Luna asociada a cada una de estas imágenes:

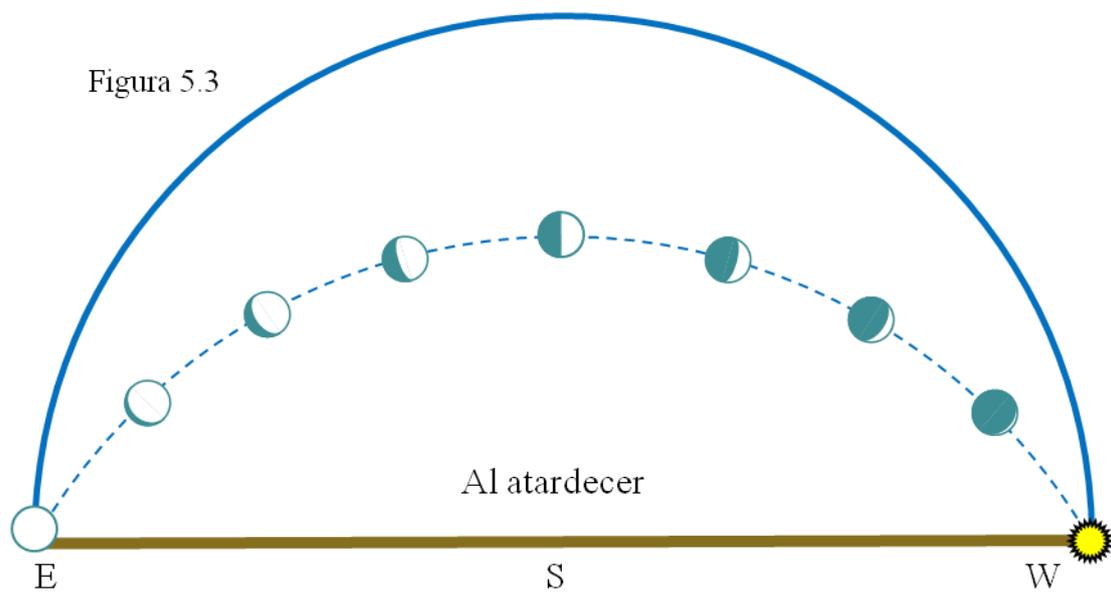


Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

5.2 POSICIÓN RESPECTO AL SOL

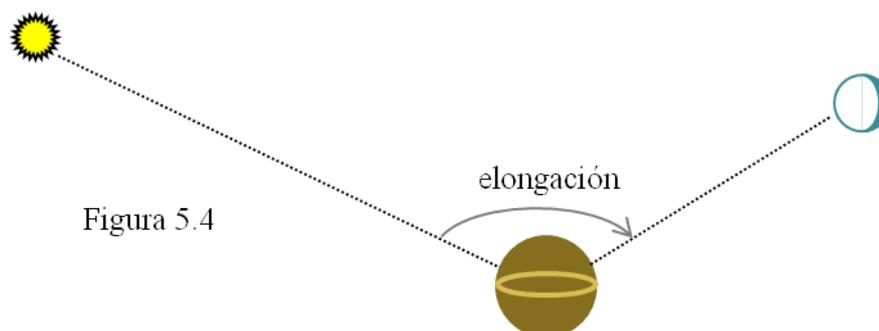
Fases crecientes

Cuando se produce la primera visión del creciente, la Luna, de unos 2 días de edad, se ve al atardecer hacia el oeste y se pone solo un poco más tarde que el sol. Pero a medida que pasa el tiempo y va creciendo también va alejándose del Sol. En cuarto creciente, al atardecer, está aproximadamente en su punto más alto, en dirección Sur y se pone unas 6 horas después que el Sol; la luna llena sale al atardecer y nos ilumina durante toda la noche.



Fíjate que la zona brillante nuestro satélite siempre está orientada hacia el Sol, mientras que la parte oscura está hacia el otro lado.

Como de costumbre, una vez expuestas las observaciones más simples vamos a tratar de cuantificarlas de alguna manera. La distancia entre el Sol y la Luna puede medirse como el tiempo que tarda ésta en ponerse desde el ocaso solar. Pero también como el ángulo (denominado **elongación**) que separa a ambos astros vistos desde la Tierra. Aunque quizá te sorprenda, es bastante frecuente tenerlos a ambos por encima del horizonte y no es difícil medir su distancia angular.



En esta tabla tienes los valores aproximados de este ángulo durante las fases crecientes:

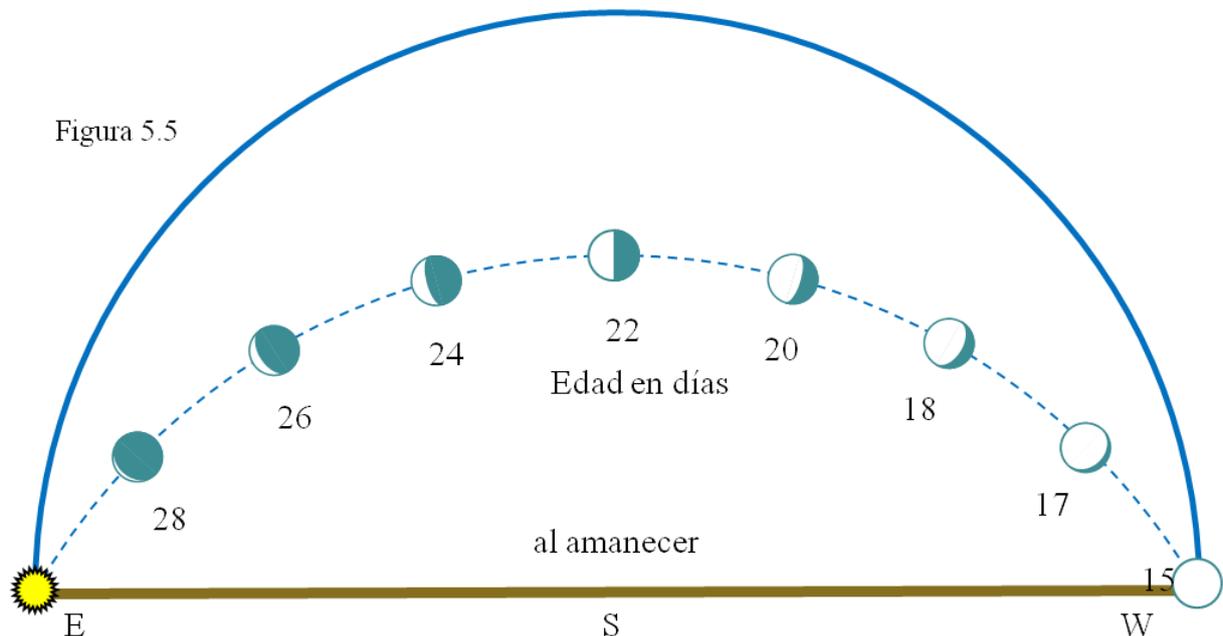
Edad	0	4	7-8	11	15
Elongación	0°	45°	90°	135°	180°
Fase	nueva		cuarto creciente		llena

Se aprecia una clarísima relación entre la fase de nuestro satélite y ese ángulo, esa separación con respecto al Sol, que va aumentando poco a poco conforme avanzan las fases; así, sin precisar mucho, como de nueva a llena transcurren unos 15 días y la elongación pasa de 0° a 180°, la Luna se va separando del Sol a un ritmo de $180^\circ / 15 \text{ días} = 12^\circ / \text{día}$.

En todo el tramo creciente la Luna se ve “a la izquierda” del Sol; como nosotros vemos al astro rey por lo general mirando hacia el Sur y mirando hacia allí el Este queda a la izquierda, se dice que la elongación es hacia el Este (o simplemente elongación E).

Fases menguantes

Las fases menguantes, en cambio, se contemplan mejor al amanecer. La luna llena estaría poniéndose a la salida del Sol; habrá estado visible toda la noche. En días sucesivos lo que parece hacer es acercarse al Sol. También en estas fases la parte iluminada se dirige hacia él.



Ahora vemos a nuestro satélite “a la derecha” del Sol, es decir hacia el Oeste; por lo que la elongación va a ser ahora W. En el momento de la luna llena ambos astros se ven en el cielo en posiciones opuestas, con una elongación de 180° (sin más, ni E ni W), pero a partir de ese momento y en todo el tramo decreciente la elongación pasa a considerarse Oeste y va disminuyendo (puesto que la Luna se va viendo cada vez más cercana al Sol) mientras se reduce la porción iluminada.

La situación es simétrica respecto al tramo de fases crecientes:

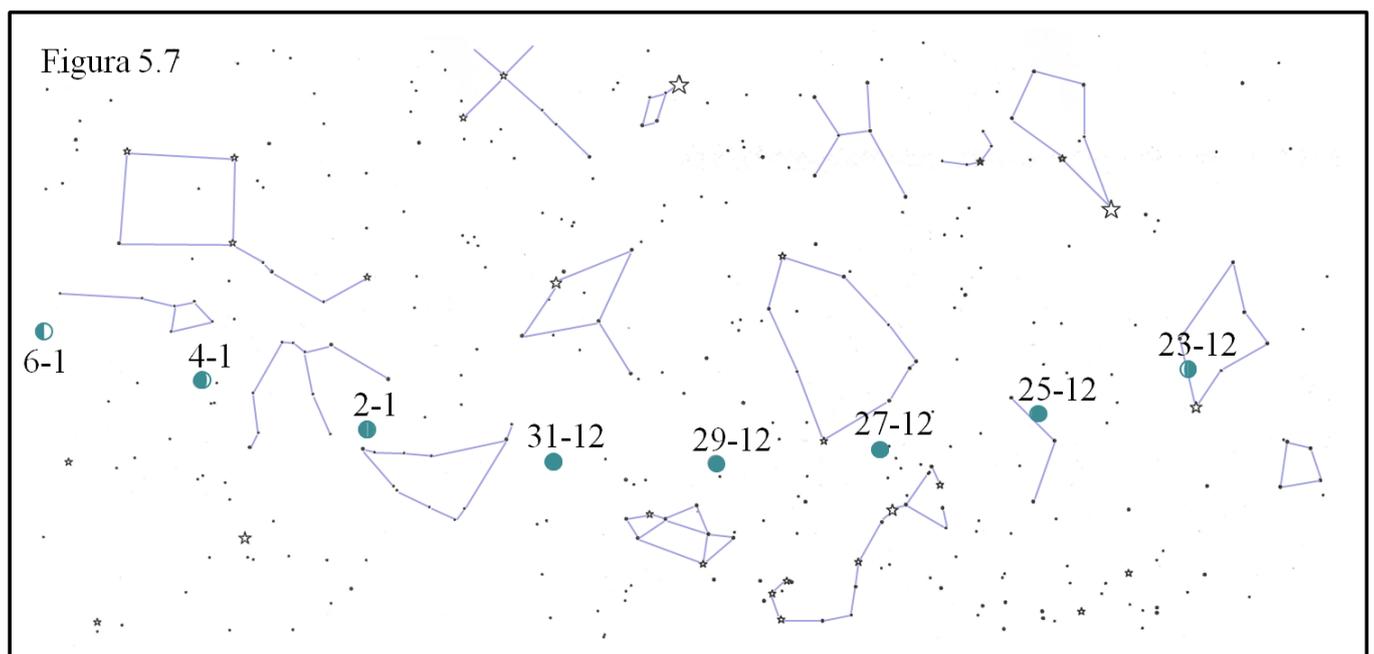
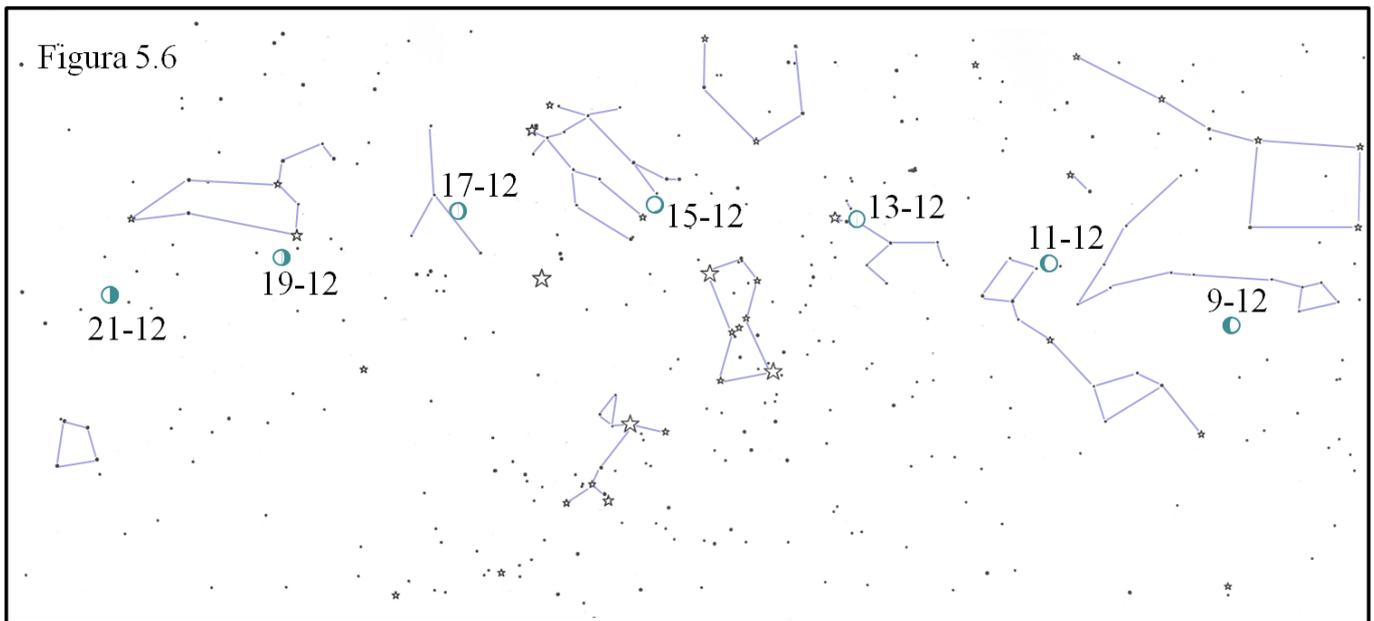
Edad	15	18	22	26	29-30
Elongación W	180°	135°	90°	45°	0°
Fase	llena		cuarto menguante		nueva

Como vas a utilizar con frecuencia los valores de la elongación y la edad de la Luna, aquí tienes una tabla que relaciona ambos parámetros. Está calculada como si la Luna fuese alejándose o acercándose al Sol a un ritmo constante (de un poco más de 12° al día). Esto no es así; como todos los fenómenos astronómicos, cuando se profundiza en su conocimiento se advierten numerosas, aunque pequeñas, irregularidades. Los valores de la tabla han de tomarse simplemente como orientativos para una buena comprensión inicial.

