



6

Las cuatro estaciones

- 6.1 Las observaciones
- 6.2 Las explicaciones
- 6.3 Las estaciones en cualquier latitud
- 6.4 Geocentrismo y heliocentrismo
- 6.5 La precesión de los equinoccios
- 6.6 Trabajos escolares

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 trece constelaciones en cada vuelta por la eclíptica, siendo la constelación extra Ophiucus, el portador de la serpiente.

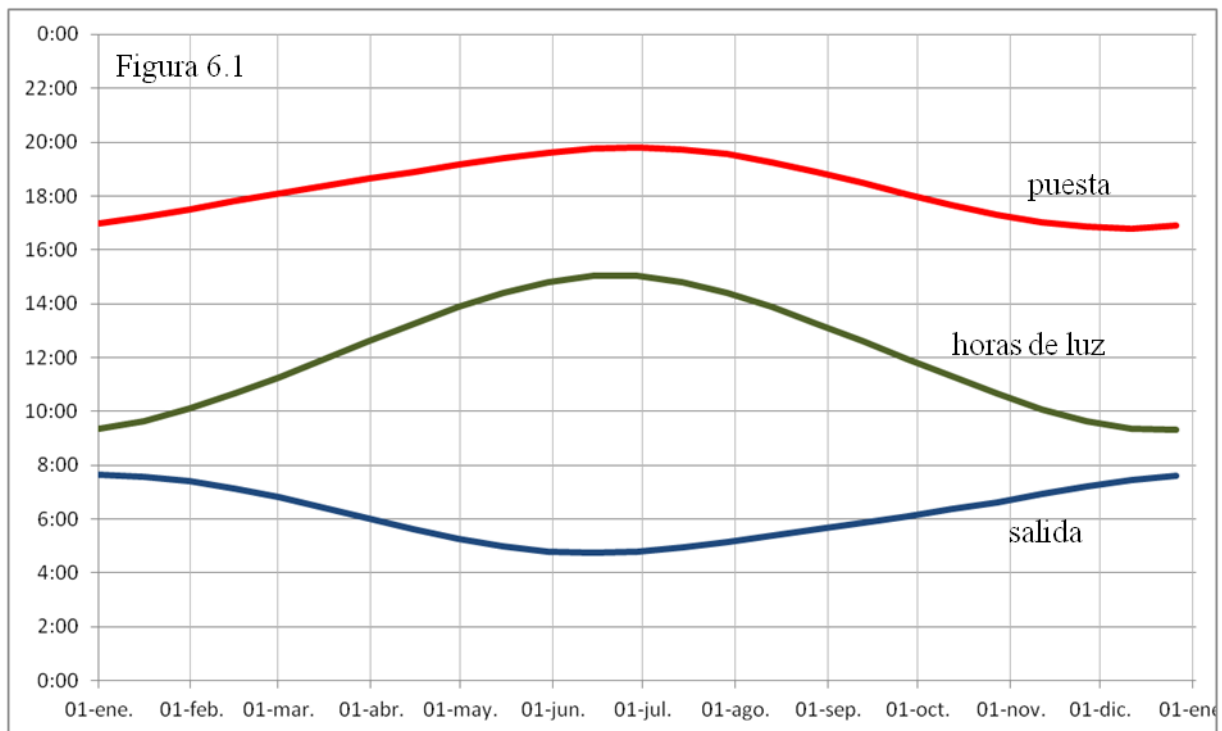
D. Tattersfield, *Projects and demonstrations in Astronomy*

6.1 LAS OBSERVACIONES

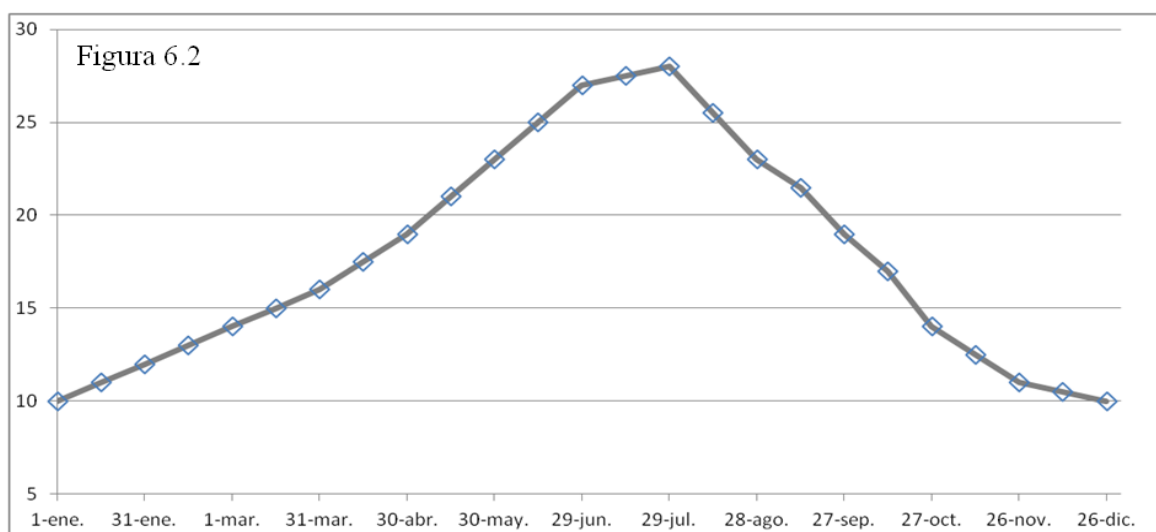
El ciclo de las estaciones fue conocido desde siempre. Numerosas tribus primitivas contaban el transcurrir del tiempo mediante las fases lunares para cortos períodos o mediante el ciclo solar de inviernos y veranos para etapas más largas. Todos sabemos que en verano el Sol sale muy pronto y se pone muy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

Los trabajos agrícolas (siembra, recolección) también siguen los ritmos estacionales y muchas actividades de los animales (migraciones, la época de celo o de crianza) están acompasadas al ciclo solar.

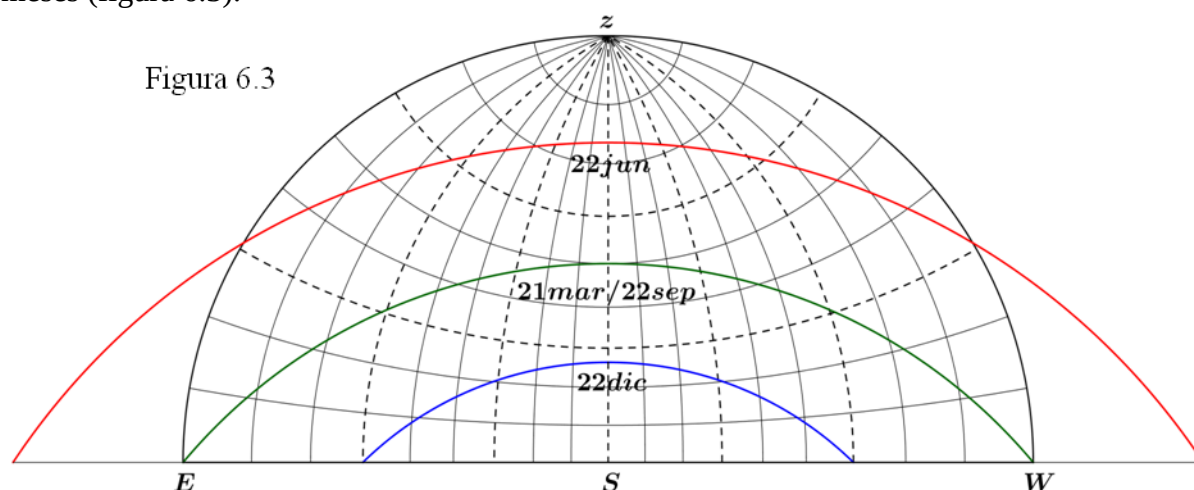
En la siguiente gráfica se muestran las horas de salida y puesta del Sol y la **duración del día** a lo largo de un año, mostrando claramente esa periodicidad (días largos en verano y cortos en invierno). La escala vertical del tiempo está en horas solares, sin tener en cuenta las correcciones legales (el adelanto de una hora en otoño e invierno y de dos en primavera y verano):



Y en esta otra se recogen las **temperaturas** medias (de Madrid, en °C) que de la misma forma siguen observando esa conocida periodicidad anual:



El **recorrido diario aparente** del Sol desde que sale hasta que se pone va variando con los meses (figura 6.3).



El 21 de marzo alcanza a mediodía una máxima altura de 50° , sale justo por el Este y se pone justo por el Oeste y está exactamente 12 horas por encima del horizonte y otras tantas por debajo: de ahí el nombre de **equinoccio** (“noche igual”) para ese momento. A medida que avanza la primavera sale y se pone algo más hacia el Norte y su altura máxima va siendo mayor, hasta que hacia el 22 de junio el recorrido es el más alto de todos. Desde esa fecha comienza a bajar, el 22 de septiembre repite la misma trayectoria que el 21 de marzo (otro equinoccio) y durante el otoño el recorrido se va encogiendo hasta alcanzar su posición más baja el 22 de diciembre. Después retoma su sentido ascendente hasta que vuelve a la posición intermedia. Y así año tras año.

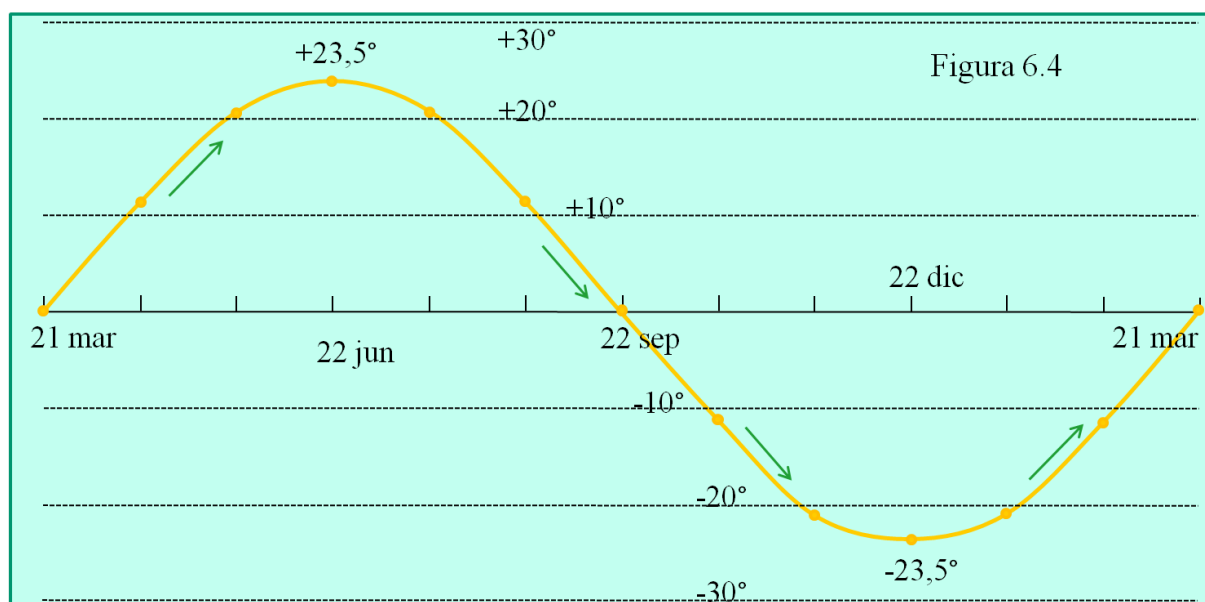
En Marzo o Septiembre las curvas suben o bajan bastante deprisa; en cambio en las cercanías del 22 de junio esos recorridos cambian muy poco, prácticamente hay varios días en que parece que el Sol hace lo mismo, como si se hubiera quedado anclado. Lo mismo pasa en torno del 22 de diciembre; esos días son los **solsticios**, palabra que viene a significar “Sol estático”, mostrando a las claras que parece repetir durante varias jornadas un mismo trayecto.

Recordemos que una estrella cualquiera, Rigel, por ejemplo, siempre hace el mismo recorrido sobre el horizonte, precisamente el que viene impuesto por su declinación. La de Rigel es $\delta = 8^\circ$ Sur, por lo que siempre saldrá no por el Este sino un poco hacia el Sur, su altura máxima siempre será la misma y se pondrá, de forma simétrica, por un punto del horizonte algo desviado del Oeste hacia al Sur. ¿Qué quiere decir esto? Pues que el Sol, cuyo recorrido sobre el horizonte varía, no puede tener una posición fija en la esfera celeste, que su **declinación** tiene que ir cambiando a lo largo del año.

Desde nuestra latitud de 40° N el ecuador celeste siempre alcanza una altura máxima de 50° . Por eso una estrella como Rigel, que está 8° por debajo de él, llegará en su culminación meridiana a $50^\circ - 8^\circ = 42^\circ$. Y por eso, puesto que el Sol alcanza diferentes alturas máximas, su declinación tiene que ser variable y puede obtenerse muy fácilmente: $\delta = \text{Máx altura} - 50^\circ$. En la tabla que aparece a continuación se ofrecen las máximas alturas del Sol y la declinación que se deduce de ellas, siempre asumiendo que estamos a una latitud de 40° N:

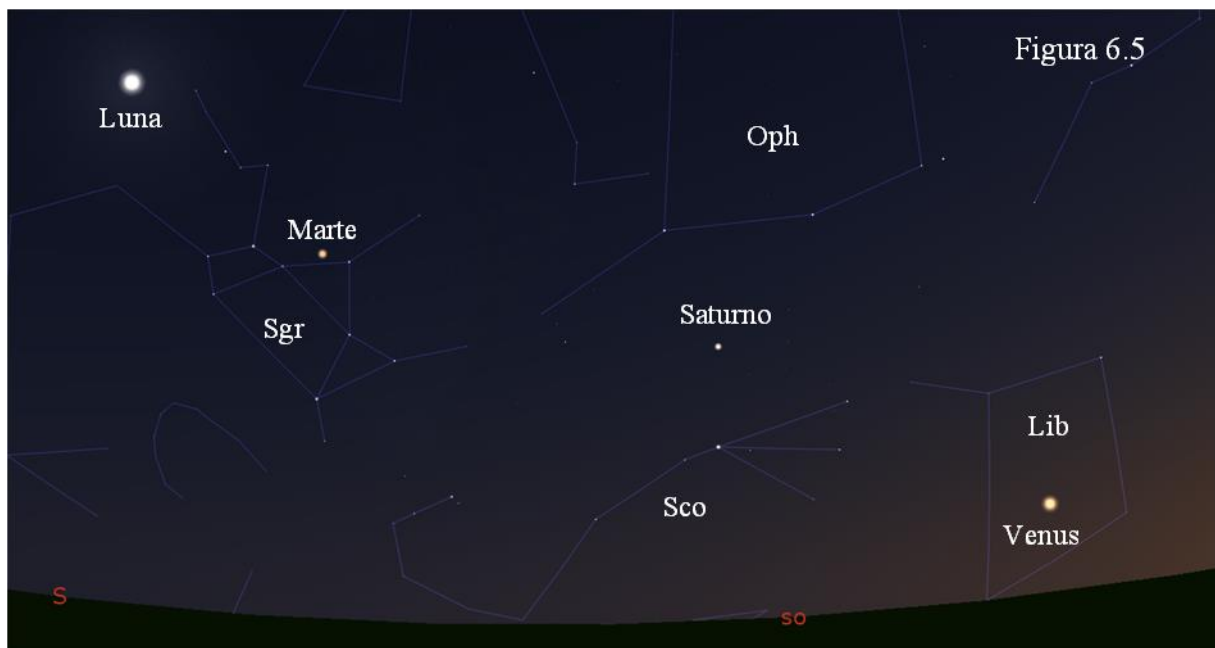
Fecha	20/1	20/2	20/3	20/4	20/5	20/6
Max. altura	30	39	50	61	70	73
Declinación	-20	-11	0	11	20	23
Fecha	20/7	20/8	20/9	20/10	20/11	20/12
Max altura	70	62	51	40	30	26
Declinación	20	12	1	-10	-20	-24

Esta gráfica recoge la variación de la δ solar en un año:



Acabamos de ver que el Sol no puede ocupar una posición fija entre las constelaciones; no puede estar siempre en Tauro, por ejemplo, entre otras cosas porque en ese caso esta constelación estaría siempre oculta tras su resplandor, y Aldebarán y toda su constelación es bien visible en invierno. ¿Cuál es entonces su **recorrido anual** frente al telón de fondo del firmamento? ¿Qué constelaciones atraviesa? No es posible observarlo directamente, pues cuando está por encima del horizonte su luz impide ver las estrellas, pero sí podemos determinar cuál es la constelación que se empieza a ver nada más ponerse el Sol.

En la imagen (correspondiente al 10 de octubre de 2016) aún es perceptible la luminosidad del crepúsculo, a la derecha, hacia el oeste. Muy cerca destaca Venus, en la constelación de Libra; Saturno aparece entre Ofiuco y Escorpio, Marte en Sagitario y la luna en Capricornio. Se deduce que el Sol debía estar dentro de los límites de Virgo.



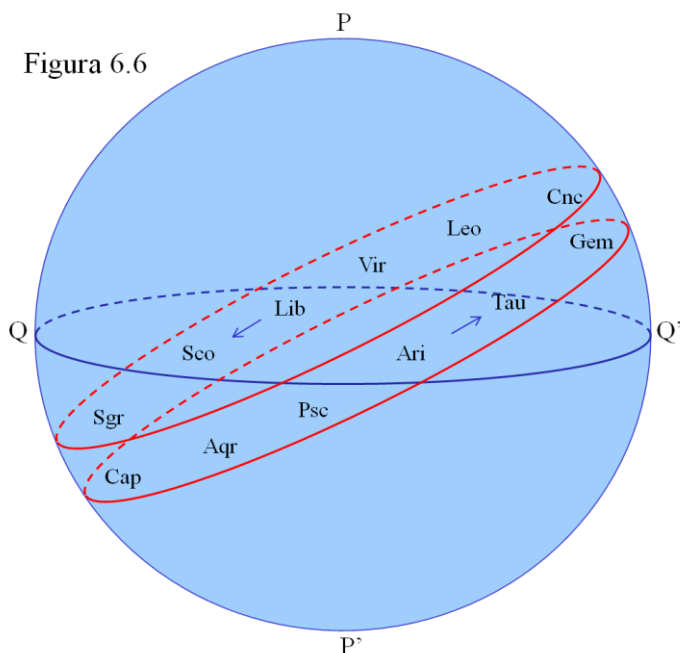
La otra gran pista es la Luna que recorre siempre la banda zodiacal y que en todo momento va persiguiendo a nuestra estrella o por delante de ella; es más, en los eclipses de Sol ambos astros coinciden totalmente; viendo la situación relativa del Sol y de la Luna cuando ambos sean visibles de día (en cuarto creciente, por ejemplo) se puede también deducir cuál es la posición del Sol respecto a las constelaciones.

Como además podemos conocer su declinación con mucha exactitud esto nos permite limitar en gran medida la zona del cielo estrellado en la que se encuentra.

Repitiendo observaciones como las anteriores se concluye que el Sol siempre se va a mover, al igual que la Luna, pasando por delante de las constelaciones zodiacales.

6.2 LAS EXPLICACIONES

Figura 6.6



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 **Zodiaco**: Aries, Tauro, Geminis, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. El Zodiaco 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 Aries hasta Virgo está por encima del ecuador y tiene declinación positiva o norte. Desde Libra hasta Piscis, en cambio, queda por debajo del ecuador.

Con más precisión la trayectoria aparente del Sol a lo largo del año respecto a las estrellas es la línea central del Zodiaco, que se llama **eclíptica**. Los puntos en los que corta al ecuador corresponden a los días en los que tiene $\delta = 0^\circ$ y son los **equinoccios**. Los días en los que el Sol alcanza su declinación extrema ($\delta = \pm 23,5^\circ$) corresponden a los **solsticios**. Así, el ciclo anual queda dividido en cuatro etapas naturales:

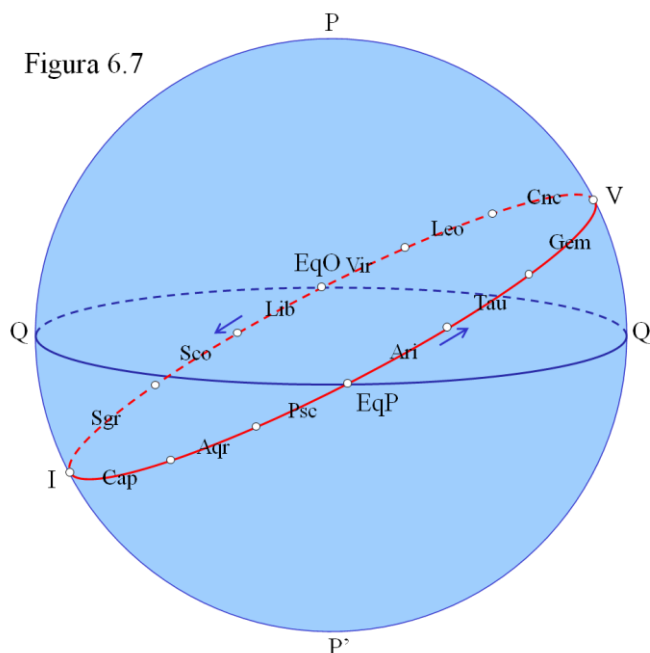
PRIMAVERA, desde el equinoccio de primavera (EqP, 21 marzo) al solsticio de verano (V, 22 junio)

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

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

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

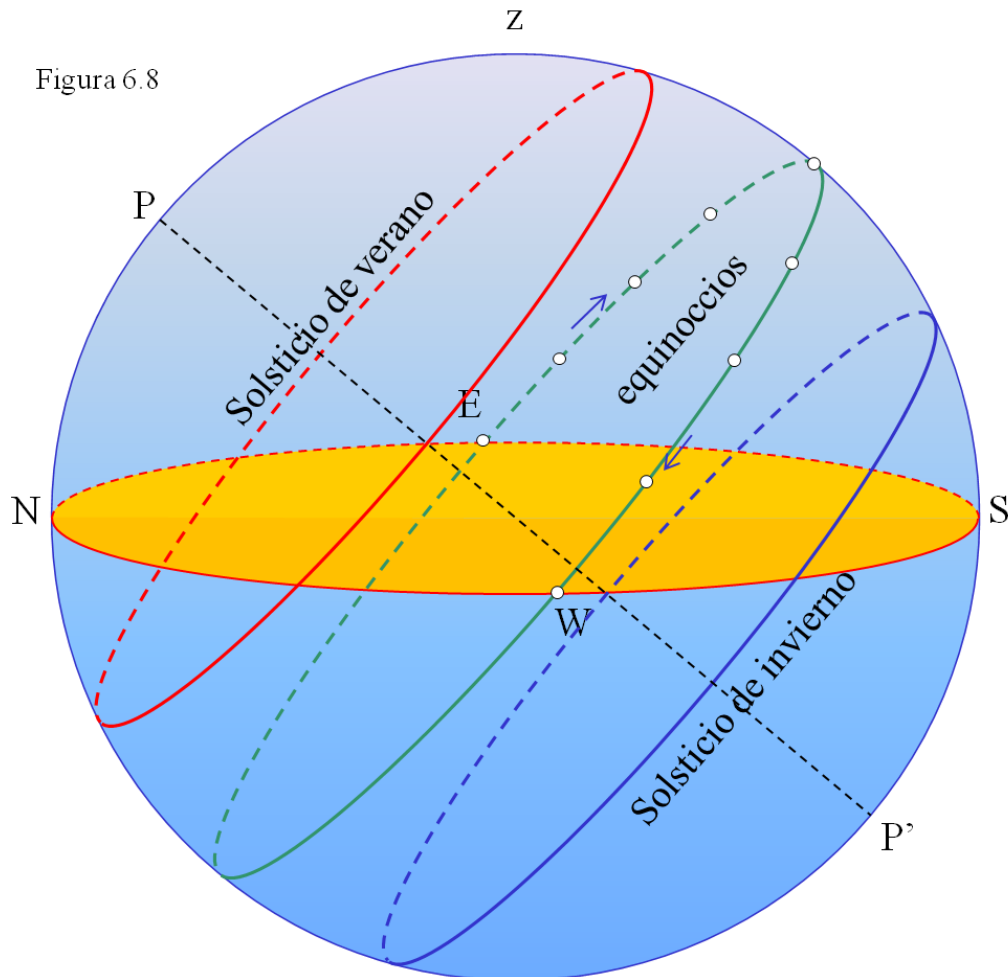
Figura 6.7



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 aparente de la esfera celeste de Este a Oeste en 24 horas. El Sol describirá cada día el paralelo celeste que le corresponda según la declinación que tenga en esa fecha.

En la figura 6.8 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.

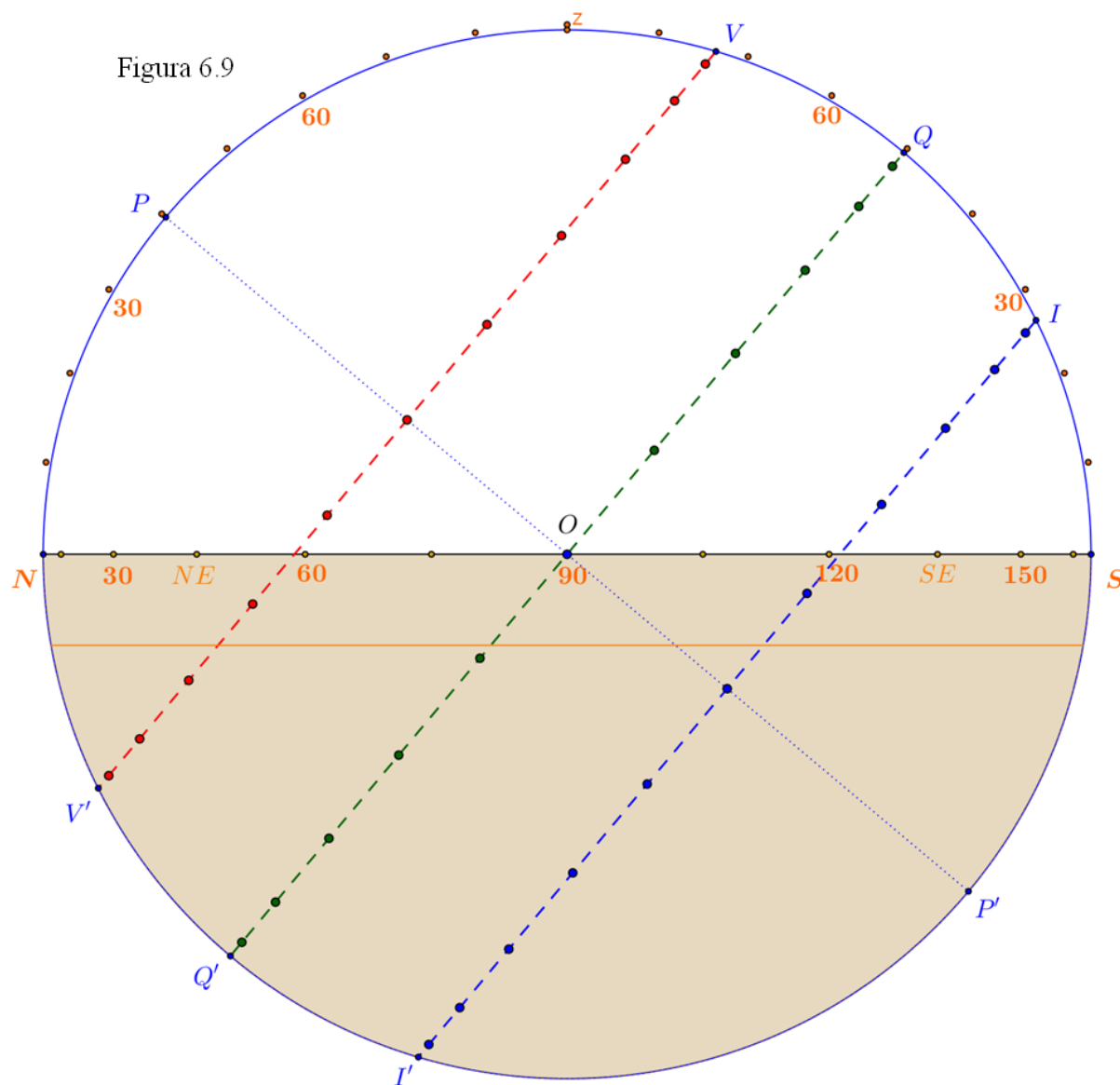


En el solsticio de verano su declinación es $\delta = +23'5^\circ$ y durante el día 22 de junio recorrerá ese paralelo, por lo que no saldrá por el Este, sino bastante hacia el Norte y también se pondrá por un punto del horizonte noroeste. El día es muy largo y el Sol, a mediodía, cuando pasa por el meridiano, está muy alto, cerca del cenit. Estará calentando mucho la superficie terrestre.