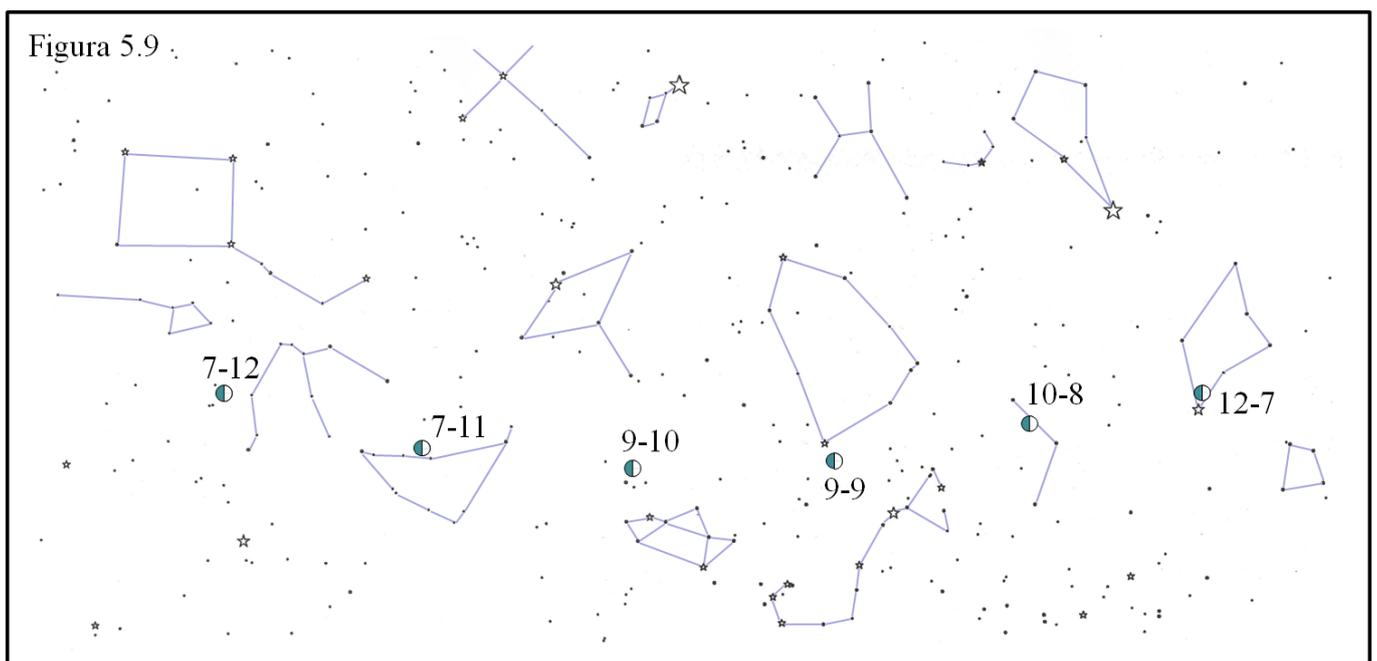
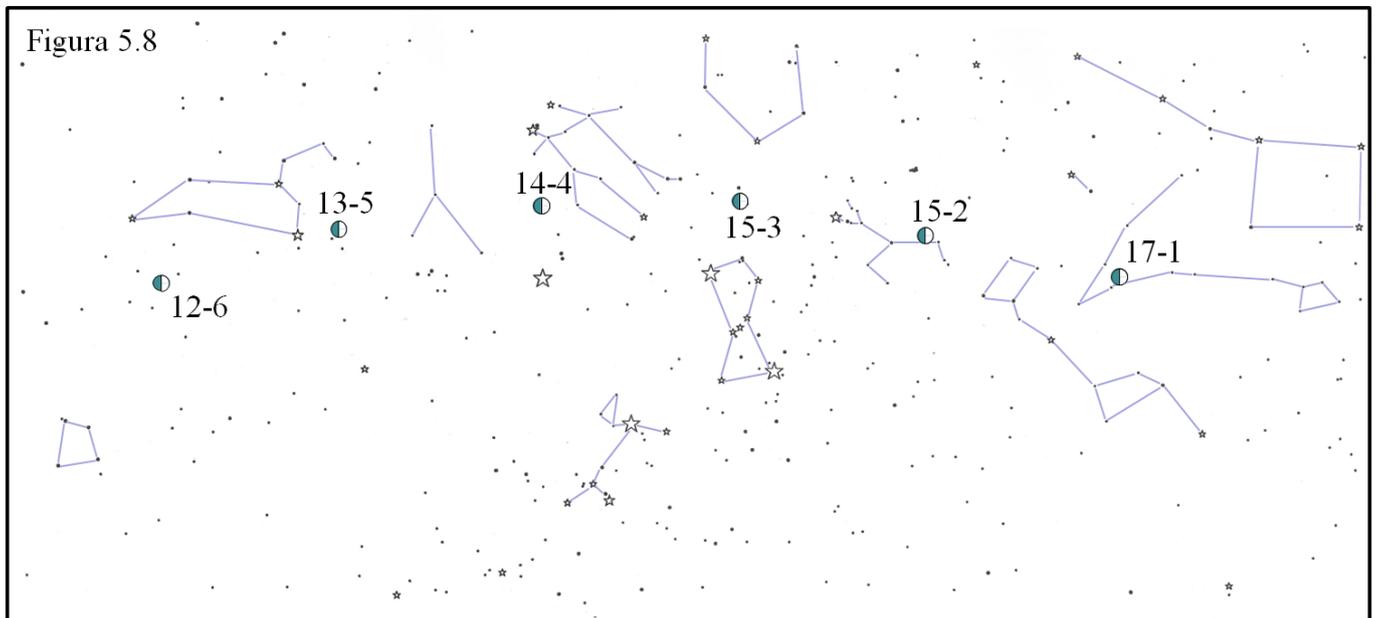
Edad	Elongación		Edad	Elongación		
0	0,00	nueva	15	177,14	elongación oeste	
1	12,19	elongación este	16	164,94		
2	24,38		17	152,75		
3	36,57		18	140,56		
4	48,76		19	128,37		
5	60,95		20	116,18		
6	73,15		21	103,99		
7	85,34		22	91,80		
7,38	90	CC	22,15	90		CM
8	97,53	elongación este	23	79,61		elongación oeste
9	109,72		24	67,42		
10	121,91		25	55,23		
11	134,10		26	43,03		
12	146,29		27	30,84		
13	158,48		28	18,65		
14	170,67		29	6,46		
14,765	180	llena	29,53	0,00	nueva	

5.3 POSICIÓN RESPECTO A LAS ESTRELLAS

Como la Luna puede observarse por la noche a la vez que las estrellas, si apuntamos su situación sobre el telón de fondo de las constelaciones podremos apreciar qué posición ocupa entre ellas. En los dos mapas vemos que la Luna se va desplazando: comienza su andadura (el 9 de diciembre 2016 en creciente avanzado) en Piscis y pasa por delante de las constelaciones de Cetus (al sur de Aries), Tauro (luna llena), Géminis, Cáncer, Leo y, en el segundo mapa, Virgo (cuarto menguante), Libra, entre Escorpio y Ofiuco, al norte de Sagitario (inobservable por ser luna nueva), Capricornio, Aquario y, de nuevo, Piscis (cuarto creciente). Son las constelaciones del zodiaco (salvo Cetus y Ofiuco); la Luna siempre se encontrará en esa banda.



El momento en que es más fácil observar la Luna es en cuarto creciente, porque se ve durante la primera parte de la noche y no deslumbra todavía demasiado para observar simultáneamente las constelaciones. En los mapas siguientes se sitúan todos los cuartos crecientes del año 2016:



De nuevo vemos cómo las posiciones se van desplazando por la banda zodiacal avanzando con regularidad de mes en mes: no hay una constelación asociada a cada fase de forma repetitiva, sino que todas las fases van pasando por delante de las diferentes constelaciones del Zodíaco. A lo largo de su recorrido zodiacal a veces está más alta (“por encima” del ecuador) como el 15-3-2016 (figura 5.8) y otras bastante “por debajo” (como el 9-10-2016, en la figura 5.9); esto quiere decir que su declinación no es constante y eso explica que en su recorrido por encima del horizonte no siempre salga por el E exactamente; a veces lo hará algo hacia el N (y su trayectoria aparente será más alta) y otras un poco hacia el S alcanzando menor altura máxima.

Otra cuestión interesante, aunque no muy frecuente de observar, es que en su recorrido por el zodiaco nuestro satélite pasa “por delante” de las estrellas y puede “taparlas”, puede bloquear la luz de una estrella determinada al interponerse entre ella y la Tierra. Este fenómeno se llama **ocultación** de un astro por la Luna. Lo que puede ocurrir es que, si la estrella es muy tenue, apenas perceptible a simple vista (de magnitud 4 o mayor), ni nos enteremos de ello.

Pueden resultar espectaculares si el objeto ocultado es brillante y la Luna está próxima a la fase nueva (en luna llena su brillo fulgurante deslucen estas observaciones). Los candidatos a ser ocultados son los que estén en la trayectoria lunar, es decir en la estrecha banda zodiacal, como los planetas y algunas estrellas destacadas de esa zona: las Pléyades, Aldebarán, Régulus o Spica. En esta dirección puedes encontrar información sobre las próximas ocultaciones:

<http://www.lunar-occultations.com/iota/bstar/bstar.htm>

5.4 EXPLICACIONES DE LOS FENÓMENOS

El que la Luna da una vuelta completa al cielo en un mes llevó inmediatamente a pensar que gira en torno a la Tierra; además su aspecto cambiante con las fases obligaba a considerarla un cuerpo celeste sin luz propia y el hecho de que la parte brillante siempre esté “mirando” hacia el Sol era señal inequívoca de que es su luz la que ilumina a nuestro satélite. Veamos cómo con este simple armazón conseguimos dar cuenta de los fenómenos observados.

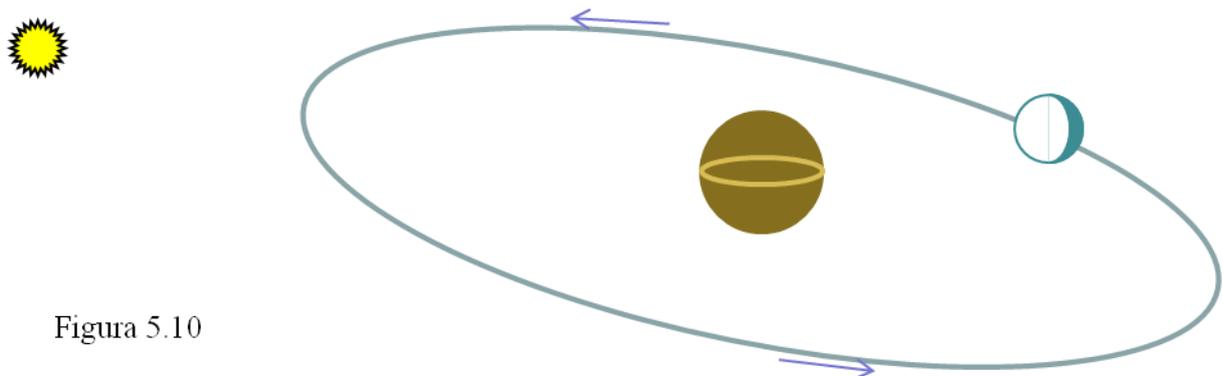
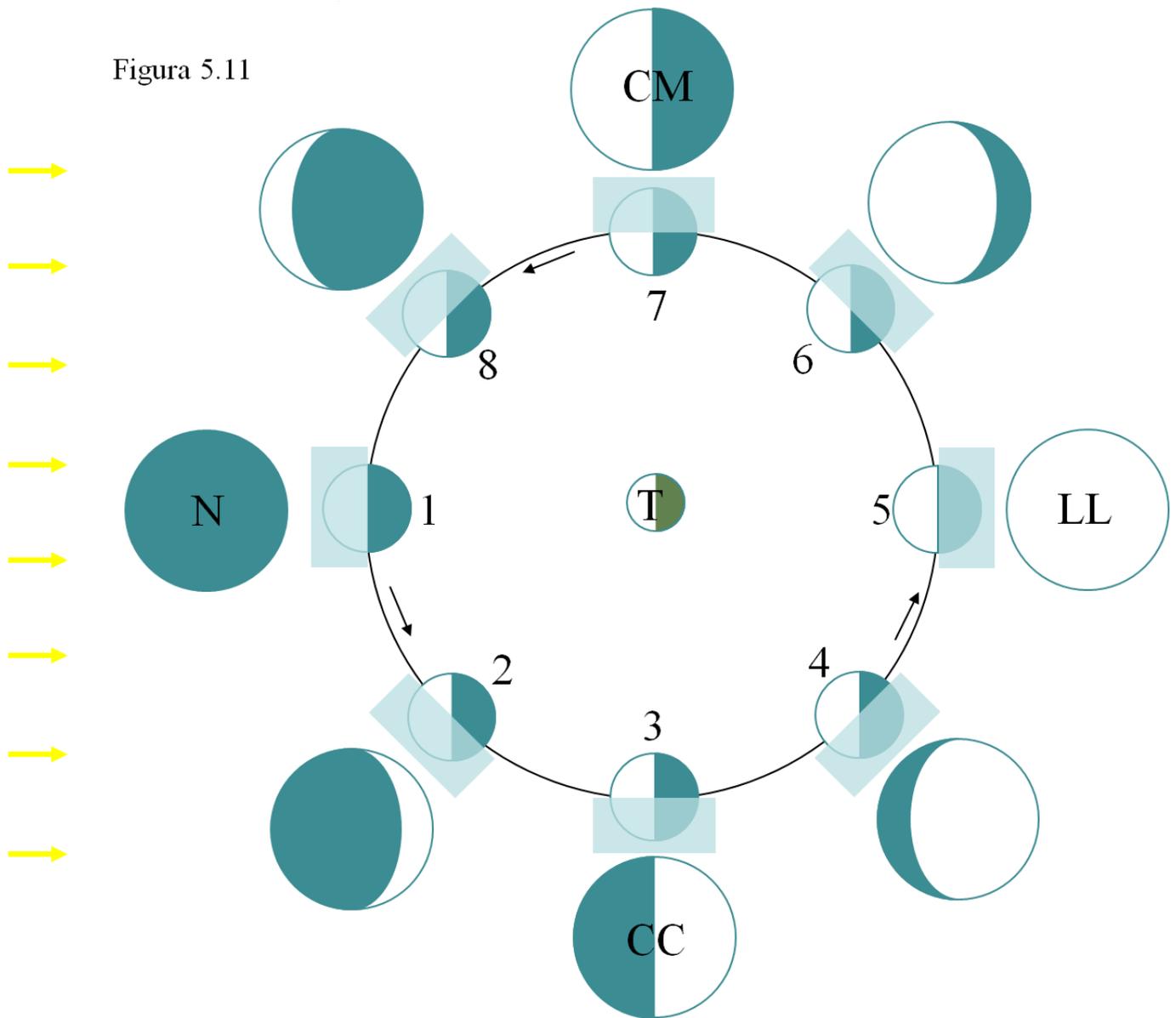


Figura 5.10

La Luna da una vuelta en sentido antihorario 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 aquél, produciéndose así las fases. La órbita lunar permite explicar todos los fenómenos que se han descrito en este tema.

La figura 5.11 corresponde a una visión “cenital” de la órbita lunar, es decir vista desde algún punto muy por encima del polo Norte terrestre. El Sol está a la izquierda, suficientemente lejos como para que podamos considerar que sus rayos nos vienen todos ellos paralelos. En el centro la Tierra (T) y a su alrededor la órbita de la Luna, prácticamente circular. Tanto la Tierra como la Luna presentarán siempre su mitad izquierda iluminada por la luz solar y la derecha sumergida en la oscuridad. Los rectángulos de color azul muy claro ocultan la parte de la Luna que no es visible desde la Tierra. Los dibujos exteriores muestran el aspecto que presenta nuestro satélite visto desde la superficie terrestre.