En el solsticio de invierno ($\delta = -23'5^\circ$) ocurre exactamente lo contrario: 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 6.9 se ha representado la misma esfera celeste pero sin perspectiva, sólo **en sección** como hicimos en el tema 4. Los círculos (horizonte, ecuador) se proyectan como segmentos de recta de forma que no podemos distinguir la mitad que está por delante de la que está por detrás. Aún así podremos obtener de ella muchísima información.



La circunferencia exterior (en azul) representa la esfera celeste, más concretamente el meridiano del lugar, con los dos polos P y P', el cenit z y el ecuador QQ'. El diámetro horizontal NS es el horizonte en el que aparece la graduación (en naranja) del acimut, desde 0 en el Norte, pasando por 45 (NE), 90 en el centro (donde se confunden los puntos cardinales E y W con el centro O), 135 (SE) hasta 180 en el Sur. La graduación de la altura se señala (también en naranja) mediante puntos separados de 10 en 10 grados situados inmediatamente al exterior del círculo azul: como estamos viendo la esfera celeste desde un lugar O de latitud $\phi = 40^\circ$ la altura de P es de 40° (desde N) y por tanto el punto más alto del ecuador Q tendrá que estar a 50° de altura desde S.

El segmento VV' es la imagen del paralelo con $\delta = +23,5^\circ$, el que recorre el Sol el día del solsticio de verano. ¿Cuál será la máxima altura del Sol ese día? Pues no tenemos más que mirar la posición del punto V: $73,5^\circ$ (los 50° de altura de Q más $23,5^\circ$).

Pero ahora también podemos precisar numéricamente el acimut del orto: ¿dónde corta el paralelo VV' al horizonte? En un punto de acimut ligeramente inferior a 60°, unos 59°. Dicho de otra manera, el Sol no sale por el este sino un poco más de 30° desviado hacia el N. Por consiguiente el ocaso tampoco ocurrirá por el W sino unos 31° también hacia el N.

Más todavía: el paralelo VV' está dividido mediante pequeños puntos en 12 tramos, cada uno correspondiente a una hora de tiempo. Desde V hasta el eje PP' hay 6 horas y desde el eje hasta V' otras 6. ¿Cuántos tramos (horas) quedan por encima del horizonte? Contemos: desde V hasta el eje PP' hay 6 y entre el eje y el orto hay más de una hora, casi hora y media, digamos aproximadamente 1 h 25 m. En total 7 h 25 m. Este es el tiempo que transcurre desde que el Sol sale hasta que llega a su culminación en V el día 22 de junio. Otro tanto pasará por la tarde. El día completo será así de 14 h 50 m.

De manera similar determinaremos con ayuda de la figura 6.9 los datos (máxima altura, acimut de orto y duración del día) en los equinoccios, cuando el sol recorra el ecuador QQ', o en el solsticio de invierno (paralelo I I'). En el cuadro se resumen todos ellos.

En cuanto al **clima** que hará en ese lugar solo hay que fijarse en las máximas alturas del Sol, puesto que el factor determinante es la inclinación con que los rayos solares lleguen a la superficie horizontal. En verano está bastante cerca del cenit y hará mucho calor, mientras que los inviernos serán fríos pero no excesivamente. Obviamente consideraciones geográficas (altitud, cercanía al mar sobre todo) matizarán estas primeras conclusiones.

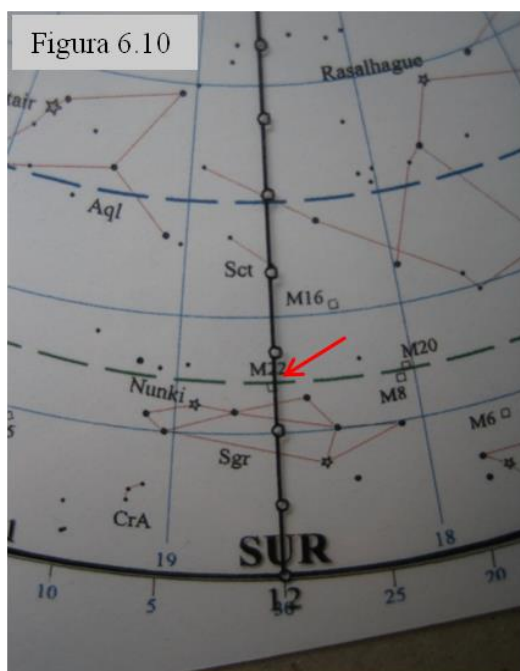
Por último: hay una línea naranja por debajo horizonte y paralela a él. Es la línea del **crepúsculo**, situada 10° por debajo del horizonte. Cuando el Sol llegue a ella y esté 10° por debajo del horizonte la oscuridad será casi completa y daremos por terminado el crepúsculo. ¿Cuánto tiempo pasa desde que el Sol se pone hasta que llega a esa línea? Mirando los tramos en el paralelo VV' diremos que en torno a una hora.

$\varphi = 40^\circ \text{ N}$	Máx. altura	Acimut orto	Duración del día
Solsticio Verano	73,5°	59°	14 h 50 m
Equinoccios	50°	90°	12 h
Solsticio Invierno	26,5°	121°	9 h 10 m
Clima templado: veranos cálidos, inviernos no muy fríos			
¿Pasa el Sol por el cenit en alguna fecha?			NO
¿Cuánto dura el crepúsculo el solsticio de verano?			1 hora

Siempre nos fijamos en las fechas destacadas del ciclo anual. En las fechas intermedias la trayectoria aparente del Sol será la impuesta por su declinación.

Con el planisferio

Naturalmente el Sol no puede aparecer en el planisferio, puesto que no ocupa una posición fija entre las constelaciones, pero sí está dibujada su trayectoria anual aparente, la **eclíptica**, que es la curva excéntrica de línea verde algo gruesa y trazo discontinuo. Puedes comprobar que esa línea pasa al sur de Aries, cruza los cuernos de Tauro, atraviesa Géminis y Cáncer, roza Régulus (Leo queda al norte), casi toca a Spica de Virgo que se sitúa un poco al S de ella, cruza Libra, deja al sur a Escorpio y Sagitario y atraviesa las últimas constelaciones zodiacales de Capricornio, Aquario y Piscis.



Para determinar dónde veríamos a nuestra estrella en una fecha determinada hay que trazar una recta que una el polo con la marca de esa fecha; la intersección de esa recta con la eclíptica nos dará la **posición del Sol** ese día. Una manera cómoda de visualizar esa recta es girar la lámina local transparente del planisferio hasta colocarla en esa fecha a las 12 del mediodía; así el meridiano nos servirá como recta que va del polo a la marca correspondiente a ese día.

Por ejemplo, el 30 de diciembre a las 12 horas, el meridiano corta a la eclíptica casi exactamente donde se sitúa una señal con el título M 22 (no es una estrella, sino un objeto destacado si se observa con un telescopio). Pues allí estará el Sol ese día dentro de los límites de la constelación de Sagitario.

Podemos ya averiguar todo lo que queramos. ¿Cuáles serán sus coordenadas? La ascensión recta unas 18h 40m y la declinación $\delta \approx 23^\circ$ S. ¿A qué horas saldrá, cruzará el meridiano y se pondrá? Giremos hasta que M 22 esté saliendo o poniéndose. Obtenemos estos datos:

	Orto	Paso meridiano	Ocaso
Hora	7:20	12:00	16:40
Acimut	120°	180°	240°
Altura	0°	27°	0°

Ejercicio 6.1

- El 8 de marzo el Sol se encuentra muy próximo a una débil estrella de magnitud 4. ¿De qué constelación es esta estrella? ¿Cuáles serán las coordenadas ecuatoriales del Sol ese día? Completa una tabla como la anterior para esa fecha.
- ¿Qué día está el astro rey junto a la brillante Régulus?
- ¿Y muy cerca de Spica?

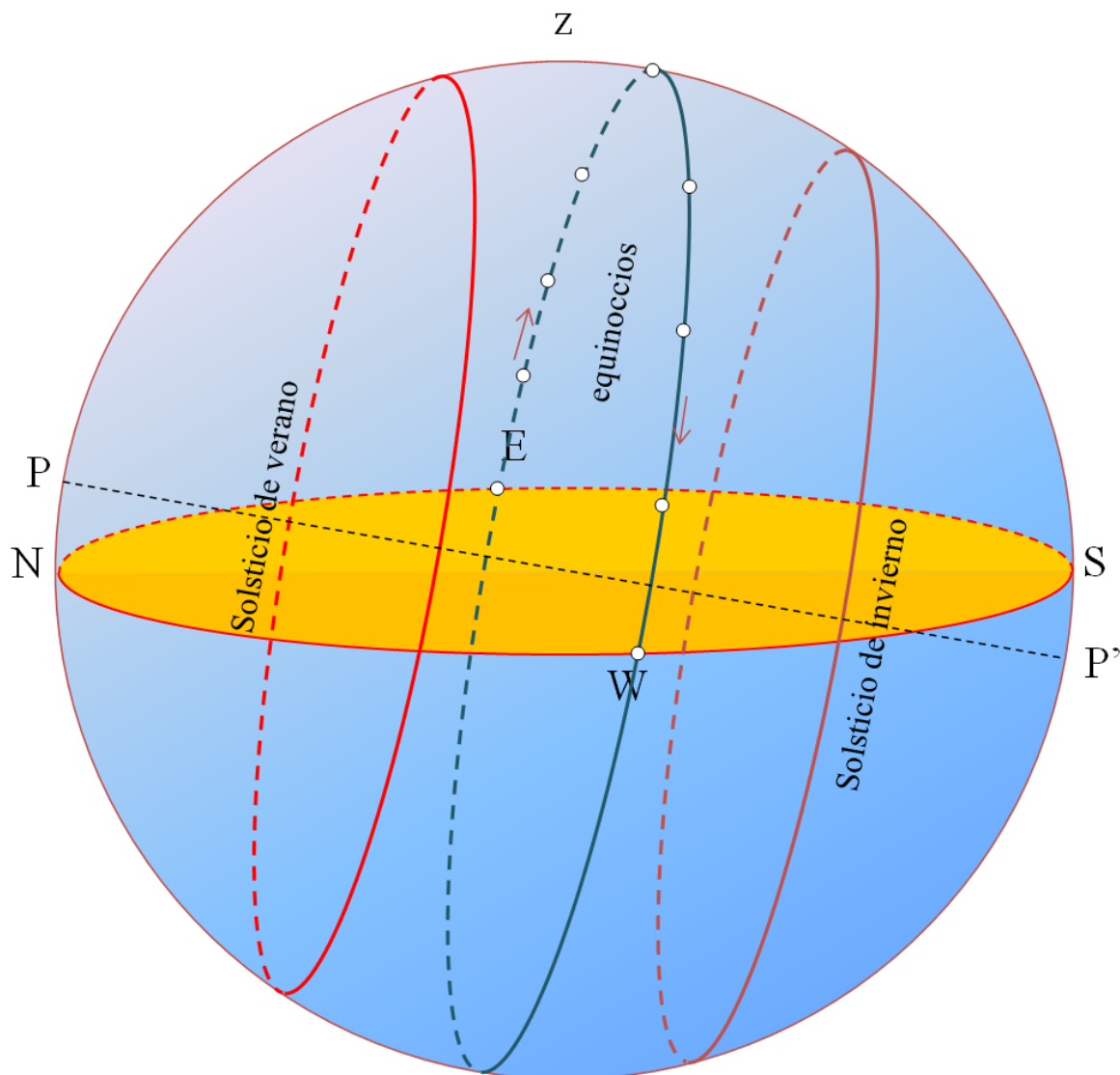
Haz clic [aquí](#) para ver la solución

6.3 LAS ESTACIONES EN CUALQUIER LATITUD

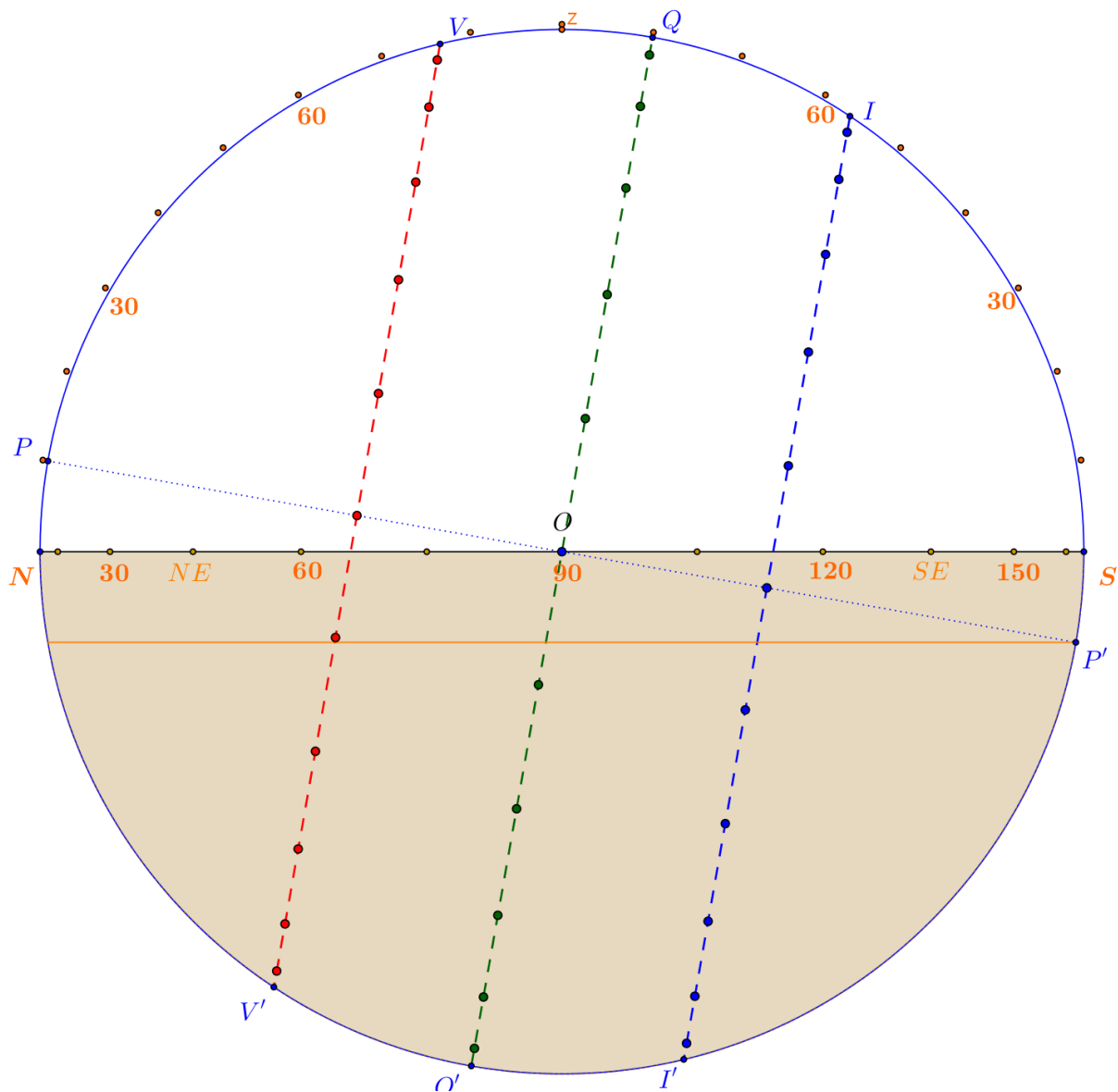
Todo lo visto hasta aquí corresponde a lo que sucede en lugares de la Tierra que tienen una latitud Norte intermedia, unos 40° . ¿Qué sucederá en otros puntos de nuestro planeta? Seguramente habrás oído hablar del Sol de medianoche. ¿Cómo puede ser que el Sol se vea a medianoche? ¿Por qué las regiones 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.

Ejercicio 6.2

Vamos a simular las estaciones en Caracas, la capital de Venezuela, cuya latitud aproximada es $\varphi = 10^\circ$ Norte. Esta sería la representación con perspectiva:



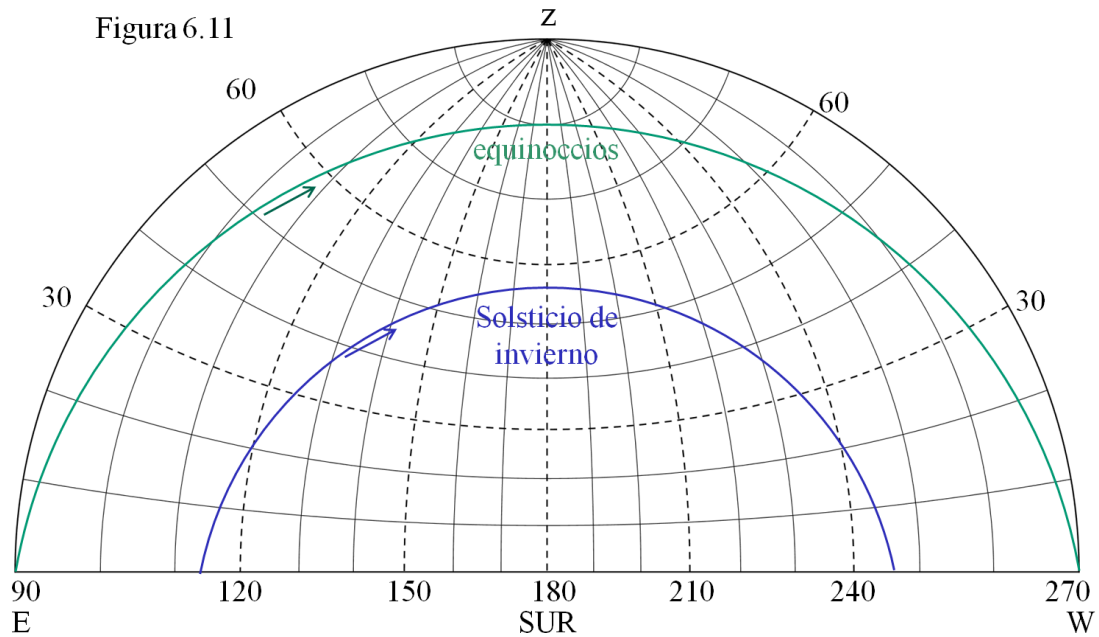
Aquí tienes la esfera celeste en sección adecuada a esa latitud:



- ¿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?
- ¿Cuánto dura el crepúsculo el 21 de marzo?

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

Y aquí tienes lo que se ve desde allí mirando hacia el Sur:



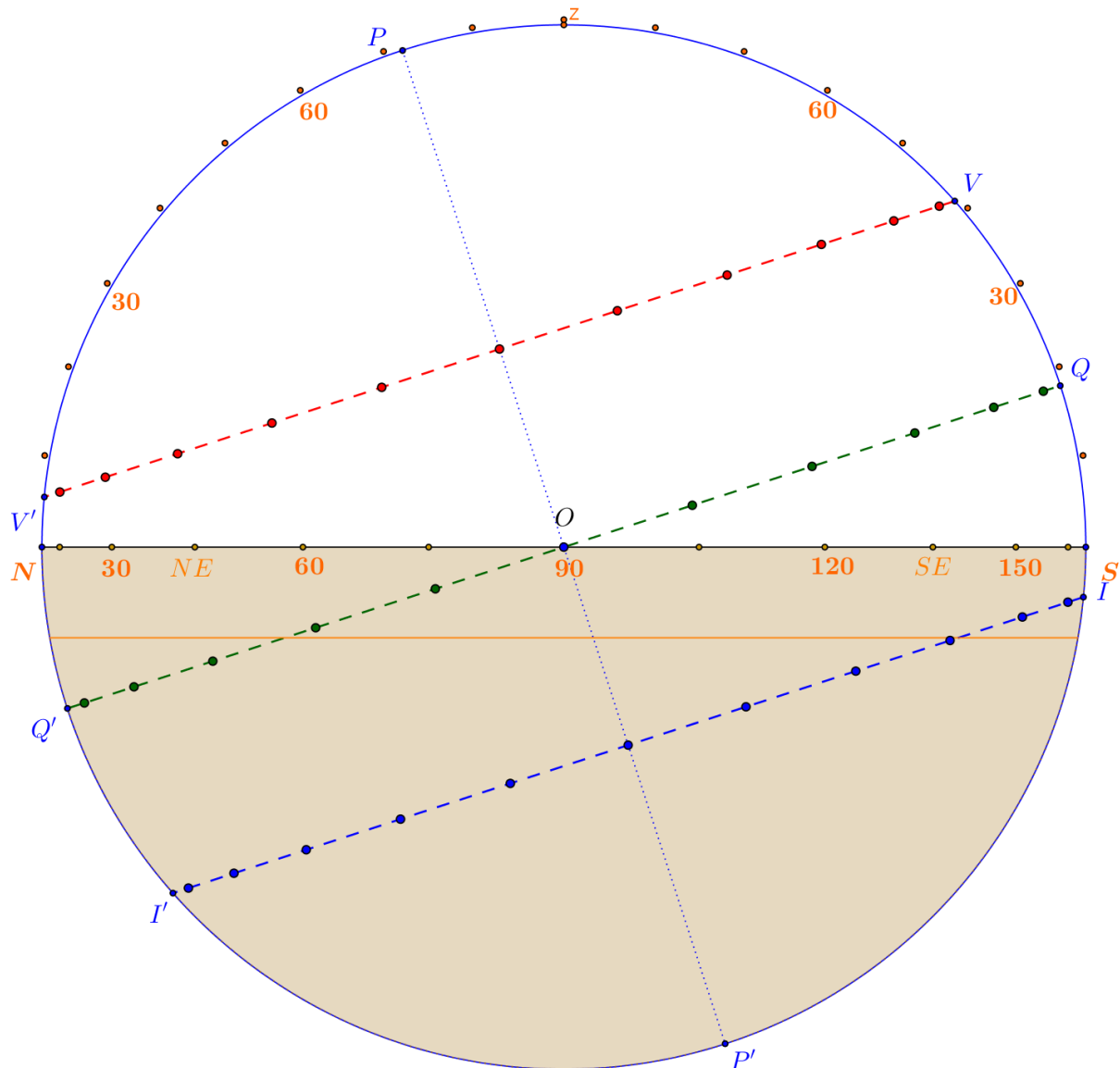
Ejercicio 6.3

El Cabo Norte cuya latitud es $\phi = 72^\circ N$ 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.



https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/31A04Etn9L._AC_.jpg

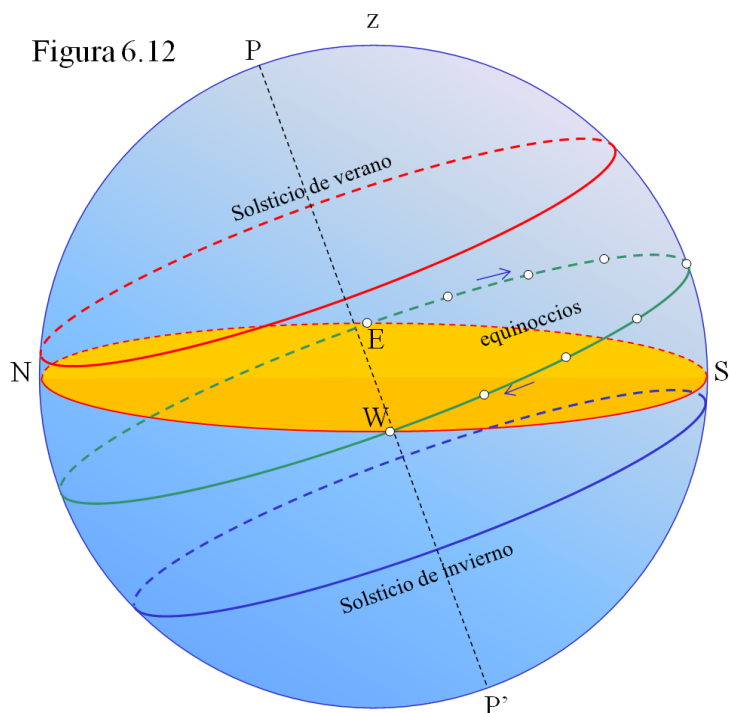
Esta es la esfera celeste (en sección) y los paralelos más destacados del año vistos desde un punto de la superficie terrestre con una latitud $\varphi = 72^\circ \text{ N}$.



- ¿Qué ocurre el día del solsticio de verano? ¿Y el del solsticio de invierno?
- ¿Cuál es la máxima altura del sol el 22 de junio?
- ¿Y la mínima?
- Explica por qué el clima es tan frío en esas latitudes.
- ¿Cuál es la duración del día en los equinoccios?
- ¿Cuánto dura el crepúsculo en los equinoccios?
- ¿Habrá algo de claridad el día 22 de diciembre? ¿Durante cuánto tiempo?

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

Figura 6.12



Aquí tienes la esfera celeste en perspectiva para $\phi = 72^\circ \text{ N}$.

Y estos son los semicírculos de visibilidad; destaca, en el Norte, la inesperada trayectoria del Sol el día del solsticio de verano: va descendiendo pero no llega a ponerse, a medianoche llega a su punto más bajo y luego remonta el vuelo y vuelve a ganar altura.