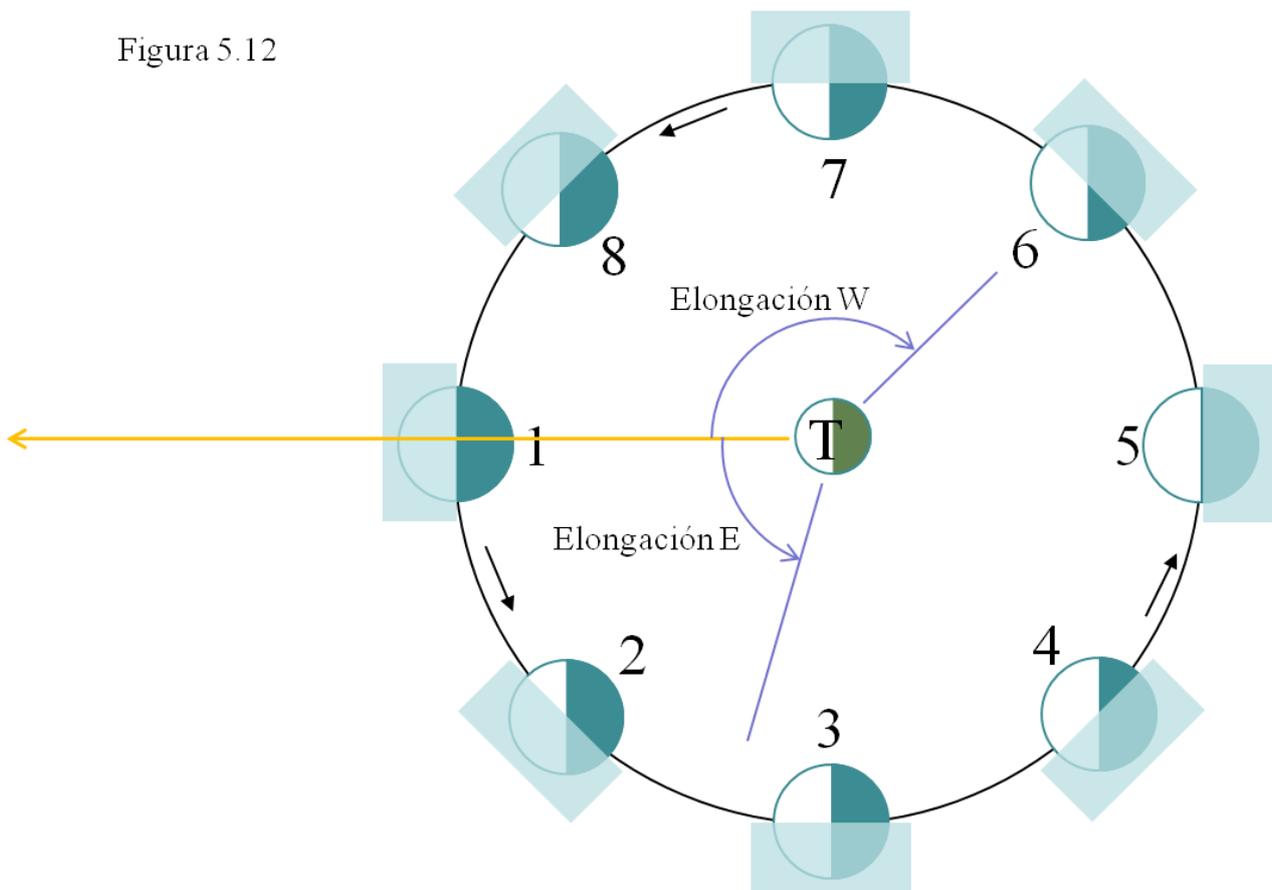
Figura 5.11



Cuando la Luna se sitúa entre el Sol y la Tierra (posición 1) toda su parte iluminada es invisible para nosotros y su aspecto será el de luna nueva (N). Unos 3 o 4 días después (posición 2) ya hay una porción de la mitad iluminada de la Luna que sí es visible desde T a la derecha del disco lunar. En el punto 3 desde T vemos la mitad derecha blanca y la izquierda oscura; es el cuarto creciente (CC). En 5 se alcanza la luna llena, en 7 el cuarto menguante y se cerraría el ciclo.

A medida que avanza por su órbita, la Luna se va alejando del Sol vista desde T. A los tres días de edad (punto 2, figura 5.12), el ángulo Sol-Tierra-Luna (la elongación) es de unos 40° o 45° E. A los 7 días de edad, se llega, más o menos, al cuarto creciente con nuestro satélite situado 90° a la izquierda (es decir, al Este) del Sol. Hasta que (posición 5, luna llena) el satélite no está ni a la izquierda ni a la derecha del Sol, está justo “detrás”, al otro lado, en oposición, es decir con elongación 180° . Pero inmediatamente después ya la Luna pasa a verse “a la derecha” (oeste) del Sol y su elongación ahora va disminuyendo.

Figura 5.12

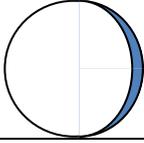


Con este modelo resulta meridianamente claro el acople observado entre la elongación, la edad de la Luna y sus fases:

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8
Edad	0	4	7,5	11	15	18,5	22	26
Fase	nueva		cuarto creciente		llena		cuarto menguante	
Elongación	0°	45° E	90° E	135° E	180°	135° W	90° W	45° W

Ejercicio 5.2

Completa esta tabla (*¡cuidado! está todo desordenado*):

Dibujo				
Fase		cuarto creciente		
Edad			4 días	
Elongación				120° W

Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

El terminador

Las fases se pueden visualizar eficazmente utilizando una esfera que tenga una mitad blanca y otra negra. La mitad blanca corresponde a la iluminada y la negra a la que queda en sombra. 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.

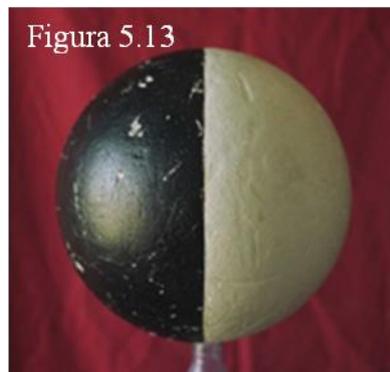


Figura 5.13

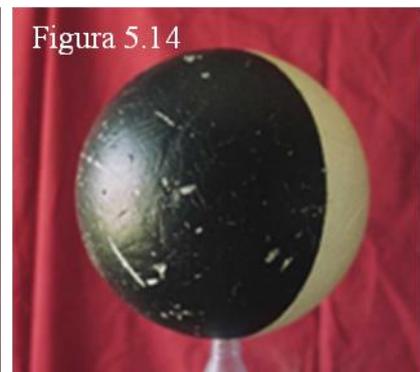


Figura 5.14

Simplemente con ir girando la esfera se puede ver perfectamente la secuencia de las fases; la figura 5.13 representa una Luna en cuarto creciente (7 u 8 días de edad) y la 5.14 corresponde a unos 3 días de edad. En la sección de Trabajos escolares puedes sacarle algo más de partido a este sencillo modelo. Haz clic [aquí](#) si quieres verlo ahora.

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 en realidad lo que ves es una elipse.

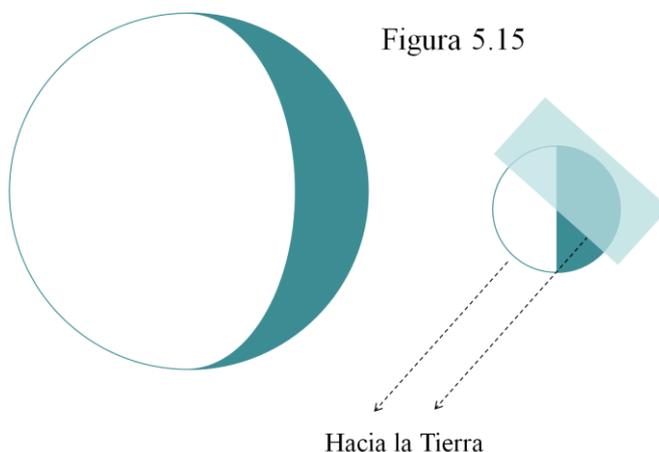


Figura 5.15

Lo mismo ocurre cuando, sentado en la mesa, miras el borde circular de un vaso o de una taza: sabes que es circular, pero en realidad lo que ves es una elipse.

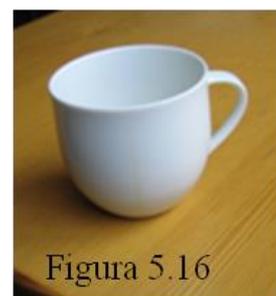


Figura 5.16

Luz cenicienta

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? Desde luego mucho más grande que como nosotros vemos la Luna, pero además, ¡también con fases! Los astronautas de la misión Apollo pudieron comprobarlo por sí mismos. Esto es lógico si miras la figura 5.11. ¿Qué fase de la Tierra hay en la posición 5 (luna llena)? Pues desde la Luna la parte de nuestro planeta que se puede ver es precisamente la que no recibe nada de luz solar, por lo que verían una “tierra nueva”. De forma análoga en la posición 1 (luna nueva) la Tierra aparecería llena.



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 o 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 oscuro de la Luna.



Figura 5.18

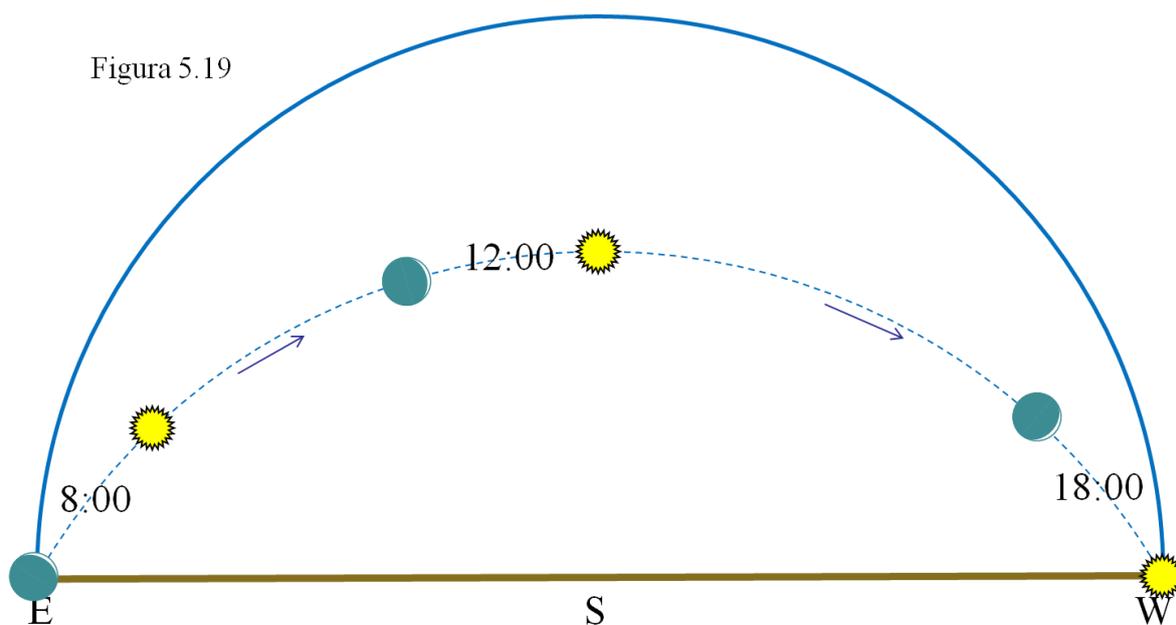
5.5 FASES Y HORAS DE VISIBILIDAD

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 ya se vislumbró antes. Esta relación puede explicarse también teniendo en cuenta la órbita lunar (figura 5.11).

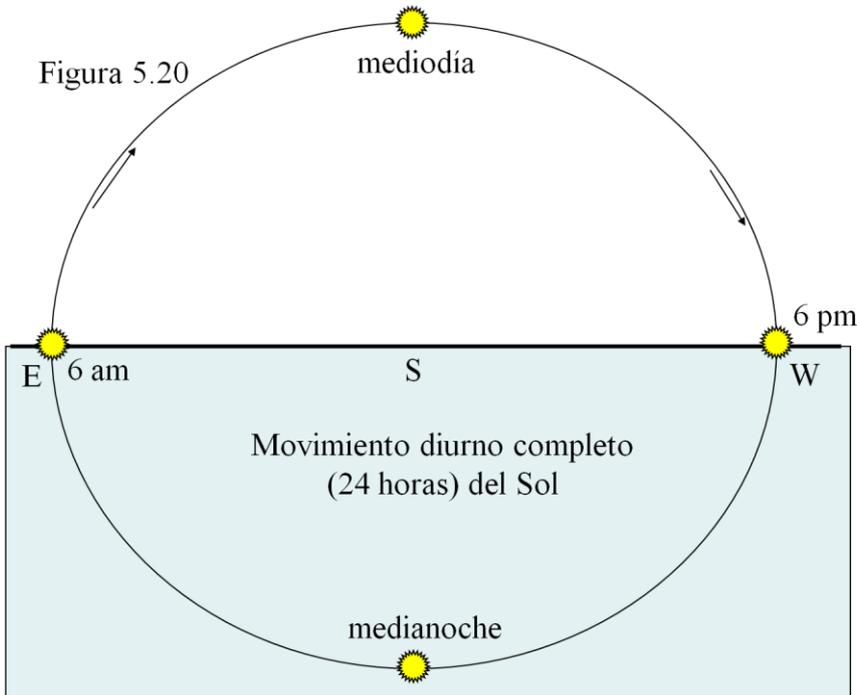
Naturalmente los dos cuerpos celestes siguen moviéndose aparentemente de Este a Oeste sujetos a la rotación general de la esfera celeste en 24 horas. El Sol describirá su arco habitual y la Luna hará un recorrido similar pero “por detrás” o “por delante” en función de su fase.

Observemos el cielo un día con una Luna de unos 2 o 3 días de edad, un débil creciente con una elongación Este de unos 30° . Este es un ejemplo bastante traído por los pelos, porque ese pequeño gajo lunar será muy difícil de localizar a plena luz del día, pero nos parece más claro e ilustrativo comenzar así este apartado.

Eso quiere decir que vamos a verla siempre a esa distancia del Sol y “a su izquierda” o lo que es lo mismo “por detrás”. A mediodía la Luna estará 30° al Este del Sol y por tanto aún no habrá alcanzado el meridiano. ¿Cuánto tardará en llegar a él? Pues lo que tarde en recorrer los 30° que le lleva de ventaja el Sol, es decir unas 2 horas (recuerda que el círculo completo de 360° se recorre en 24 horas, con lo que cada hora los astros avanzan 15°). En el siguiente esquema y en otros similares utilizamos hora solar: el orto solar a las 6 am (*ante meridian*, antes del mediodía), el mediodía a las 12 en punto y la puesta del Sol a las 6 pm (*post meridian*, o a las 18 horas). Así la Luna cruzará el meridiano a las 2 pm (14 horas). De la misma forma la Luna saldrá 2 horas después que el Sol, es decir, hacia las 8 de la mañana y se pondrá, no a las 6 pm sino a las 8 pm (20 horas).

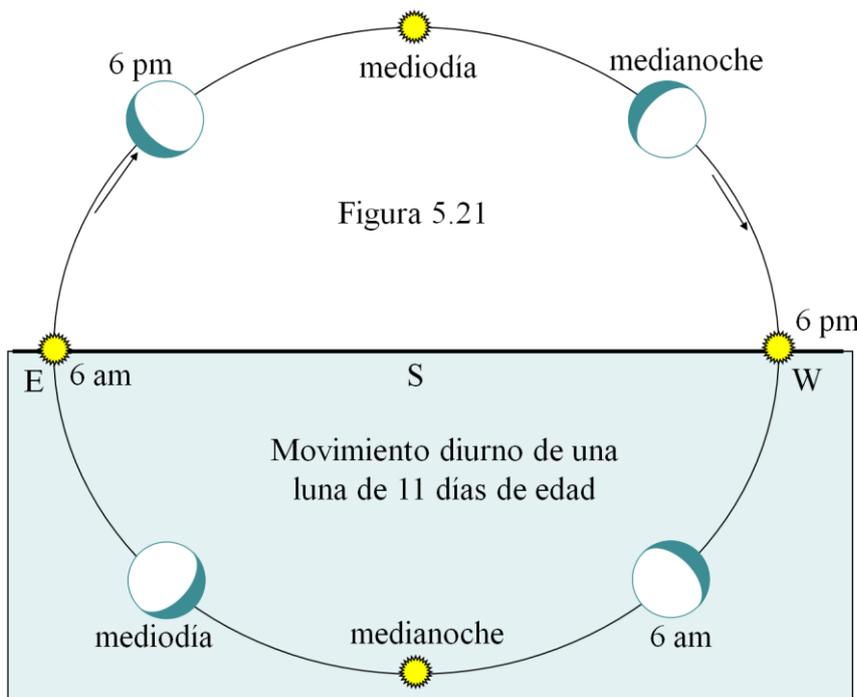


La figura 5.20 es algo parecido a un semicírculo de visibilidad sur en el que se ha dibujado el recorrido diurno completo (en 24 horas) del Sol, con los cuatro instantes destacados: la salida (6 am), el mediodía (12 horas), el ocaso (6 pm) y, ahora como novedad, la medianoche (0 horas), el punto más bajo de la trayectoria (invisible) por debajo del horizonte. Nosotros vemos al Sol hacer ese circuito en sentido horario.



¿Qué tenemos que hacer para situar en este esquema a la Luna en su posición correcta? Necesitamos saber en qué fase está, o bien su edad, lo que nos dará inmediatamente su elongación y por tanto su posición con respecto al Sol.

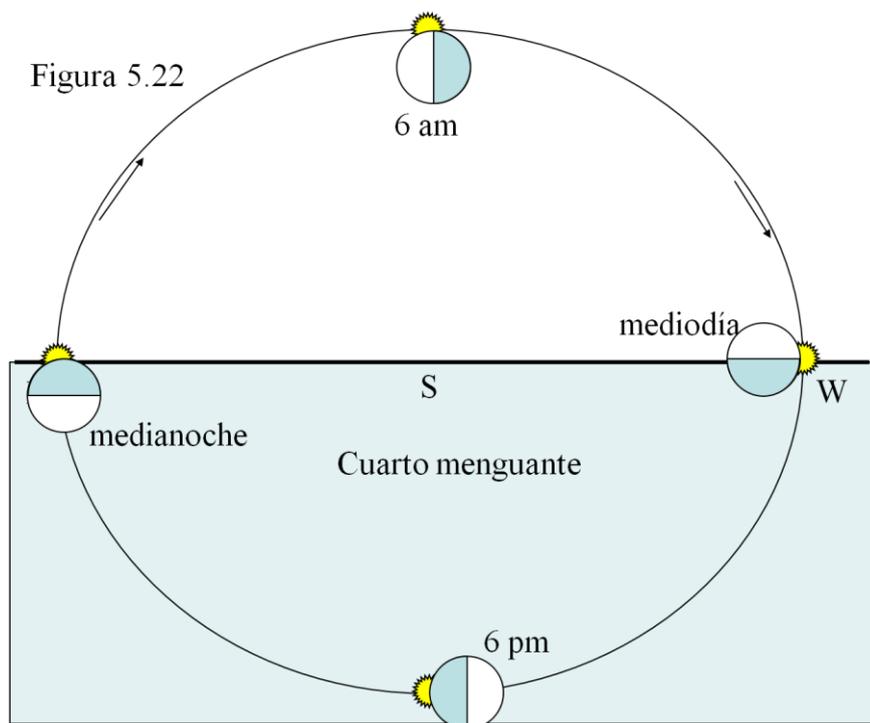
Por **ejemplo**, ¿cuál será el horario de una Luna de 11 días de edad, (entre cuarto creciente y luna llena)? Su elongación es de 135° E, así que su posición será 135° “por detrás” del Sol (desde él habrá que contar esos 135° en sentido antihorario). Y eso a la hora que sea, con lo que completamos esta representación:



Ese día la Luna habrá salido hacia las 3 pm, culminará hacia las 9 pm y se pondrá 3 horas después de medianoche (a las 3 am). Será visible en pleno día desde las 3 hasta las 6 de la tarde.

Naturalmente todos estos esquemas son meramente orientativos: el sol no sale siempre a las 6 de la mañana ni se pone todos los días a las 6 de la tarde y la posición de la Luna respecto a él no varía de forma regular, no se atrasa todos los días el mismo tiempo ni el mismo ángulo debido básicamente a su velocidad variable puesto que su órbita es elíptica, pero nos sirven para tener una referencia aproximada.

Un último **ejemplo**: estudiar el horario de salida y puesta de la Luna en cuarto menguante. Solo tenemos que recordar que en ese momento tendrá una elongación de 90° W y va “por delante” unos 90° , unas 6 horas: a las 6 am, cuando esté saliendo el Sol, la Luna ya habrá salido hace 6 horas y se encontrará en lo más alto del cielo; a mediodía estará poniéndose y por tanto habrá sido visible durante el día toda la mañana. Y su hora de salida será siempre 6 horas antes de que lo haga el Sol, es decir, a medianoche; la primera mitad de la noche no estará visible y será por tanto un buen momento para contemplar el cielo sin que su luz nos moleste.



En el apartado de Trabajos Escolares se describe la construcción de un dispositivo sencillo (el Temporizador) para simular la posición de la Luna respecto al Sol y su movimiento horario en cualquier fase. Puede servirte para los próximos ejercicios. Haz clic [aquí](#) si quieres verlo ahora.

Este ajuste tan preciso entre fases, horas de visibilidad y situación de la Luna respecto al horizonte no siempre ha sido tenido en cuenta por los artistas a los que a menudo ha atraído por su aura poética. No es infrecuente tropezarse con descripciones literarias u obras pictóricas en las que nuestro satélite se presenta en una posición absolutamente imposible.

Ejercicio 5.3

Averiguar la hora de salida, de paso meridiano y de puesta de una Luna de 5 días de edad. ¿Cuál será su elongación? Recuerda cuál era el avance diario medio de la elongación o consulta la tabla al final del apartado 5.2 ¿Es al Este o al Oeste? ¿La Luna va “por detrás” o “por delante” del Sol?

Puedes imprimir la figura 5.20 y colocar en ese esquema la Luna en la posición que le corresponda si tiene 5 días de edad.

Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

Ejercicio 5.4

Cierto día se observa la salida de la Luna por el horizonte Este hacia las 4 am (hora solar).

- A esa hora ¿dónde estará situado el Sol en el esquema?
- La Luna, ¿va “por detrás” o “por delante” del Sol? ¿Cuántas horas?
- Halla la elongación de la Luna.
- Indica la edad de la Luna y su fase.

Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

Ejercicio 5.5

Una noche, hacia las 10 pm (hora solar, claro) vemos salir la Luna (por la zona Este del horizonte, desde luego). Estima en qué fase tiene que estar, su edad, elongación, su hora de culminación y de puesta.

Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

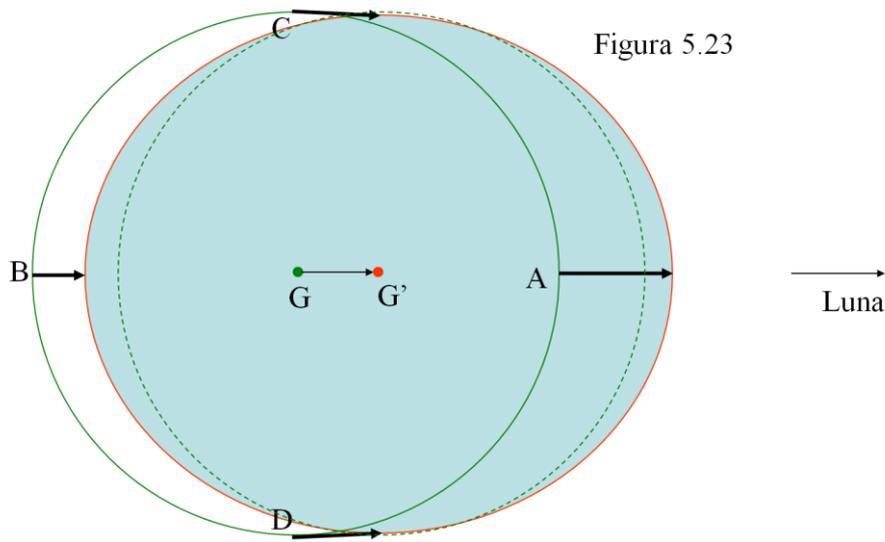
5.6 MAREAS

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 más de 24 horas. Ya se ha visto 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.

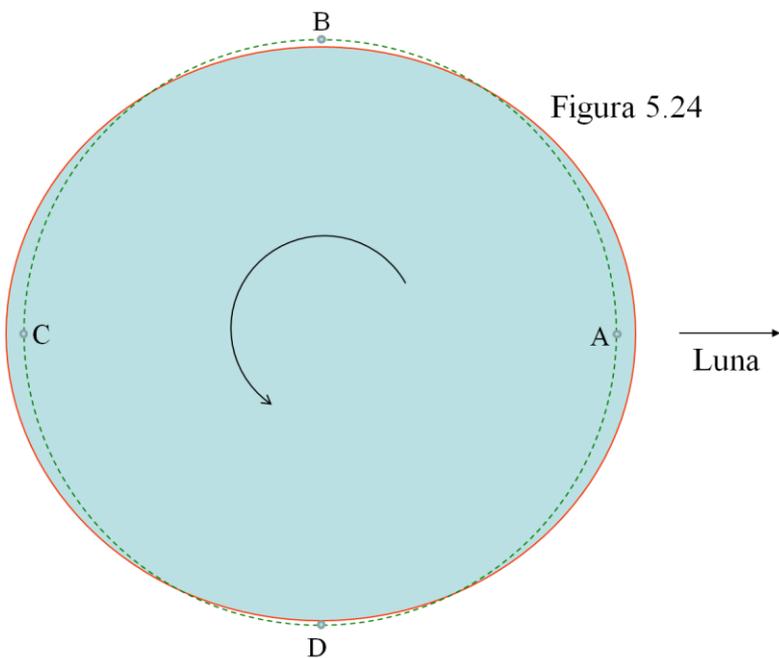
Día	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Marea	54	45	42	41	41	43	44	48	53	61	72	81	74	60	48
Luna	50	51	53	54	57	59	60	60	59	56	53	50	47	45	44
Día	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Marea	40	36	33	31	31	31	33	36	42	52	69	82	75	60	
Luna	44	44	44	45	46	48	48	48	48	49	48	48	49	51	

El ciclo de las mareas sufre variaciones muy acusadas con retrasos que oscilan entre 31 y 82 minutos, mientras que los de la Luna cambian menos, entre un mínimo de 44 y un máximo de 60 minutos. Sin embargo, si se calcula el retraso medio de ambos ciclos se obtiene exactamente el mismo número: 50 minutos 16 segundos. Esta asombrosa coincidencia no puede ser casual. 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 empuje es más intenso en los puntos de la superficie terrestre que están más cerca de ella y menor en los más alejados.



En la figura 5.23 está dibujada una hipotética Tierra en reposo (círculo verde de centro G). Si toda ella fuera atraída por igual se convertiría, sin más, en otro círculo idéntico (línea verde discontinua) pero con el centro en G', desplazado 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 círculo inicial se convierte en la elipse de contorno rojo.



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 sólida, provocando las mareas. En la figura 5.24 el círculo (de línea discontinua) representa la superficie continental sólida mientras que la elipse (con borde rojo) simula muy exageradamente el abultamiento provocado en los océanos por la atracción lunar.

A medida que la Tierra rota, un punto de su superficie va pasando por las posiciones A (pleamar), B (marea baja), C (otra vez marea alta) y D (bajamar), así que en 24 horas se suceden dos ciclos completos.

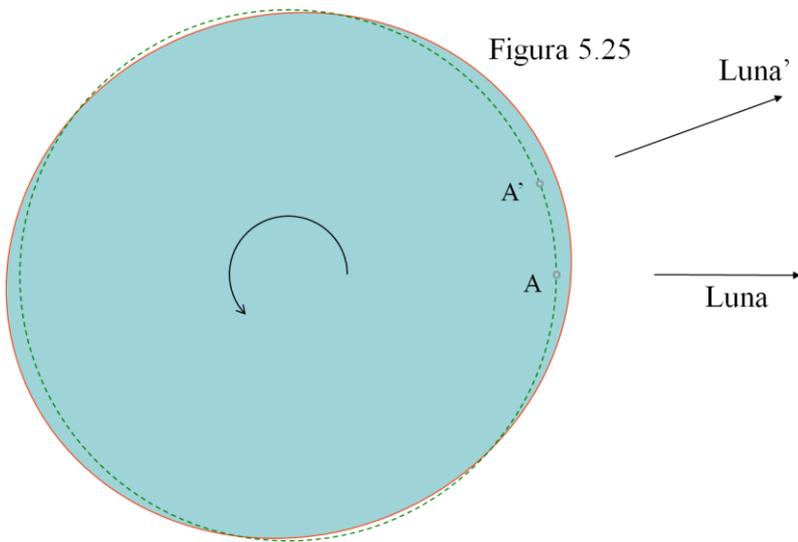


Figura 5.25

En realidad, estos dos ciclos, como ya se ha dicho antes, se completan en más tiempo, unas 24 h 50 minutos. ¿Por qué? Pues porque la Luna no se está quieta sino que también se desplaza arrastrando con ella el abultamiento de los océanos, como pone de manifiesto la figura 5.25: La Tierra tiene que rotar algo más de 360° para que el punto A vuelva a situarse frente a la Luna puesto que ésta se ha desplazado siguiendo su órbita alrededor del planeta.

La atracción gravitatoria del Sol también provoca mareas en la Tierra, pero su efecto es bastante menor. Sin embargo, cuando ambos astros están en la misma dirección (lo que sucede en luna nueva o llena) sus tirones se refuerzan provocando un abombamiento más acusado; en esos momentos se producen las mareas vivas (figura 5.26, derecha). En cambio, en los cuartos, la acción del Sol, en perpendicular a la de la Luna, hace que el abultamiento sea menor.