Figura 6.13

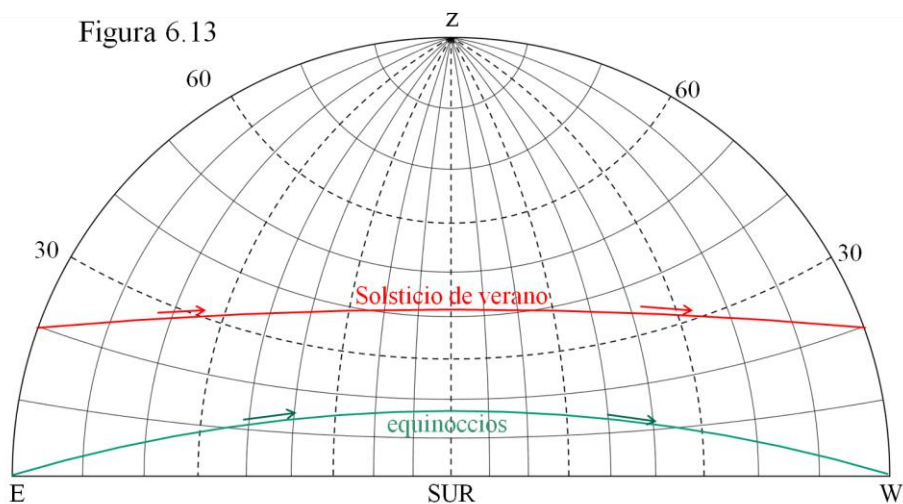
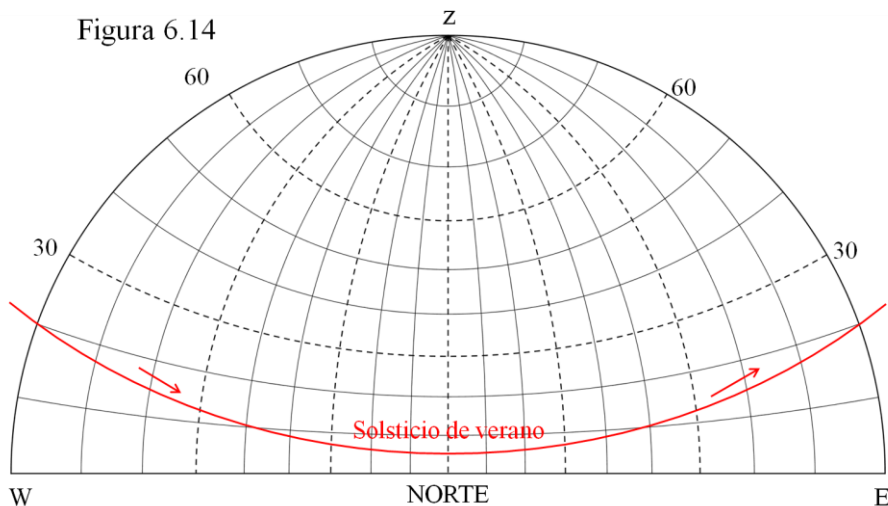
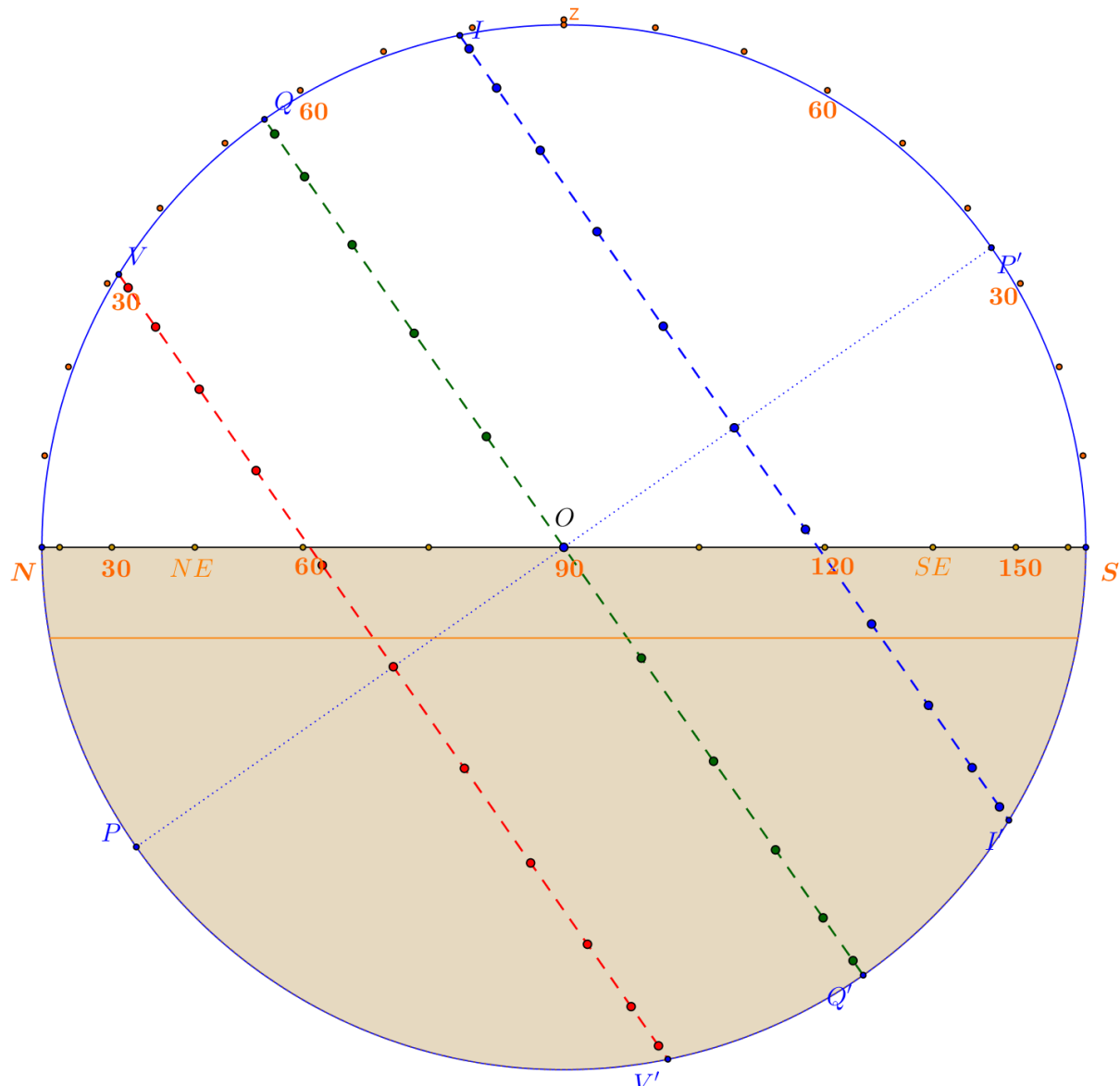


Figura 6.14



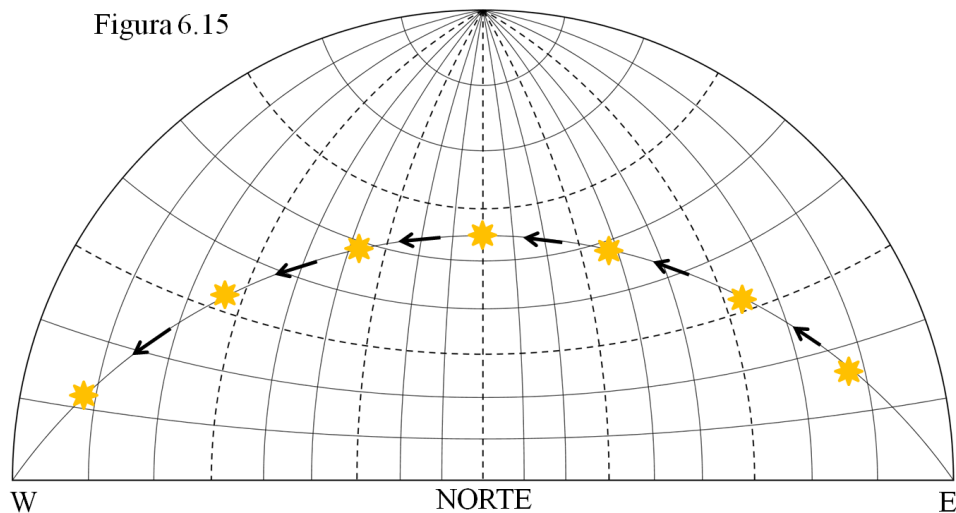
*Forcemos nuestro modelo al máximo. ¿Qué ocurrirá en Buenos Aires, cuya latitud es de 35° , pero al Sur ($\phi = 35^\circ \text{ S}$)? ¿Cómo dibujar ahora nuestra esfera celeste en sección? Pues como siempre, sólo que ahora la altura del polo norte celeste es de -35° , es decir, hay que poner el punto P 35° **por debajo** del punto cardinal Norte (con lo que el polo P' se verá 35° por encima de S). 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).*



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

Desde el hemisferio Sur muchos fenómenos astronómicos se nos presentan de forma radicalmente distinta a como que estamos acostumbrados a verlos desde nuestras latitudes septentrionales. Por ejemplo las fases de la Luna; desde allí es el lado izquierdo por el que comienza a verse iluminada e igualmente el tramo menguante lo hace agrandándose progresivamente la oscuridad por su limbo izquierdo.

El avance aparente del Sol a lo largo de las horas sigue siendo de Este a Oeste, pero ahora (como para verlo tenemos que ponernos mirando hacia el Norte) esa progresión es de derecha a izquierda, al revés que como lo vemos nosotros:

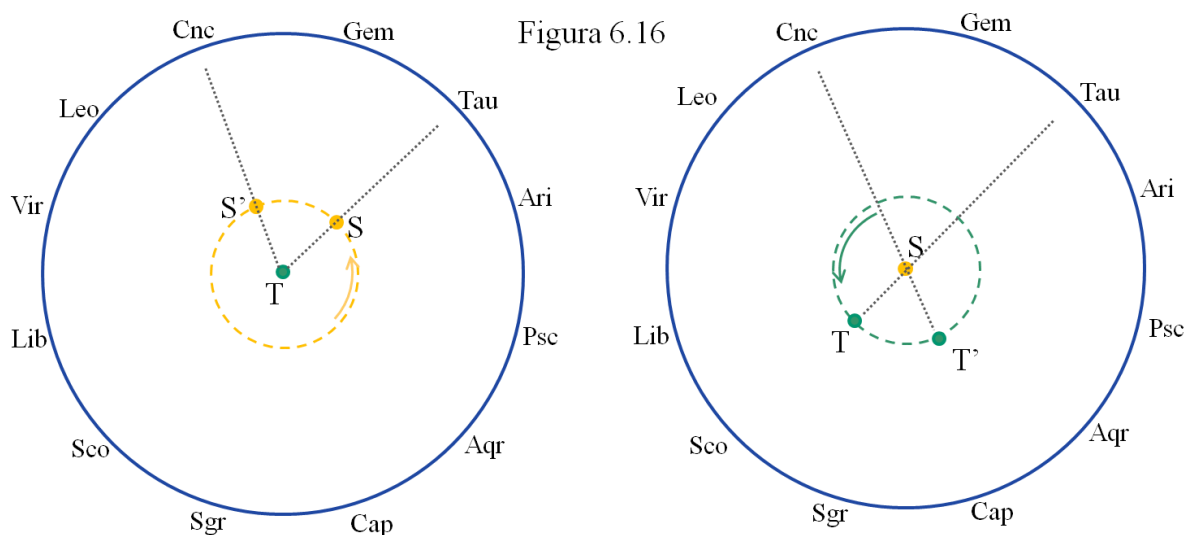


6.4 GEOCENTRISMO Y HELIOCENTRISMO

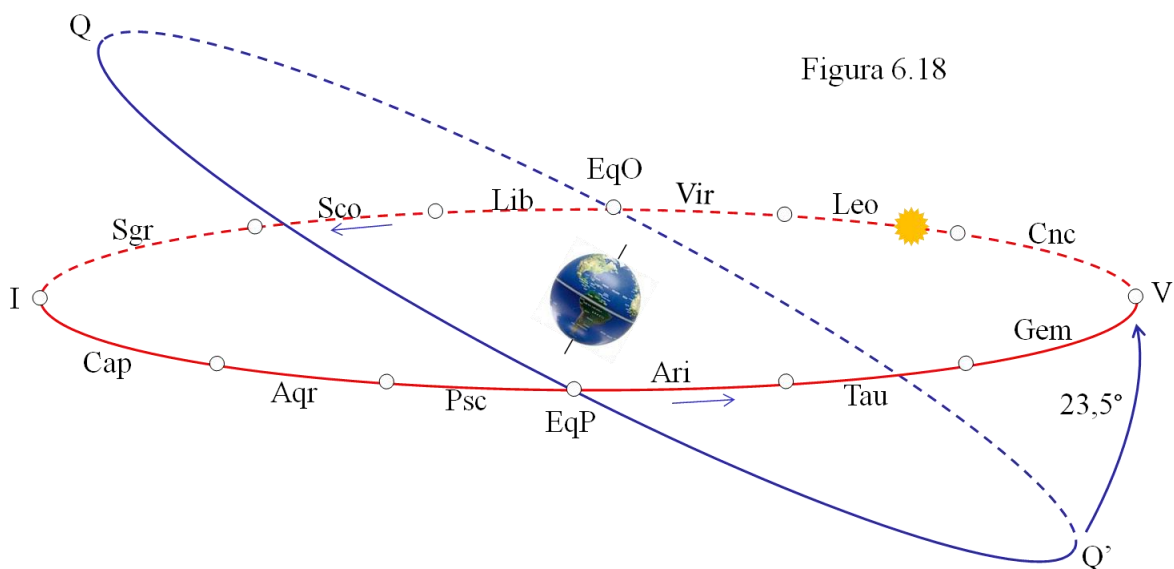
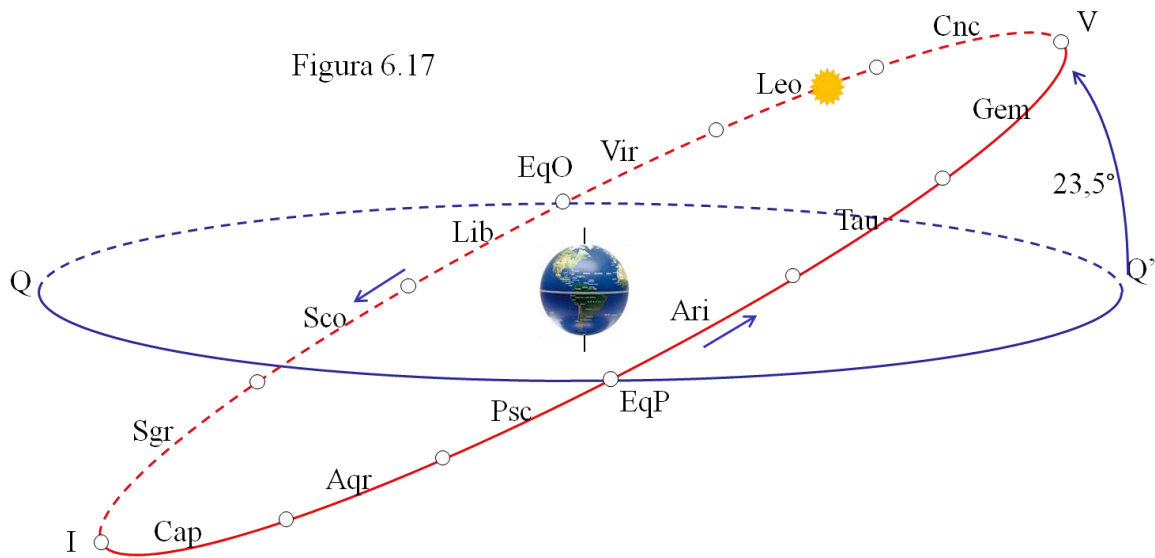
Todas las explicaciones dadas adoptan un punto de vista geocéntrico. Podríamos repetir aquí todo lo dicho en el apartado final “Antiguos y modernos” del tema 4. El modelo geocéntrico de las dos esferas sigue siendo válido desde el punto de vista de la comprensión y explicación de los movimientos y es 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?