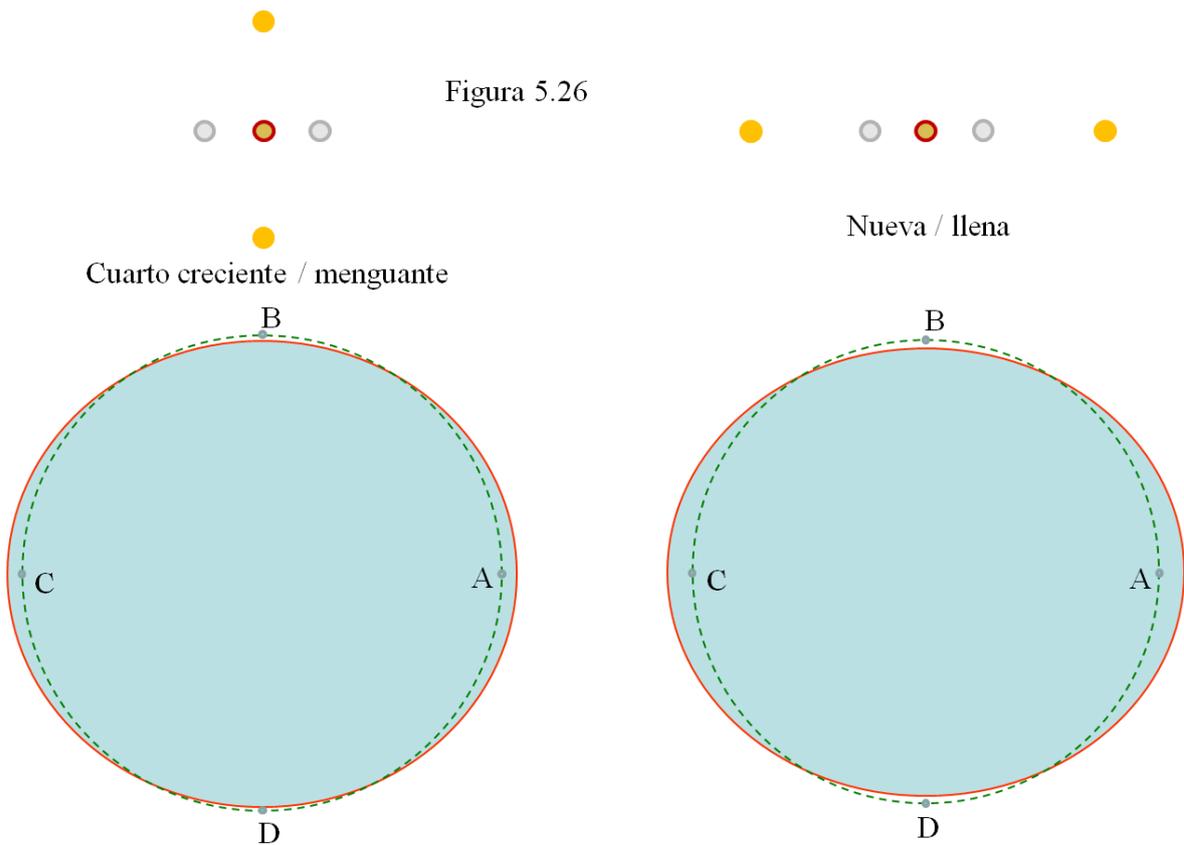
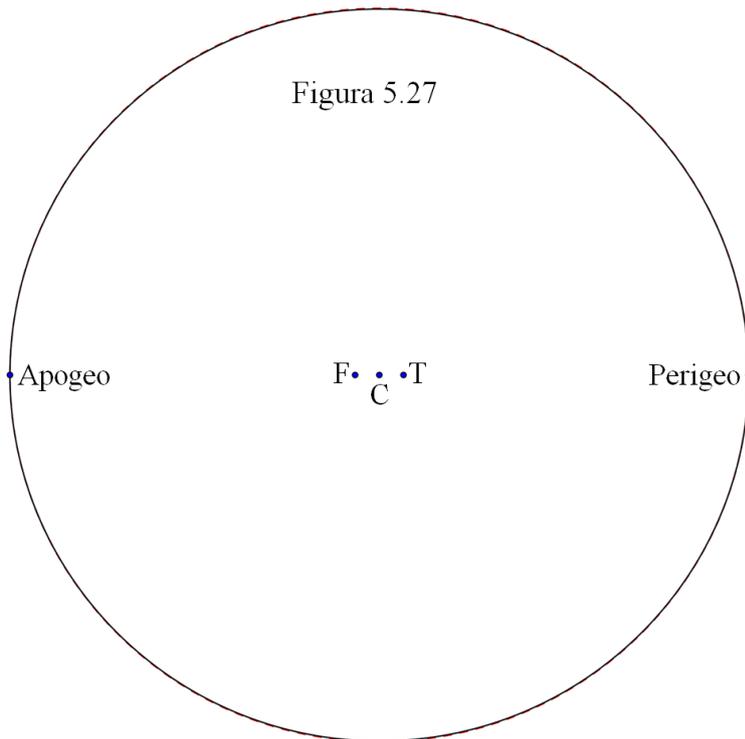


Figura 5.26

5.7 LA LUNA COMO SATÉLITE

La **órbita** de la Luna alrededor de la Tierra es una elipse de pequeña excentricidad (0,055) por lo que su distancia no es constante, pudiendo variar hasta un 14%.

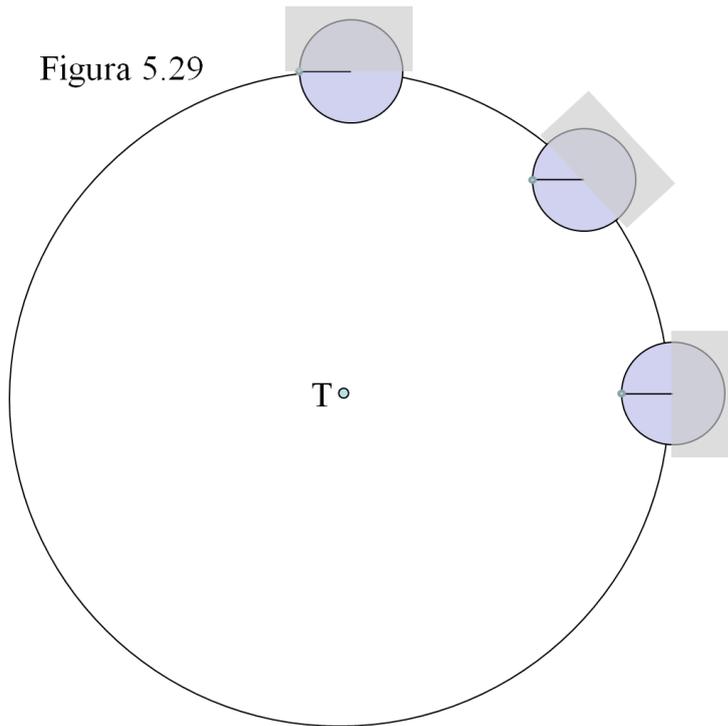
Mínima	Media	Máxima
perigeo		apogeo
356.400 km	384.400 km	406.700 km



La Tierra ocupa uno de los focos de la elipse, siendo el otro el punto F; C es el centro de la órbita. Aparece también dibujada (en rojo discontinuo) una circunferencia de centro C y radio la distancia media entre la Tierra y la Luna. Apenas es posible distinguirla de la elipse (dibujada en negro). Sin embargo, sí que se aprecia la posición excéntrica de la Tierra que es la causa de esa variación en la distancia y que tiene como consecuencia que el tamaño aparente de nuestro satélite sí varíe algo, aunque no es fácil apreciarlo a simple vista. En la figura 5.28 se muestra ese cambio.



Figura 5.29

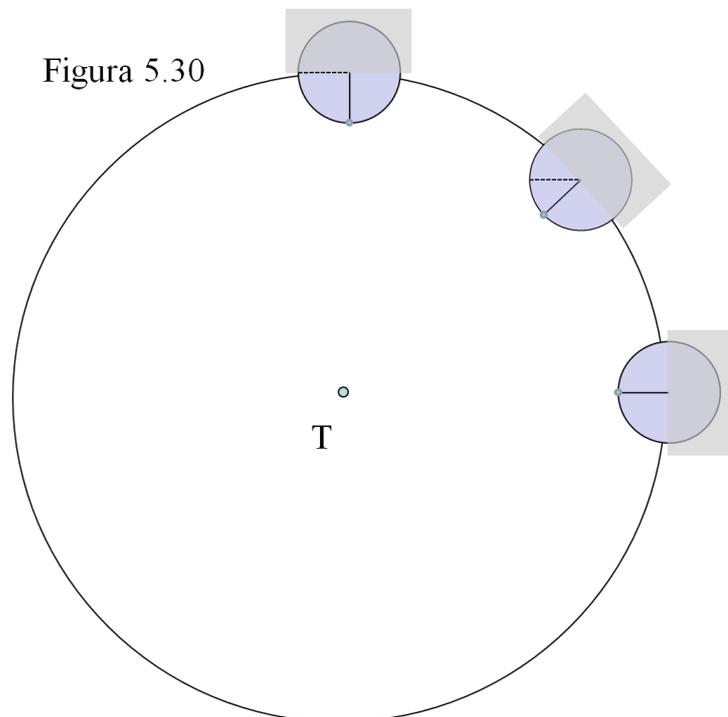


Nuestro satélite siempre presenta hacia la Tierra la misma “cara”, siempre vemos los mismos accidentes (mares y cráteres) en la misma posición. El mare Serenitatis, por ejemplo, está permanentemente un poco a la derecha del centro y a medio camino entre el ecuador y el polo Norte. Esto, que puede parecernos lo más normal del mundo, no lo es en absoluto. Puesto que la Luna va avanzando por su órbita, un detalle cualquiera de su superficie debería irse desplazando como se indica en la figura 5.29.

¿Qué es lo que tiene que suceder para que ese punto permanezca enfrente a T?

Pues debe ocurrir lo que ilustra la figura 5.30: la Luna rota sobre sí misma exactamente al mismo ritmo que avanza por su órbita. Cuando ha recorrido 40° es preciso que gire sobre su eje los mismos 40° y en el mismo sentido (antihorario) para que ese punto siga estando mirándonos de frente y no se vaya desplazando hacia la izquierda como ocurriría (figura 5.29) si no hubiera rotación

Figura 5.30

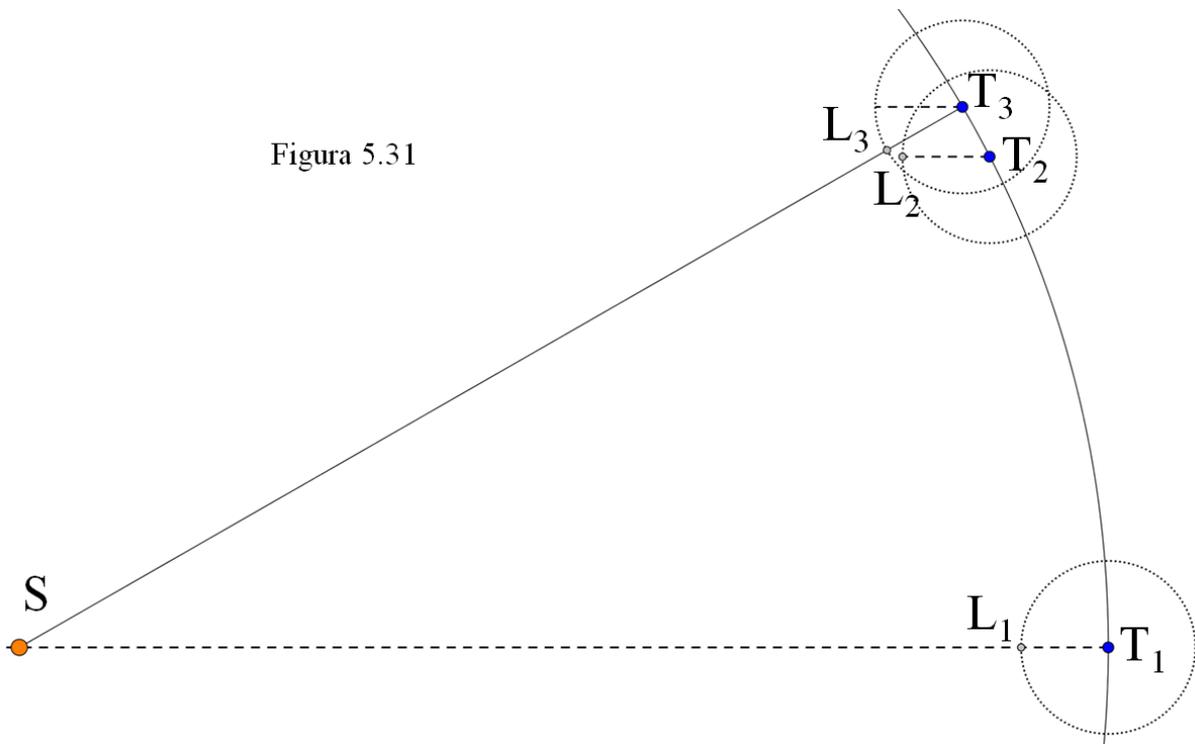


Este acoplamiento entre traslación y rotación es bastante frecuente entre los satélites y recibe el nombre de **rotación sincrónica**.

En realidad, pequeñas perturbaciones en los movimientos lunares (que son los más complicados de estudiar y predecir, los que requieren teorías más complejas) hacen que nuestro satélite se bambolee un poco y podamos llegar a ver algo más de la mitad (en torno al 58%) de su superficie.

La traslación de la Luna alrededor de la Tierra no se completa en 29,53 días, sino en un tiempo algo menor (27,3 días) periodo bautizado como **mes sidéreo**. Esta diferencia se debe al movimiento orbital de nuestro planeta en torno al Sol.

Figura 5.31



Si comenzamos en una luna nueva (posición $T_1 L_1$), cuando se complete una vuelta el radio $T_2 L_2$ quedará paralelo al $T_1 L_1$, pero como la Tierra ha avanzado desde T_1 hasta T_2 , entonces la dirección $T_2 L_2$ no apunta hacia el Sol y no estaremos aún en la siguiente luna nueva. Para alcanzarla tendremos que esperar un par de días hasta que llegemos a la posición $T_3 L_3$.

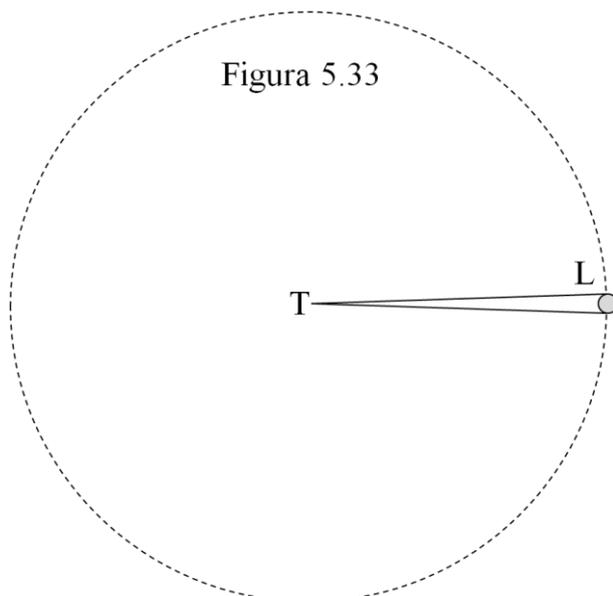
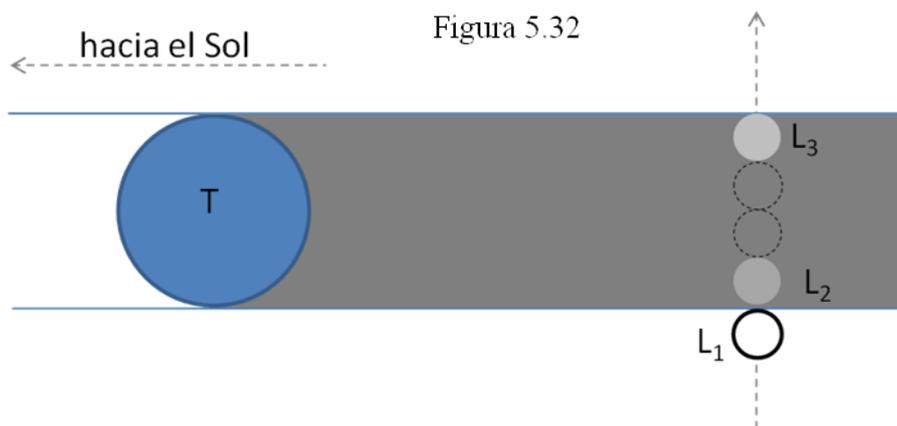
Todas las líneas discontinuas $T_1 L_1$, $T_2 L_2$ y el segmento paralelo a ellas que parte de T_3 se dirigen desde la Tierra hacia un mismo punto de la infinitamente lejana esfera celeste, hacia una misma estrella. Por eso el tiempo que transcurre desde que la Luna se sitúa entre la Tierra y una estrella determinada, hasta que se repite la misma situación recibe el nombre de mes sidéreo (relativo a las estrellas).

En cambio, el mes por antonomasia, el periodo entre dos lunas nuevas consecutivas, que es el tiempo que transcurre desde que la Luna está entre la Tierra y el Sol hasta que vuelve a producirse esa misma disposición se llama **mes sinódico** (de sínodo: reunión, en este caso hablamos de la “reunión”, vistos desde la Tierra, de la Luna y el Sol).

Distancia y tamaño

Sabemos que la Luna está más cerca de la Tierra que el Sol porque en los eclipses se interpone entre nosotros y nuestra estrella. Además, si estuviera más lejos no veríamos las fases como lo hacemos, sino que estaría siempre llena o casi llena. Otro efecto de su cercanía es el de las ocultaciones de estrellas o de planetas que suceden cuando el satélite pasa por delante de un astro impidiendo que su luz llegue hasta nosotros.

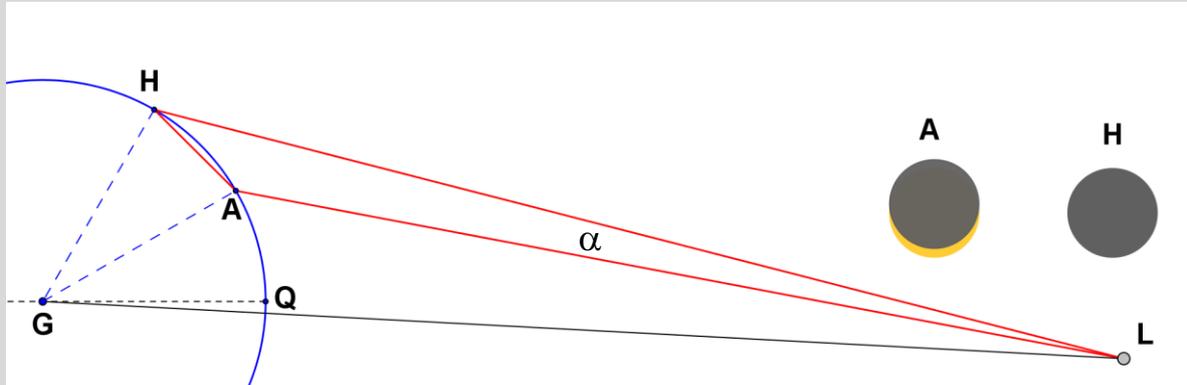
Los primeros cálculos fueron realizados por los grandes astrónomos griegos Aristarco, Hiparco y Ptolomeo (entre los siglos -III y II). Para averiguar el tamaño de la Luna pensemos en un eclipse total de nuestro satélite. La sombra producida por la Tierra es un cono pero, dada la lejanía del Sol, podemos suponer que es un cilindro y medir (figura 5.32) el tiempo que transcurre desde L_1 (momento en que la Luna comienza a entrar en la sombra) a L_2 (cuando ya toda ella queda oculta) y a L_3 (instante en el que reaparece). Se encontró que el tiempo en ir de L_1 a L_3 era 4 veces el de L_1 a L_2 . Eso quería decir que en la sombra proyectada “entran” aproximadamente 4 lunas, con lo que $D_L = \frac{1}{4} D_T = 0,25 \cdot D_T$. Es una estimación aceptable puesto que la proporción real es $D_L = 0,27 \cdot D_T$. Ahora sabemos que $D_T = 12.742$ km, por lo que la estimación obtenida es $D_L = 3.185,5$ km frente al dato correcto que es $D_L = 3.474$ km.



Para hallar la distancia Tierra-Luna los astrónomos griegos utilizaron varios razonamientos. El más sencillo se basa en la figura 5.33. Ya conocemos que $D_L = 0,25 \cdot D_T$ y queremos averiguar la distancia TL. Como la Luna abarca un ángulo de $31'$, en toda la circunferencia de su órbita “cabén” $360^\circ \cdot 60' / 31' = 697$ lunas, luego esa circunferencia medirá $697 \cdot D_L = 697 \cdot 0,25 \cdot D_T$ y su radio $TL = 697 \cdot 0,25 \cdot D_T / 2 \pi = 27,7 \cdot D_T$ (la distancia media real es de $30,16 \cdot D_T$). En términos absolutos la estimación (sabiendo que $D_T = 12.742$ km) fue $TL = 353.000$ km frente a un valor exacto de 384.400 km.

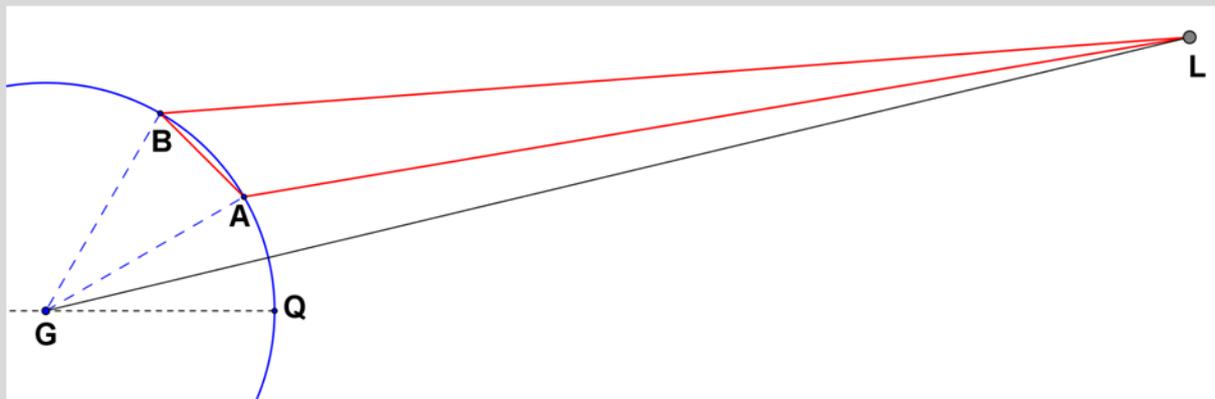
Ampliación: la distancia Tierra - Luna

Hiparco utilizó ingeniosamente los datos de un eclipse solar (el del 14 de marzo de -189) que fue total en Hellesponto (a unos 40° de latitud) pero solo parcial de magnitud $4/5$ en Alejandría. Eso le permitió estimar el ángulo α de la figura y, a base de reiterados cálculos trigonométricos llegó a la conclusión de que $TL = 30,5 \cdot D_T$, un valor muy preciso.



Pero los eclipses de Sol son visibles muy raras veces. Mucho después (a partir del siglo XVIII), cuando hubo instrumentos adecuados para medir ángulos con gran exactitud se pudo utilizar un procedimiento similar sin necesidad de esperar a que hubiera un eclipse solar.

La figura muestra el instante en que la Luna (L) pasa por el meridiano de dos lugares distintos de la superficie terrestre (A y B). Tienen que tener la misma longitud y debemos conocer su latitud, así como el radio de nuestro planeta. Las únicas observaciones necesarias son las alturas de la Luna sobre el horizonte en ese momento en A y en B. Armados con tan poca artillería el procedimiento a seguir es ir resolviendo un triángulo tras otro hasta alcanzar nuestro objetivo final: determinar la distancia GL.



Recientemente se utiliza el reflejo (en espejos colocados en la Luna) de un rayo láser lanzado desde la Tierra con lo que se obtienen medidas de una precisión extraordinaria (del orden del cm).

5.8 GEOGRAFÍA LUNAR

Observa la Luna con prismáticos o con un telescopio. En su superficie se distinguen básicamente 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 el choque 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 como el Imbrium (de las Lluvias) o el Crisium (de la Crisis) se aprecia claramente un contorno circular un poco camuflado por otros cráteres posteriores.

Con ayuda del mapa de la figura 5.35, identifica los detalles que vayas localizando.

Cráteres (en amarillo):

1	Atlas	2	Posidonius	3	Theophilus	4	Cyrillus	5	Plato
6	Aristoteles	7	Eudoxus	8	Archimedes	9	Ptolemaeus	10	Clavius
11	Copérnico	12	Kepler	13	Tycho	14	Fra Mauro		

Mares (en blanco):

1	Serenitatis	2	Crisium	3	Tranquilitatis	4	Fecunditatis
5	Nectaris	6	Frigoris	7	Imbrium	8	Nubium
9	Humorum	10	Oceanus Procellarum				

Montes (verde):

1	Apeninos	2	Cáucaso	3	Cárpatos
---	----------	---	---------	---	----------

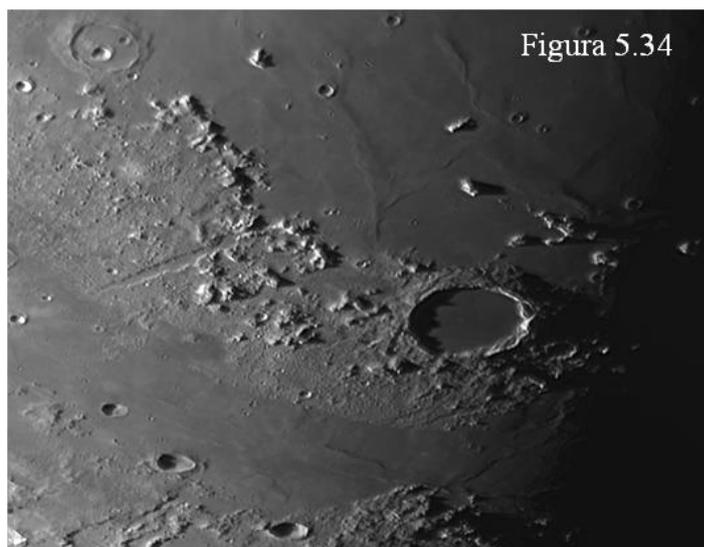
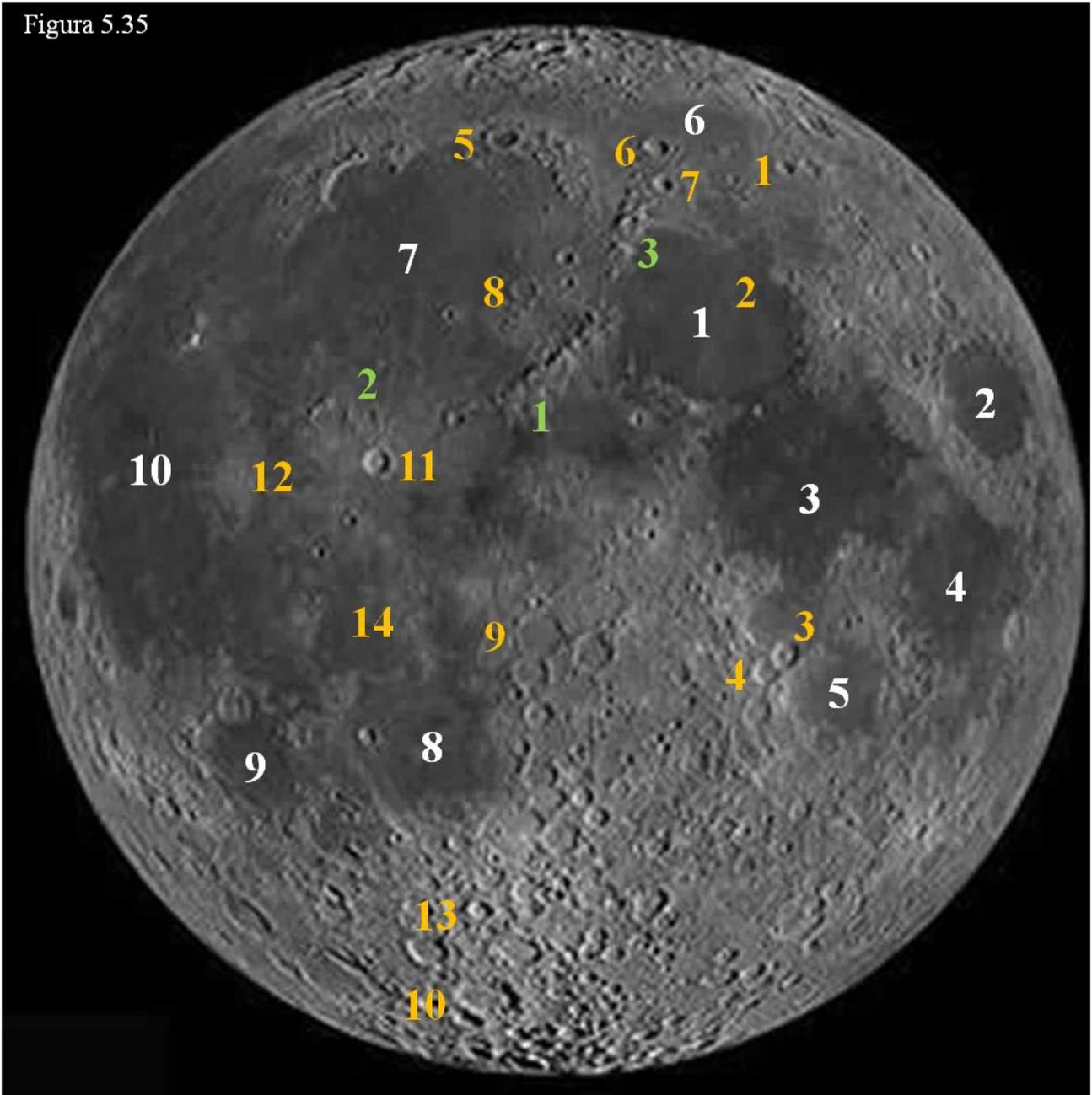


Figura 5.34

Observa sobre todo la zona del terminador, que es donde mejor se aprecia el relieve, pues allí el Sol está saliendo (fase 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 la figura 5.34 se ve en detalle el cráter Platón justo en el terminador, entre luces y sombras.

Fotografía de Roberto Ferrero
(Agrupación Astronómica Madrid Sur)

Figura 5.35

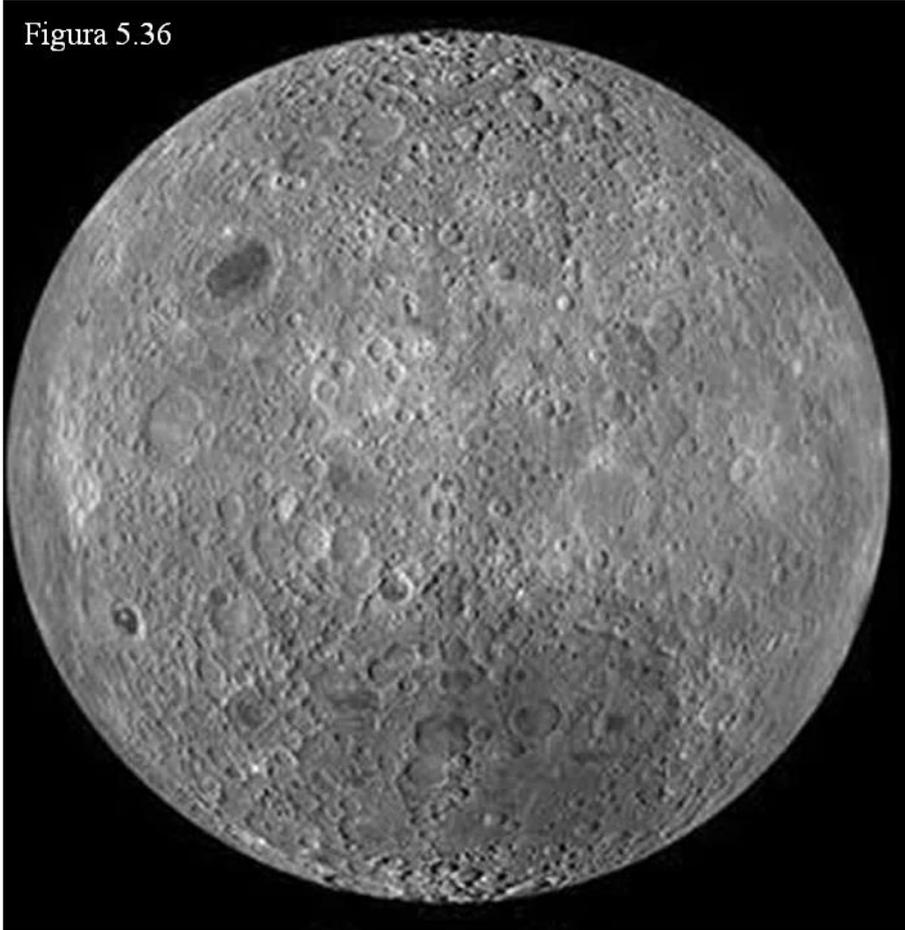


<https://cflvdg.avoz.es/default/2019/01/07/00121546893092370686588/Foto/luna2.jpg>

Una observación continuada permite comprobar que siempre vemos los mismos accidentes lunares, la misma “cara” de la Luna, como consecuencia su rotación sincrónica, de manera que nunca nos deja 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 (figura 5.36) 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.