En la figura 6.16 se muestra la **equivalencia** visual entre las dos versiones. Si fuera el Sol el que describiese una trayectoria alrededor de la Tierra (izquierda), está claro que veríamos lo que vemos: que va pasando delante de las constelaciones del Zodíaco en su orden habitual recorriendo exactamente la línea central de ese cinturón: la eclíptica.

En realidad, la Tierra describe una órbita en torno al Sol (derecha) situada en el plano de la eclíptica; por lo cual desde ella nos parece ver que el Sol recorre el centro del cinturón zodiacal. En la posición T lo vemos delante de Tauro; en la T', delante de Cáncer; etc.

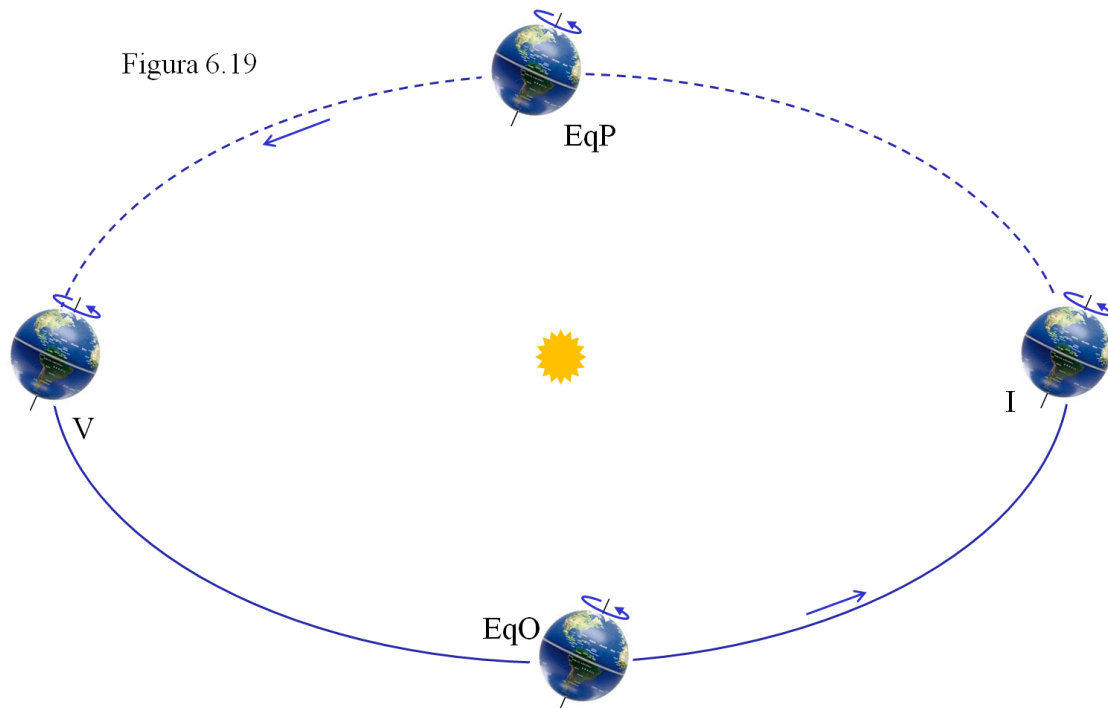


La inclinación del Zodíaco respecto al ecuador o, como se dice más técnicamente, la **oblicuidad** de la eclíptica, es equivalente a la inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de la eclíptica. Todo depende de cómo se realicen los dibujos. En el primero (figura 6.17) se ha situado el ecuador horizontal y el eje de la Tierra vertical, con lo que la eclíptica se representa inclinada.



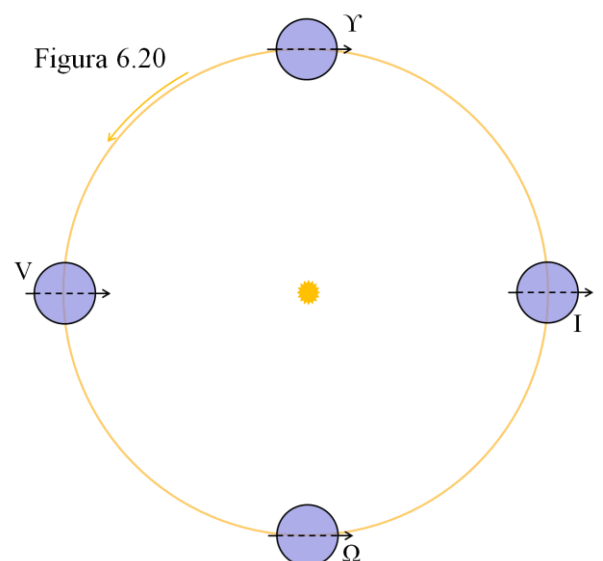
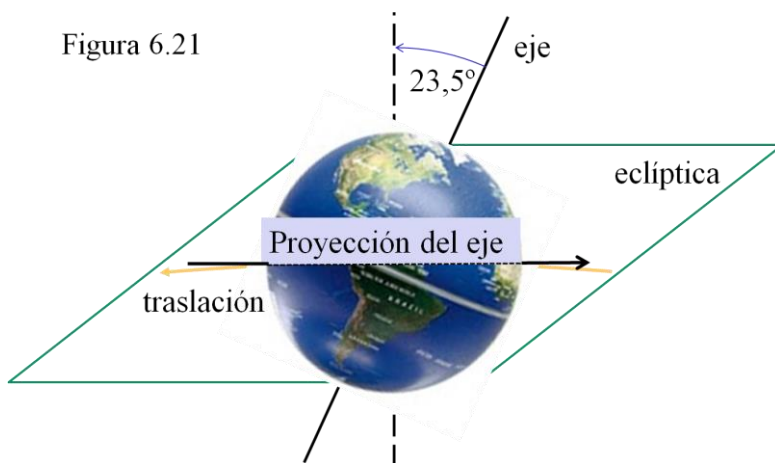
La figura 6.18 es exactamente la misma, pero vista considerando como referencia horizontal el plano de la eclíptica, con lo que el eje de la Tierra queda ahora inclinado en el mismo ángulo ($23^{\circ}30'$) con respecto al dicho plano. Ambos dibujos siguen siendo geocéntricos.

Esta figura, finalmente **heliocéntrica**, muestra 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 en el plano de la eclíptica. Es importante advertir que la dirección del eje de la Tierra en el espacio es siempre la misma.



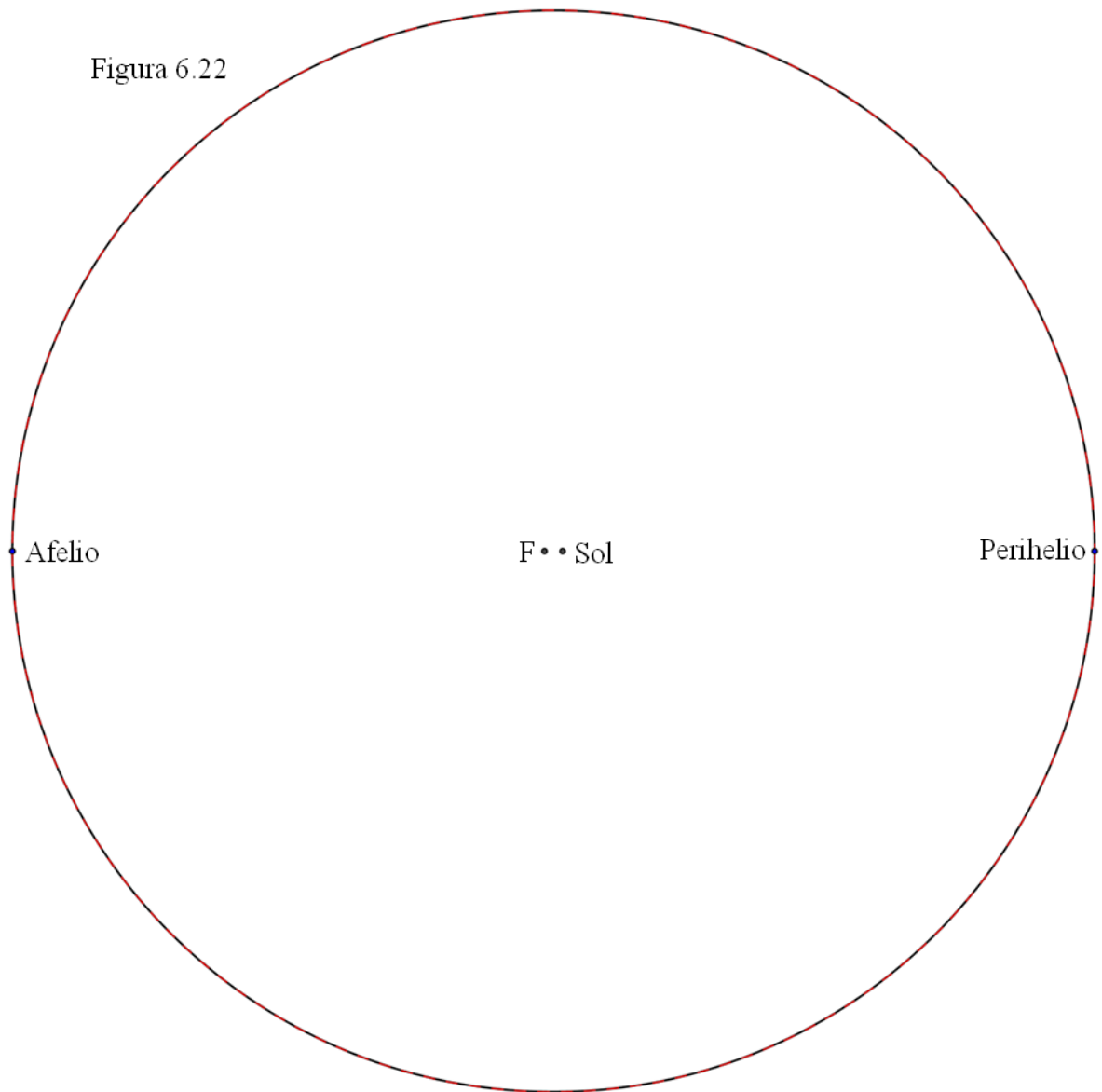
Por eso en la posición V (de todas las figuras) el Sol está por encima del ecuador terrestre, será verano en el hemisferio norte y, por mucho que rote la Tierra en torno a su eje, el Sol estará presente las 24 horas sobre el polo norte y zonas cercanas. En la posición I las tornas han cambiado: será verano en el hemisferio sur y habrá noche de 24 horas en el círculo polar ártico. Al estar dibujada en perspectiva puede dar la impresión de que la Tierra está mucho más cerca del Sol en los equinoccios que en los solsticios. Nada más lejos de la realidad. Si pudiéramos contemplar la órbita de la Tierra desde “arriba” veríamos esto:

Prácticamente circular, la órbita está jalonada por los solsticios (V, I) en los que la proyección del eje de la Tierra (la flecha) apunta hacia el Sol (en el de verano) o en sentido opuesto (en invierno) y equinoccios (Υ , primavera y Ω el de otoño) en los que esta proyección es tangente a la órbita.



En realidad la órbita terrestre es una elipse de muy poca excentricidad (0,01671) que está dibujada en negro; se ha superpuesto una circunferencia con trazo rojo discontinuo que es absolutamente indistinguible de la trayectoria terrestre.

Figura 6.22

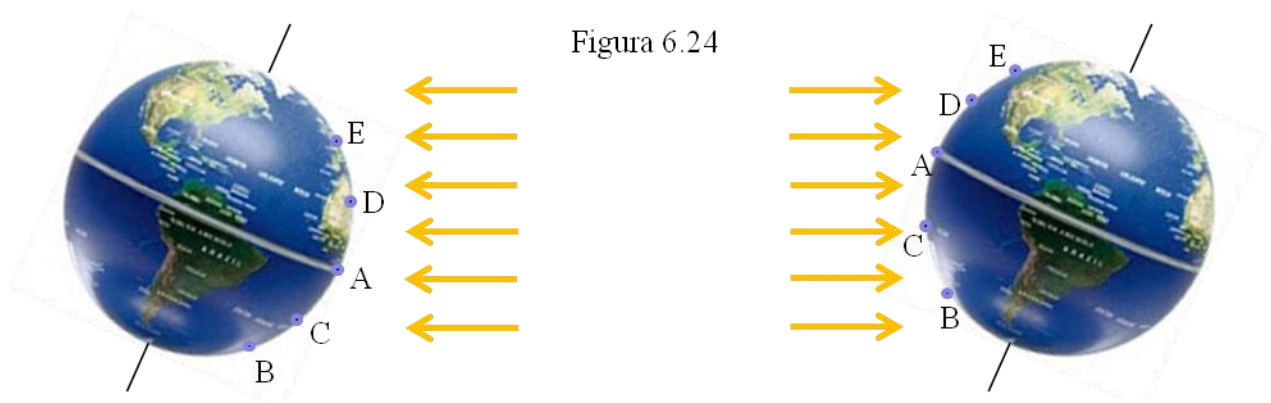
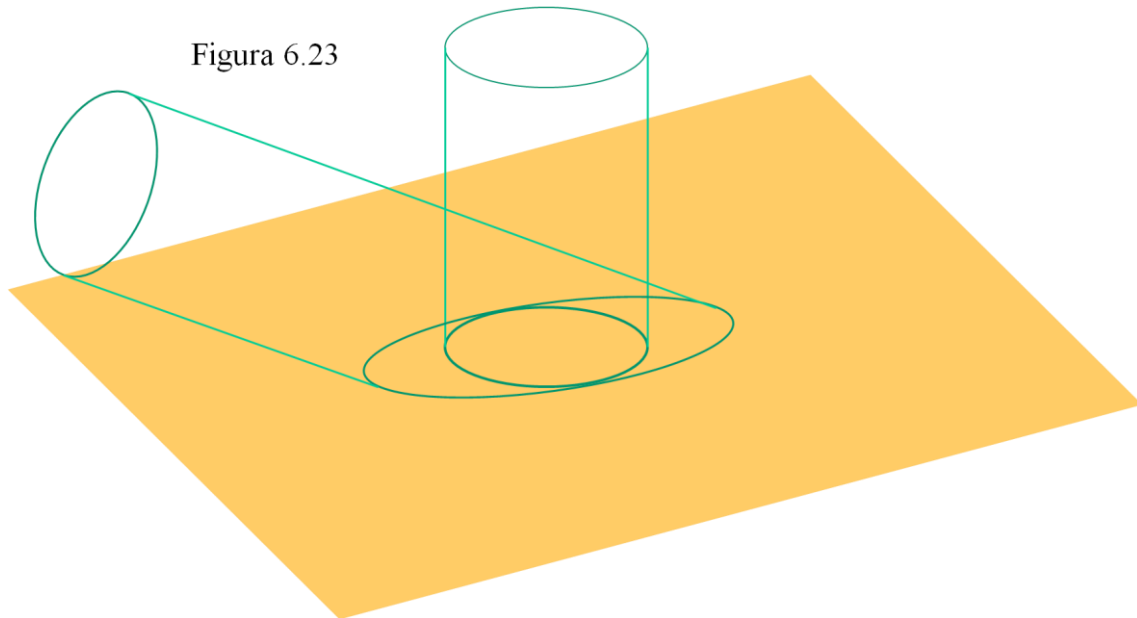


Lo que sí se aprecia levemente es la posición algo excéntrica del Sol, situado en uno de los focos de la elipse (el otro sería F), que es la causa de que la distancia Tierra-Sol sí varíe algo:

Mínima	Media	Máxima
Perihelio		Afelio
147.100.000 km	149.600.000 km	152.100.000
4 enero		4 julio

La Tierra está un poco más cerca del Sol ¡en enero! que es cuando hace más frío. ¿Pero cómo es posible? Y en julio en cambio estamos más lejos. Al revés de lo que comúnmente se cree.