Figura 5.36



<https://cflvdg.avoz.es/default/2019/01/07/00121546893092370686588/Foto/luna2.jpg>

El 31 de enero de 1966 se produjo el primer alunizaje suave en el Oceanus Procellarum (de las Tempestades) 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.

Ejercicio 5.6

El diámetro angular del cráter Copérnico visto desde la Tierra es de 40". ¿Cuál es el tamaño de ese cráter en km?

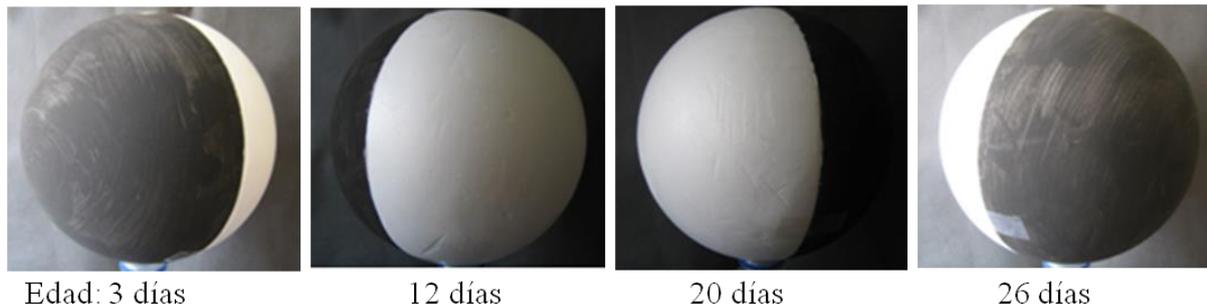
Recuerda que el diámetro de la Luna es de 3.476 km, que su diámetro angular (vista desde nuestro planeta) es de 31' y que 1' = 60".

Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

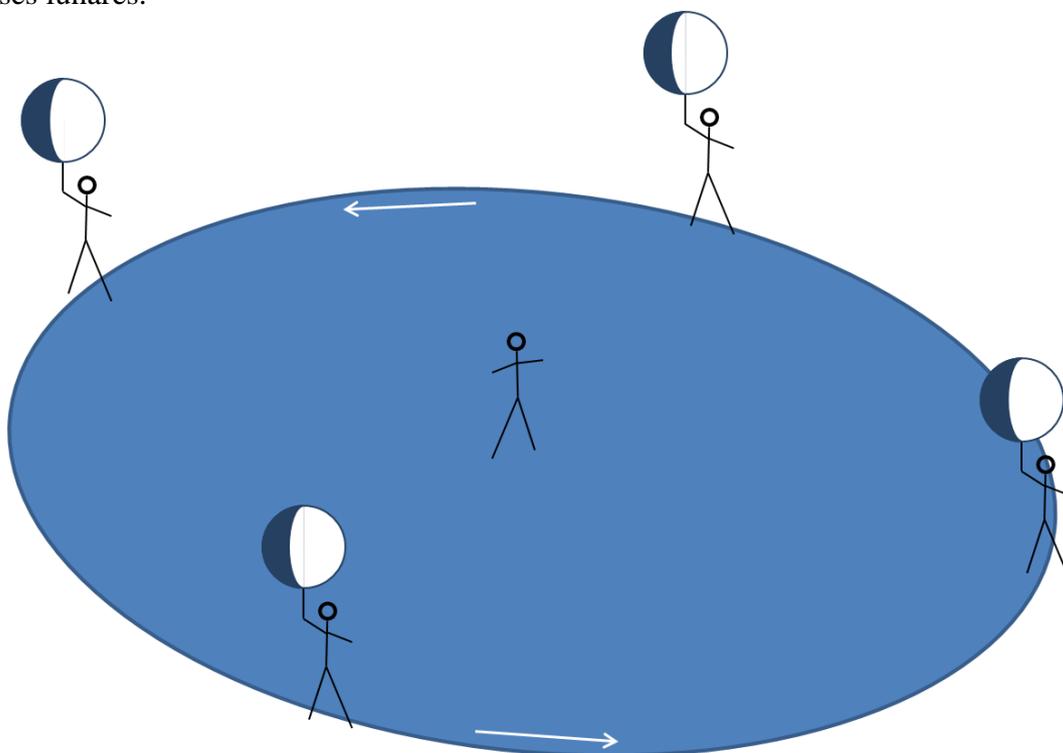
5.9 TRABAJOS ESCOLARES

Modelo para las fases

Como ya indicamos en el texto, se pueden encontrar en los comercios (en tiendas de plásticos) semiesferas de porexpán (corcho blanco). Conviene que sean de un tamaño más bien grande, como 25 cm de diámetro. Pintando una de ellas de negro con témperas y pegándola a otra semiesfera blanca conseguiremos una maqueta de cómo se ve la Luna, siempre medio iluminada por el Sol. Para simular la secuencia de las fases es suficiente con ir girando la esfera:



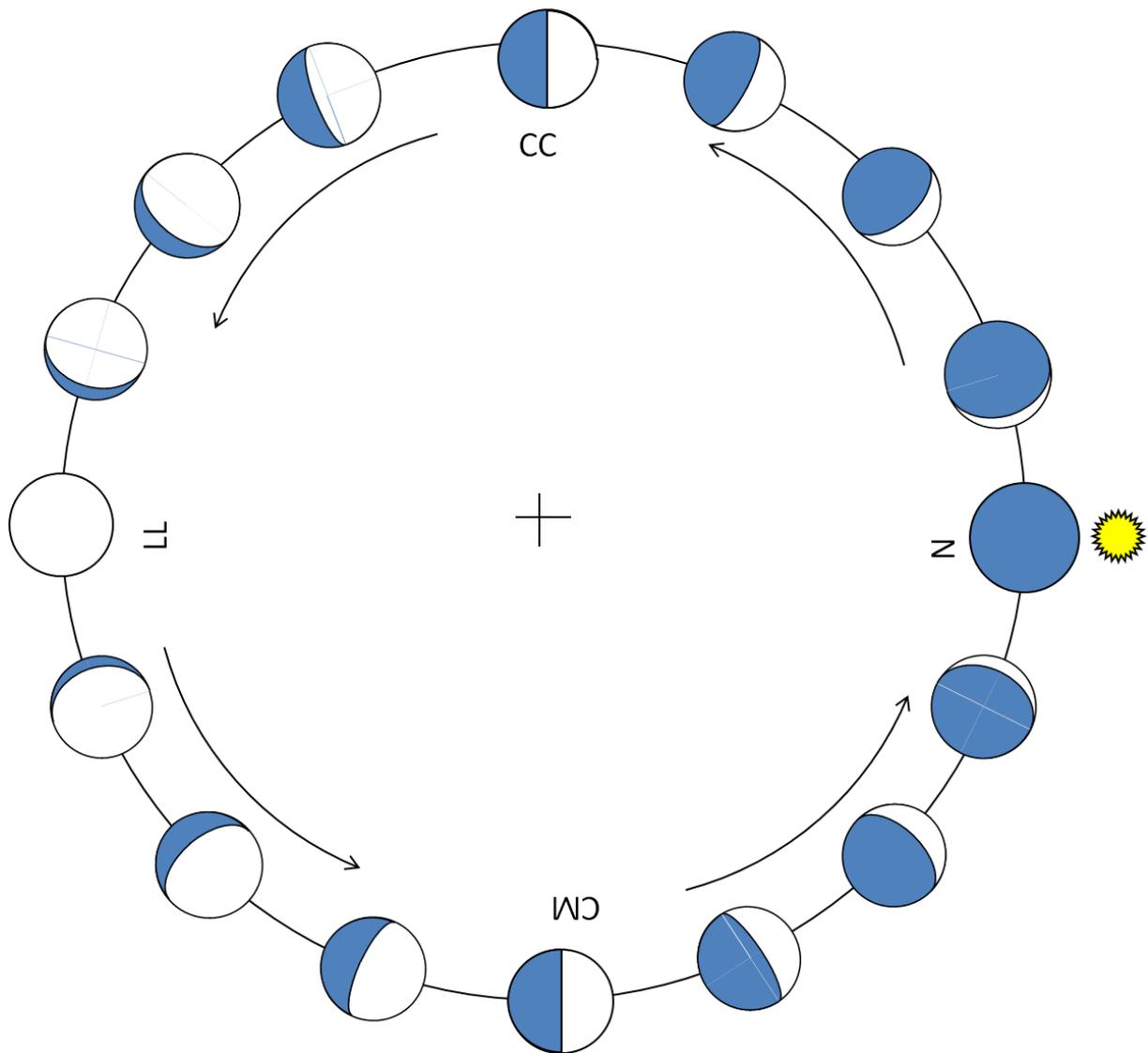
Y para lograr una explicación muy visual del ciclo completo, alguien que lleve la esfera en la mano tiene que ir “orbitando” a nuestro alrededor manteniendo siempre el terminador vertical y la mitad blanca dirigida hacia un mismo sitio, que sería el lugar supuesto desde donde vendrían los rayos solares. Desde el centro se va viendo en la esfera la misma secuencia de formas que en las fases lunares.



Temporizador

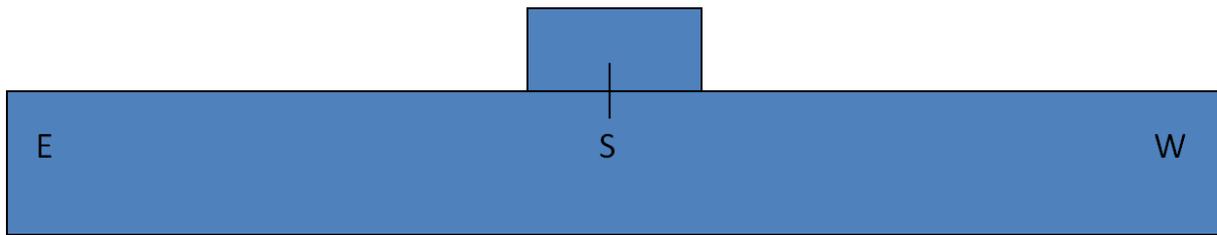
Para localizar fácilmente el horario de salida, puesta y visibilidad de la Luna en cualquier momento a lo largo del ciclo de las fases puedes construir este temporizador.

Consta de una lámina en la que están dibujadas las diferentes visiones de la Luna con su fase correspondiente y su lejanía (elongación) con respecto al Sol. Como ves la Luna y el Sol coinciden (elongación 0°) en luna nueva. Conforme crece la parte iluminada, la Luna se va alejando del Sol, hasta que en luna llena se alcanza la máxima elongación posible, 180° . Desde ese momento en adelante, mientras mengua, ahora se acerca al Sol por el otro lado. Hay una marca en forma de cruz en el centro de la circunferencia.



Puedes imprimir esta lámina.

La otra parte del temporizador es un horizonte muy sencillo:

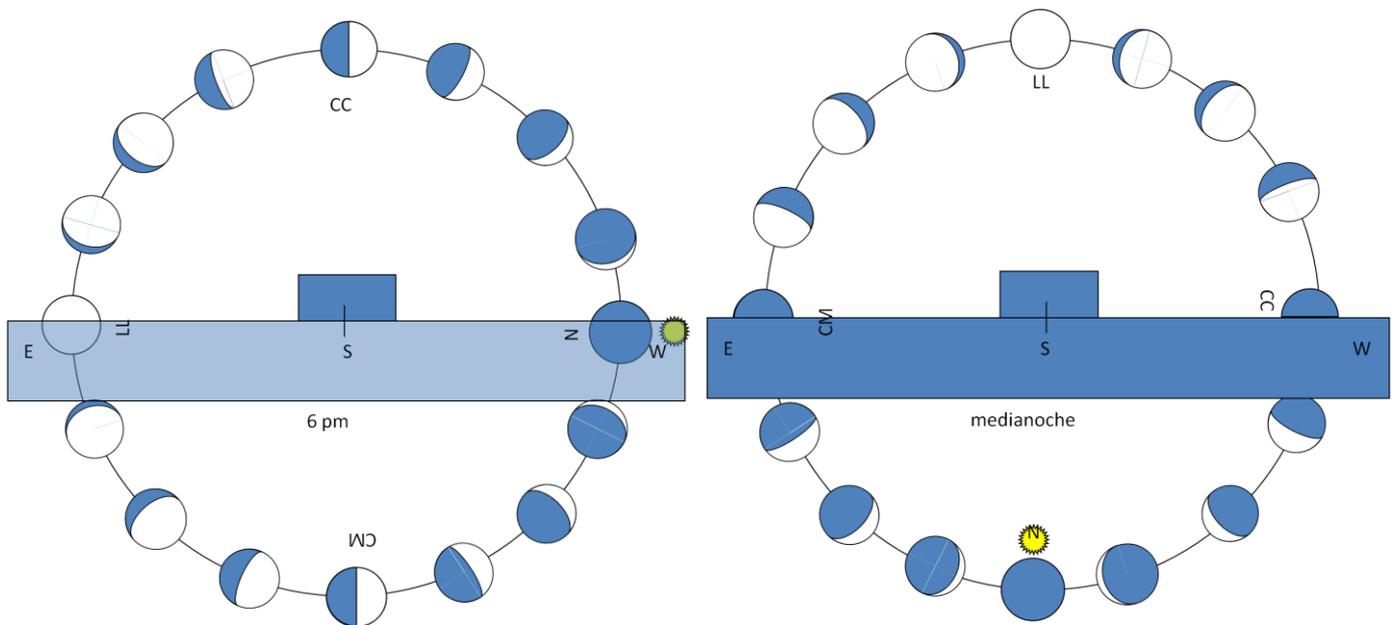


Puedes imprimir este horizonte.