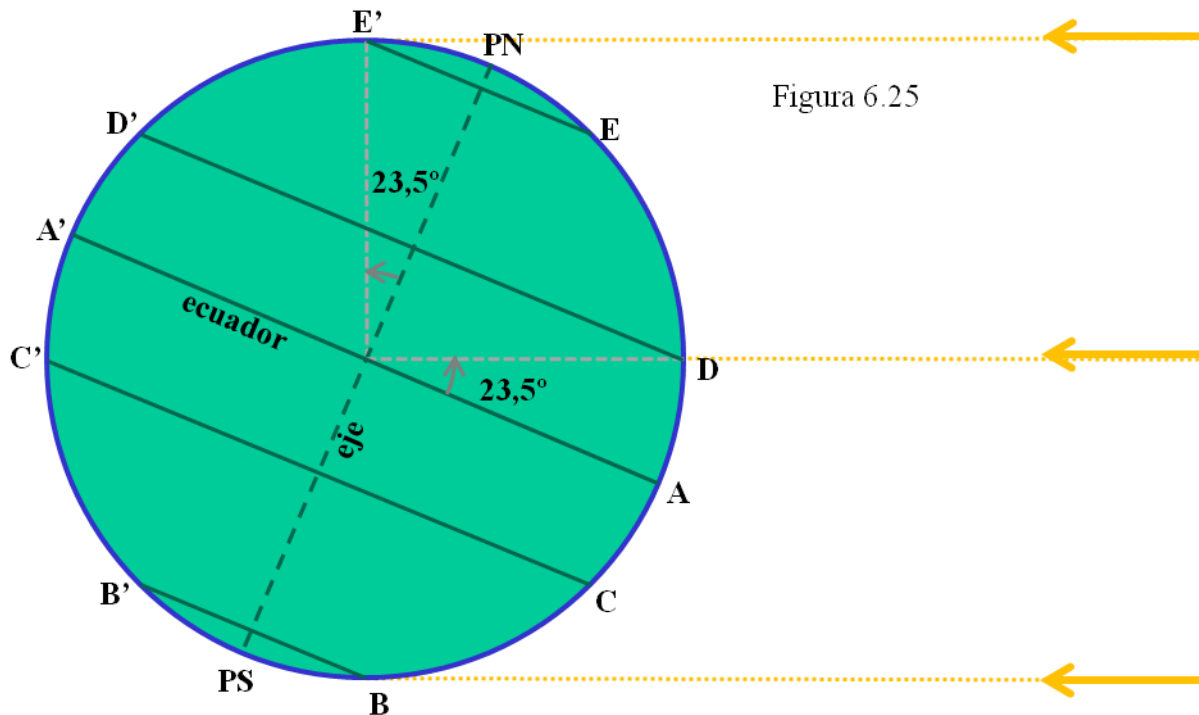
La causa de las estaciones no es la mínimamente variable distancia sino la inclinación con la que los rayos del Sol incidan sobre la superficie terrestre. Imaginemos que por ese cilindro de la figura llegan 100 fotones. Si su posición es vertical esos 100 fotones son los encargados de calentar el círculo central, pero si está inclinado 60° los mismos tienen que ocuparse de una superficie mucho mayor y por tanto la calentarán bastante menos.



El 22 de junio (figura 6.24 izquierda) el Sol cae a plomo sobre D, bastante vertical sobre A y sobre E (donde será verano) pero algo oblicuo en C y casi horizontal en B sumergido en pleno invierno. El polo Norte estará permanentemente iluminado aunque los rayos allí llegan rasantes y el Sur quedará en la oscuridad total.

La situación se invierte el 21 de diciembre (derecha); ahora será invierno en el hemisferio Norte y verano en el Sur. La zona cercana al ecuador siempre recibe la iluminación solar bastante vertical, siempre hará calor y por eso se conocen como tórridas. En los casquetes polares el Sol, cuando está visible, incide muy oblicuamente, nunca calentará mucho y allí hará siempre un frío intenso. Las zonas intermedias experimentan mayores cambios entre una estación y otra y se conocen como templadas.

Este esquema muestra la situación en el solsticio de verano y permite entender cuáles son los paralelos terrestres que destacan de forma natural debido a la oblicuidad de la eclíptica:



Al punto E' llegan los rayos del Sol tangentes, pero llegan. ¿Cuál es la latitud de E'?

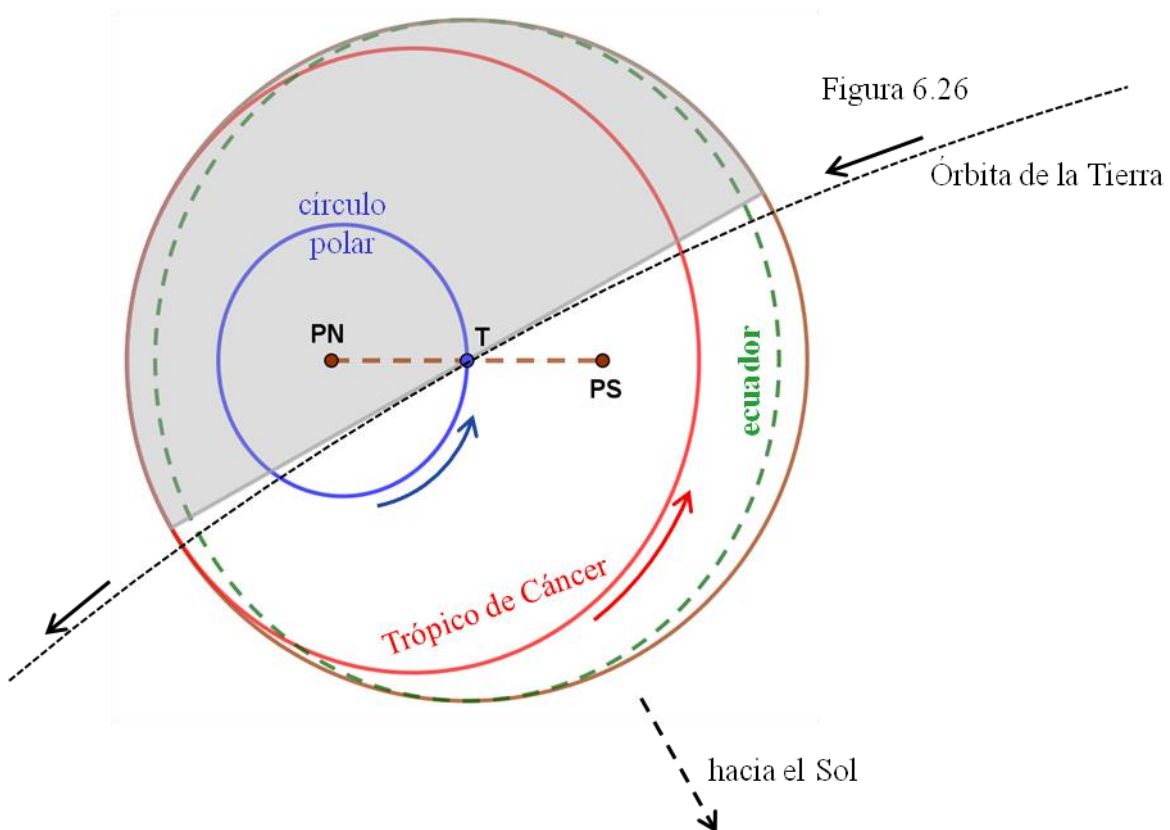
El arco $E'PN = 23,5^\circ$, así que $A'E' = 90^\circ - 23,5^\circ = 66,5^\circ$ que será la latitud del paralelo E'E conocido como **círculo polar ártico**. Marca el límite de la zona terrestre en la que el Sol es visible las 24 horas ese día.

De forma simétrica el paralelo B'B, el **círculo polar antártico**, tendrá una latitud de $66,5^\circ$ Sur y en todo el casquete desde ese círculo hacia el Sur el Sol permanecerá totalmente invisible el 22 de junio.

En D los rayos solares inciden perpendicularmente, es decir verán desde allí el Sol en el cenit. Su latitud (el arco AD) tiene que ser $23,5^\circ$ N. Así se define el **trópico de Cáncer**, el paralelo D'D desde el que se puede ver el Sol en el cenit. Se llama así porque en esa fecha (22 de junio) nuestra estrella estaría situada en la constelación de Cáncer.

El día 22 de diciembre los rayos del Sol seguirían siendo paralelos pero vendrían ahora desde el lado izquierdo. Y ese día donde el Sol puede verse arriba del todo sería el punto C', en el hemisferio Sur, y su paralelo C'C es el **trópico de Capricornio** (porque en ese momento el Sol se situaría delante de esta constelación) cuya latitud es de $23,5^\circ$ S. Ese día todo el círculo polar antártico (paralelo B'B) estaría completamente iluminado por nuestra estrella.

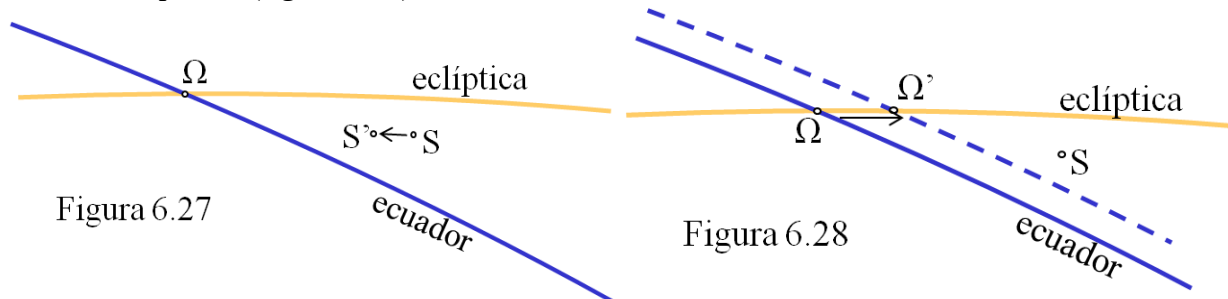
En este dibujo (figura 6.26) se muestra la Tierra y su órbita vistas desde muy por encima. T es el centro de nuestro planeta, PN y PS son los polos, la línea discontinua marrón que los une es la proyección del eje de rotación y también aparecen el ecuador, el trópico de Cáncer y el círculo polar ártico. La mitad que da la espalda al Sol se muestra sombreada en gris: allí será de noche. Esa posición corresponde más o menos al 20 de octubre. Verás que el círculo polar ártico tiene bastante menos de su mitad en la zona iluminada. Al rotar la Tierra un punto cualquiera de ese paralelo pasará más tiempo sin ver el Sol que iluminado por él, es decir, allí el día durará mucho menos que la noche. El Polo Norte (PN) estará permanentemente en sombra así como toda una pequeña zona circular a su alrededor. El trópico de Cáncer también tiene un poco más de la mitad en la zona donde no da el Sol que en la iluminada, pero esto es difícil de percibir. En cambio el ecuador sí que tiene exactamente una mitad en el día y la otra mitad en la noche.



El ecuador siempre (en cualquier fecha) va a estar dividido en dos partes iguales por el segmento que separa la parte iluminada de la nocturna. Esto explica por qué en cualquier punto de latitud $\varphi = 0^\circ$ el día y la noche duran siempre 12 horas, en cualquier época del año.

6.5 LA PRECESIÓN DE LOS EQUINOCIOS

Hacia el año 140 a.C. el gran astrónomo Hiparco de Nicea hizo un descubrimiento sorprendente: comparando sus observaciones con las hechas por otro astrónomo griego (Timocaris) unos 150 años antes detectó que la distancia de Spica (α Vir) con respecto al equinoccio de otoño (Ω) se había reducido en dos grados. Seguía estando al sur de la eclíptica pero se había desplazado en paralelo a ella. Y con Spica todo el resto de las estrellas y constelaciones pues la figura de Virgo seguía inalterable, así como su posición relativa con respecto a las demás. Dos posibles hipótesis se plantean de inmediato: o bien Spica (y con ella toda la esfera celeste) se mueve en sentido directo (de Oeste a Este, figura 6.27) o era el equinoccio el que se desplazaba en sentido opuesto (figura 6.28).



La primera exige que toda la esfera celeste en bloque tenga un movimiento de rotación extra y sería compatible con la visión geocéntrica, mientras que la segunda supone que es el ecuador el que se desplaza y esto implica algún tipo de movimiento para la Tierra. Aunque ambas hipótesis serían compatibles con lo observado, a estas alturas ya descartamos directamente la primera y nos centraremos en comprender qué tiene que hacer nuestro planeta para explicar estos hechos.