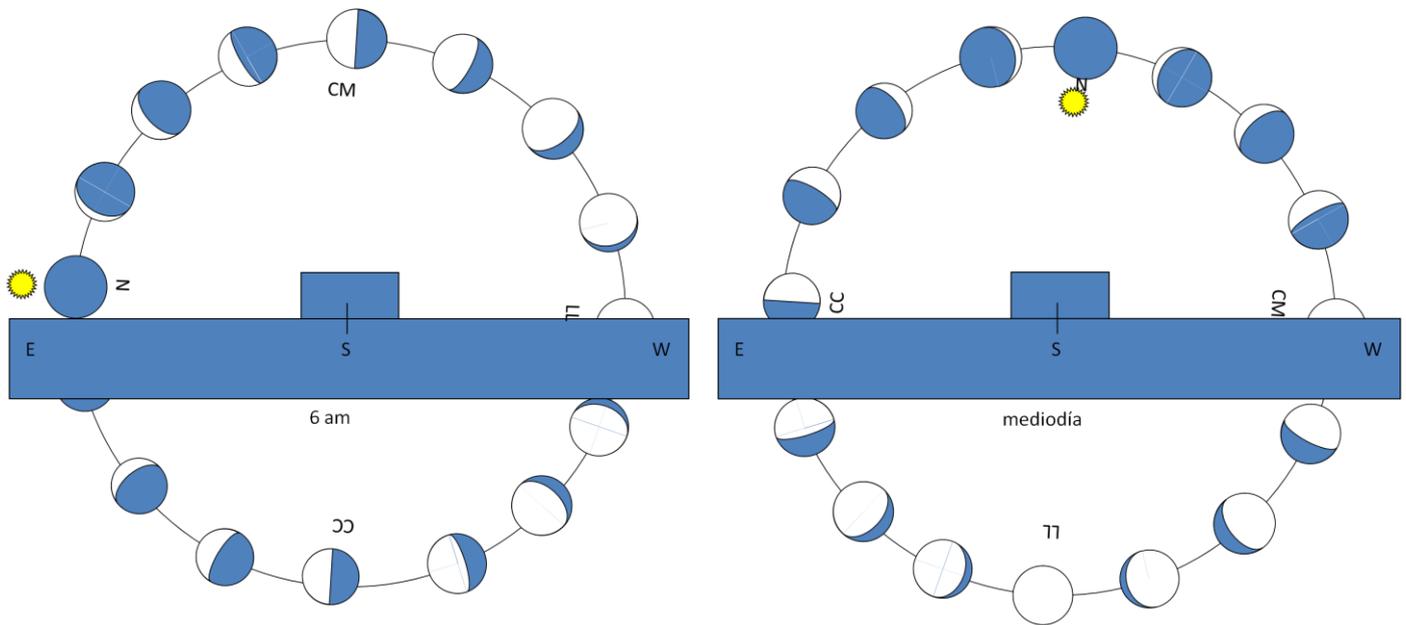
En su centro hay también una señal en forma de cruz. Hay que recortar el horizonte y unir ambas piezas mediante un encuadernador, una grapa, o de cualquier otro modo, de forma que la lámina pueda girar por detrás del horizonte y éste se mantenga horizontal.

Une ambas piezas y gira la lámina hasta que el Sol esté poniéndose por el W; serán pues las 6 de la tarde, como siempre en hora solar. Vamos a fijarnos, por ejemplo, en la Luna en cuarto creciente. A esa hora estará en todo lo alto y en mitad del cielo, justo hacia el Sur.

Gira ahora el temporizador hasta que el Sol esté abajo del todo, o sea a medianoche. Ahora la Luna (en CC) se está poniendo.



Gira la lámina hasta las 6 a.m. (orto solar, con la luna en CC invisible abajo del todo) y luego hasta el mediodía, donde el CC estará saliendo por el horizonte E.



Así pues cuando la Luna está en cuarto creciente saldrá a mediodía, al atardecer estará en su culminación y se pondrá a medianoche.

Fijándonos en un dibujo u otro de la Luna (en la fase que nos interese) podemos predecir, aproximadamente, a qué hora saldrá, cuándo se verá mejor, en qué momento se pondrá y el intervalo horario en el que no estará visible.

Maqueta Tierra – Luna a escala

Siempre es difícil hacerse una idea de las enormes distancias astronómicas. Incluso nuestra cercanísima Luna se escurre como una resbaladiza anguila a nuestra cabal comprensión. Por eso las maquetas a escala suelen ofrecer un inesperado panorama.

Aquí te proponemos hacer una maqueta de la Tierra y su satélite a escala, tanto de tamaños como de distancia. Simplemente vamos a colocar sobre un listón de madera dos clavos y, en cada uno, una pequeña esfera, una bola de porexpán, de corcho, de plastilina. Pero siempre manteniendo los tamaños proporcionales.

Vamos a fijar que el tamaño de la bola-Tierra sea de 4 cm de diámetro. El diámetro de nuestro planeta es de 12.740 km. ¿qué diámetro debe tener la esfera que represente a la Luna?

Diámetro real de la Luna = $1.738 \cdot 2 = 3.476$ km

$$\text{Diámetro bola lunar} = \frac{3.476}{12.740} \cdot 4 = 1,09 \text{ cm}$$

¿A qué distancia de la bola-Tierra deberíamos colocarla para conservar la misma escala?

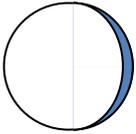
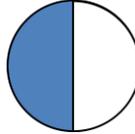
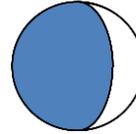
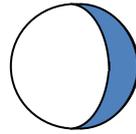
$$\text{Distancia en la maqueta} = \frac{384.400}{12.740} \cdot 4 = 120,7 \text{ cm}$$



Ejercicio 5.1

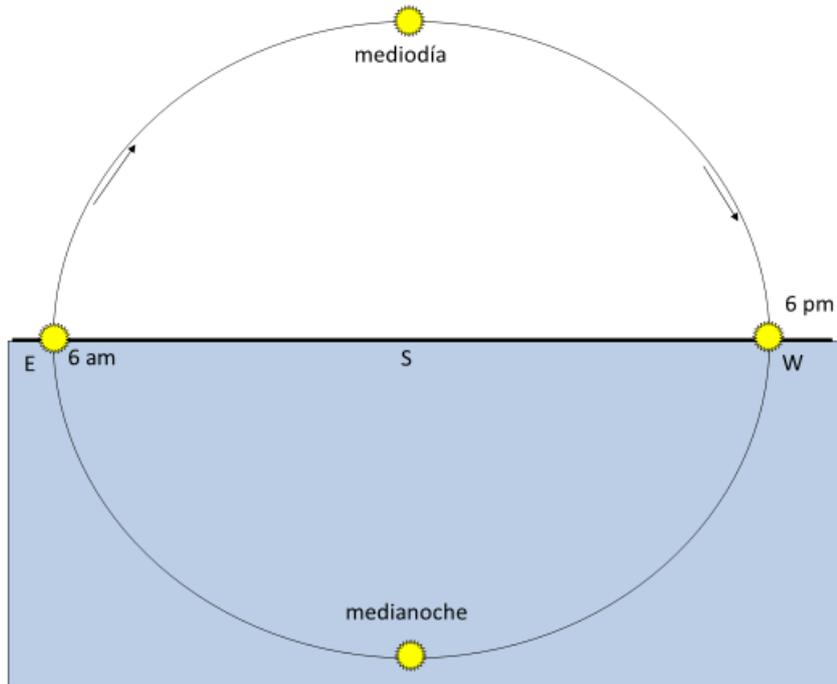
- A, menguante, aún no ha llegado al cuarto, unos 20 días.
- B, creciente recién estrenada, aproximadamente 4 días.
- C, creciente casi llena, edad 13 días.
- D, menguante un poco después del cuarto, más o menos 24 días.

Ejercicio 5.2

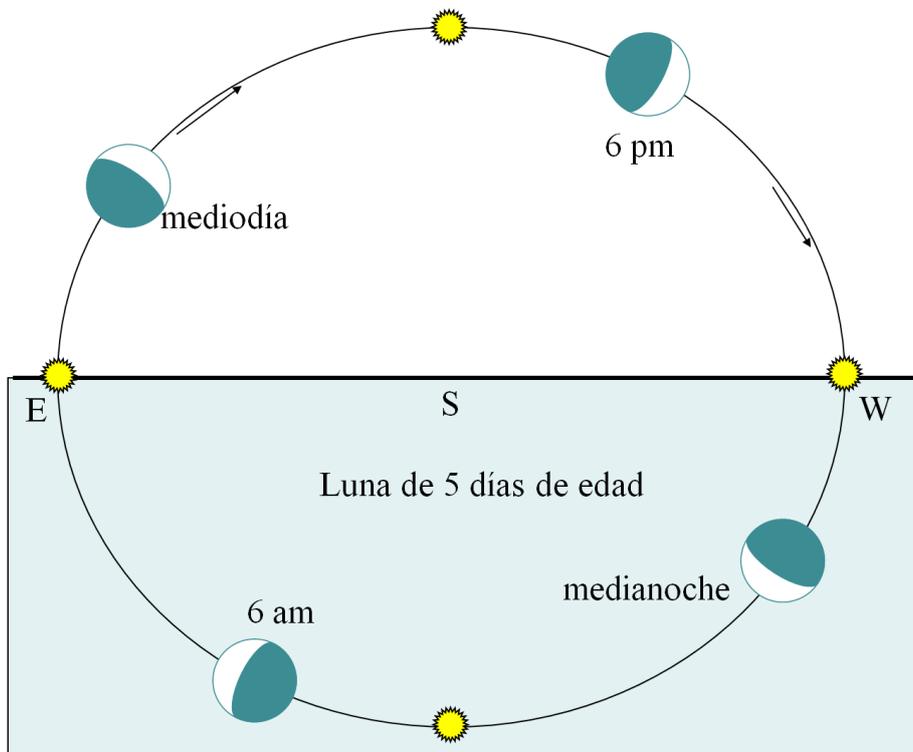
Dibujo				
Fase	Empieza a menguar	c. creciente	Entre nueva y cuarto creciente	Entre llena y cuarto menguante
Edad	18 días	7 - 8 días	4 días	19 - 20 días
Elongación	140° W	90° E	50° E	120° W

Ejercicio 5.3

Aquí puedes ver un esquema como los anteriores



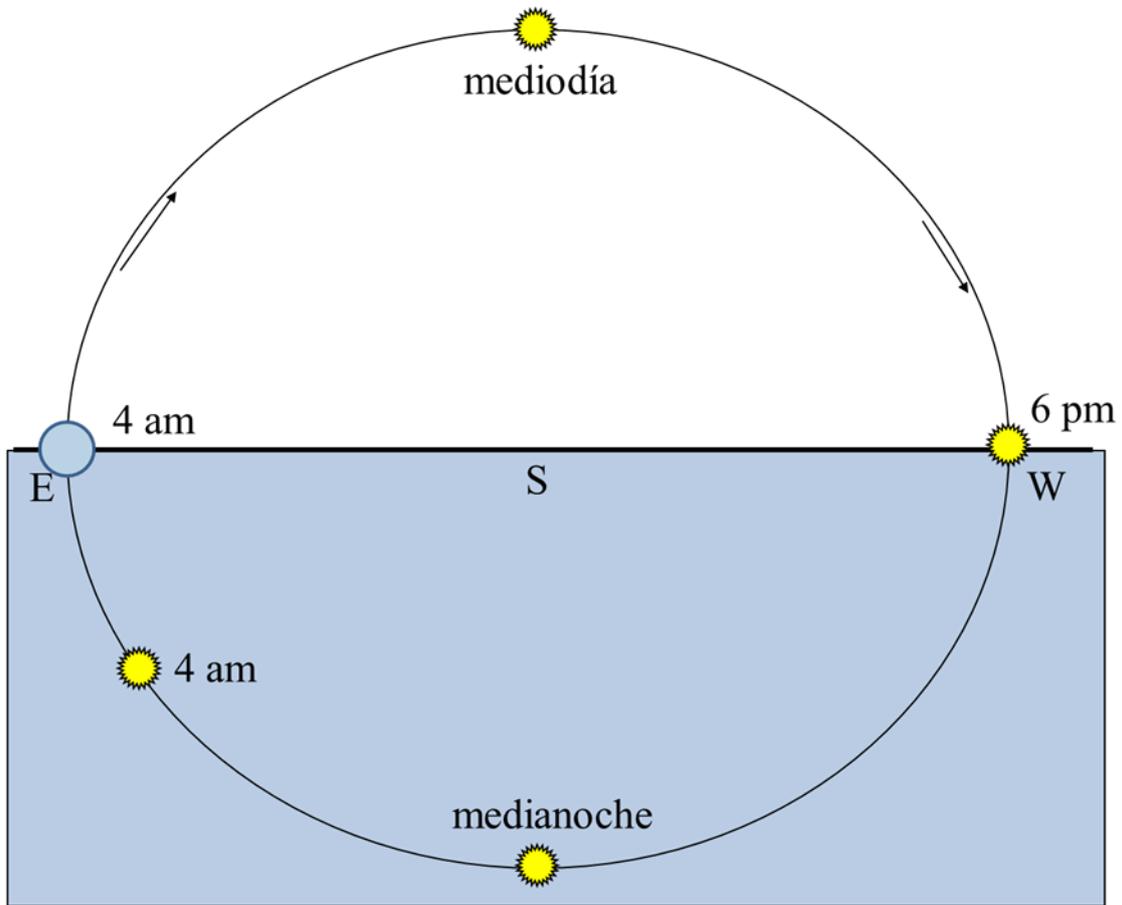
La elongación de una Luna de edad 5 días será $5 \times 12 = 60^\circ$; aún no ha llegado al cuarto creciente y su elongación será hacia el Este, retrasada con respecto al Sol $60^\circ / 15^\circ = 4$ horas.



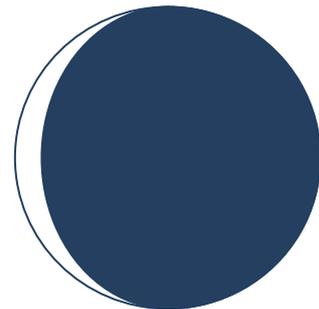
	Salida	Culminación	Puesta
hora	10 am	4 pm (16 h)	10 pm (22 h)

Ejercicio 5.4

a)



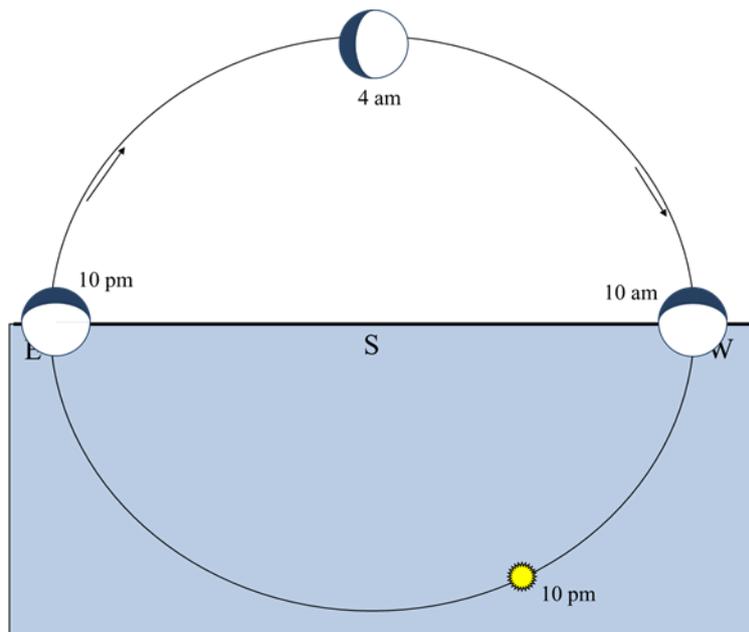
- b) La Luna va 2 horas “por delante” del Sol.
- c) Su elongación será de unos 30° W, así que está en el tramo menguante.
- d) Desde la luna llena se ha acercado ya al Sol 150° , lo que equivale a unos $150^\circ / 12^\circ = 12,5$ días, así que su edad será de unos 27 días y estará ya muy menguada (apenas le faltan 2,5 días para la luna nueva).



Ejercicio 5.5

A las 10 pm faltan 2 horas para la medianoche y otras 6 para la salida del Sol, es decir que la Luna sale 8 horas antes que el Sol con lo que su elongación será $8 \times 15 = 120^\circ$ (hacia el W), así que tendrá una edad de unos 20 días y estará en fase menguante aunque aún no ha llegado al cuarto.

Culminará aproximadamente 6 horas después de salir (hacia las 4 am) y se pondrá otras 6 horas más tarde (a eso de las 10 am).



Ejercicio 5.6

El cálculo solo requiere el uso de una proporción:

$$\text{Diámetro real del cráter Copérnico} = \frac{40''}{31 \cdot 60''} \cdot 3476 \text{ km} = 74,75 \text{ km}$$