El desplazamiento del equinoccio de otoño (Ω) arrastra el de los demás puntos destacados (los solsticios y el otro equinoccio): todos se mueven un poco en sentido horario. Y esto implica dos consideraciones:

- desde un equinoccio de primavera Y al siguiente Y' a la Tierra no le hace falta completar una traslación de 360° , sino algo menos (exageradísimo en la figura 6.29); por eso se habla de “precesión” puesto que los equinoccios y solsticios se adelantan algo. El tiempo que transcurre entre un equinoccio de primavera y el siguiente se conoce como **año trópico**, que es el que debe regir los calendarios pues nuestras vidas están reguladas por el ciclo de las estaciones. En cambio lo que hemos llamado una “traslación completa” se conoce como **año sidéreo** ya que representa la vuelta a una misma posición del Sol, visto desde la Tierra, con respecto a las estrellas.
- la orientación espacial del eje de la Tierra no se mantiene constante sino que cambia de dirección, aunque se conserva siempre el ángulo que forma con el plano de la eclíptica.

Este bamboleo del eje terrestre se ha comparado siempre con el de una peonza (figura 6.30) y se completa en unos 26.000 años, de forma que hacen falta del orden de 72 años para que los equinoccios se adelanten 1° (así que la primera estimación de Hiparco fue muy buena: 2° en 150 años) y en un año el ángulo desplazado es de apenas unos $50''$.

Figura 6.29

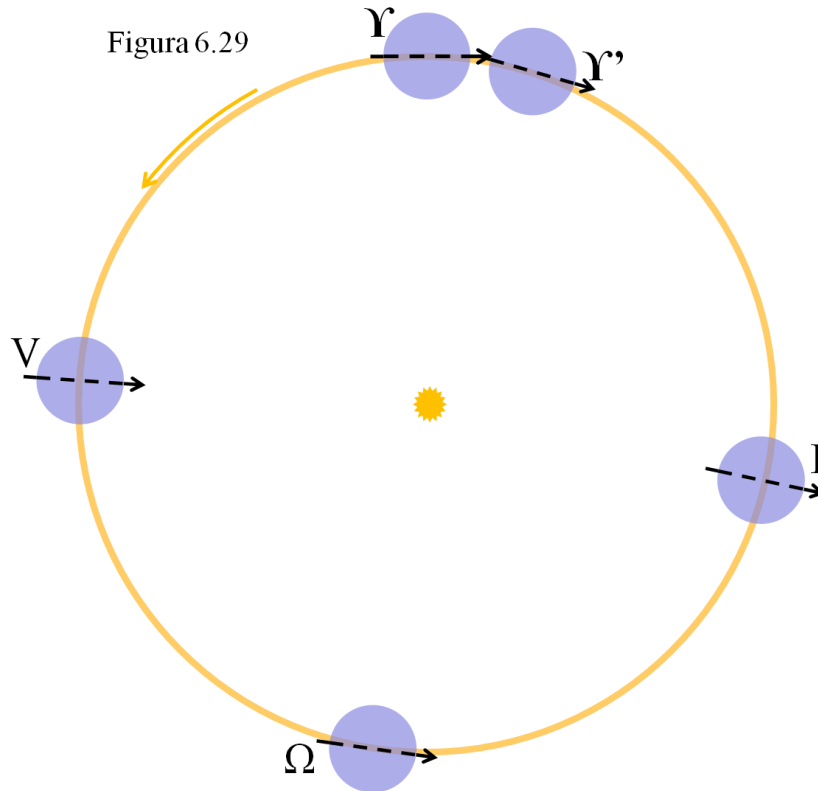
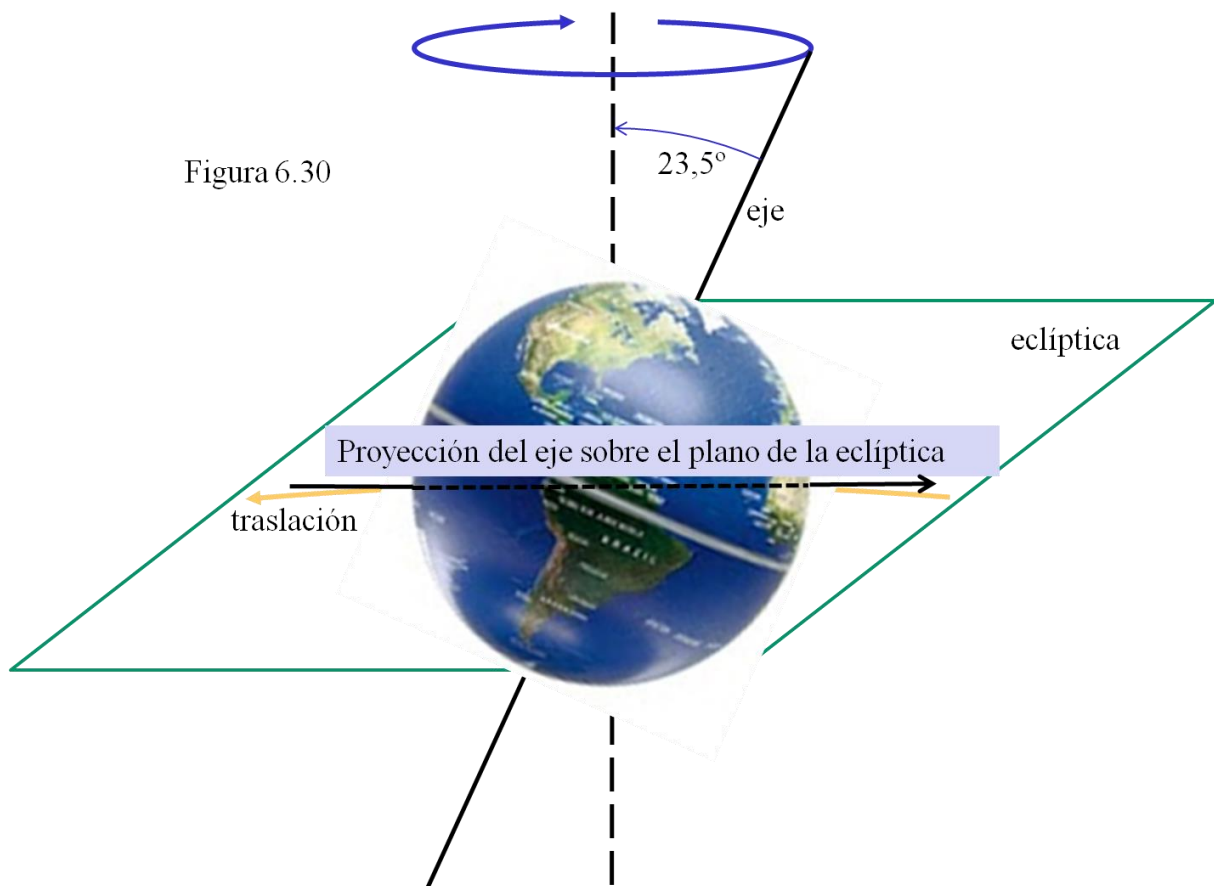
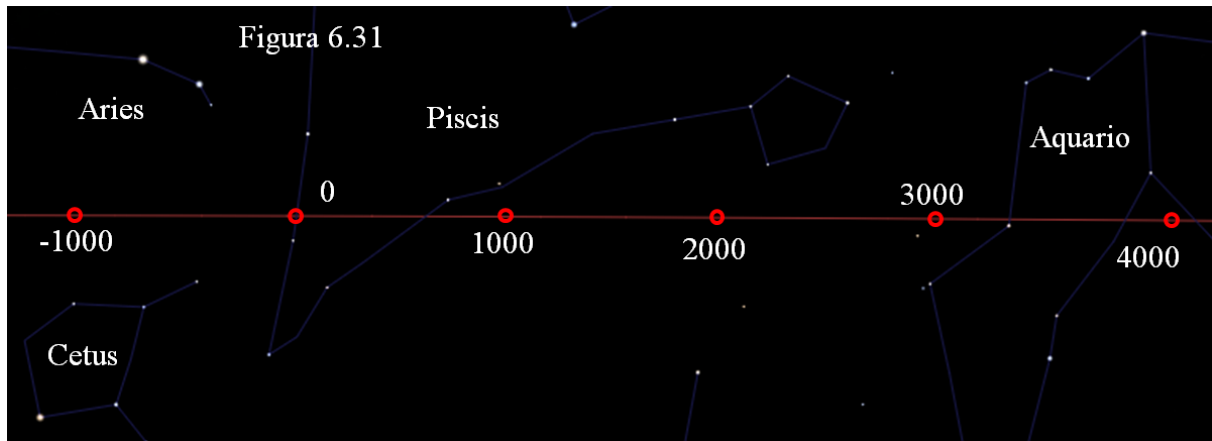


Figura 6.30



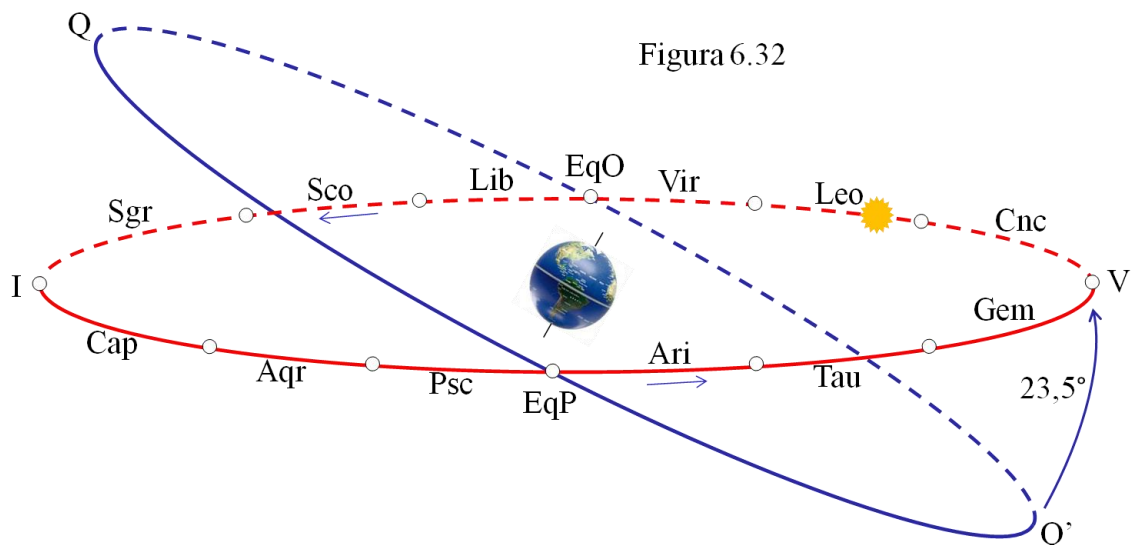
Signos y constelaciones

El discurrir del equinoccio de primavera se muestra a continuación. El año 1000 a.C. estaba dentro de los actuales límites de la constelación de Aries, pero ya el año 0 había entrado en Piscis y allí permanecerá hasta que, hacia el 2500 pase a la vecina Aquario.



Actualmente está cerca del borde derecho (occidental) de Piscis y esa es la posición del Sol el 21 de marzo; a lo largo de un año nuestra estrella irá recorriendo la eclíptica pasando por delante de las constelaciones zodiacales; algunas son muy grandes (como Piscis, Leo, Virgo) y en ellas se demorará más de un mes; por el contrario, otras más pequeñas o no tan centradas en la eclíptica (como Aries, Cáncer o Escorpio) albergarán al Sol muy pocos días. Por ejemplo, todo el mes de octubre, se situará en Virgo y, en cambio, solo pasa una semana entre las estrellas de Escorpio. Incluso, en algunos momentos (del 1 al 20 de diciembre), se encontrará dentro de los límites oficiales de Ophiuco que no tiene el status de constelación zodiacal.

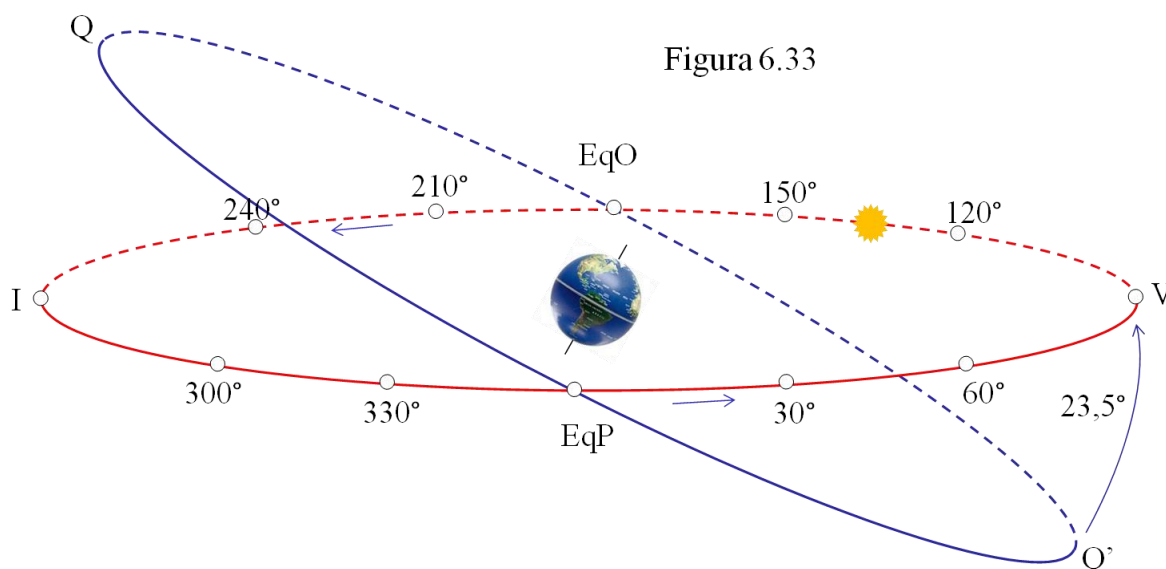
Para evitar estas desigualdades los catálogos de estrellas, durante muchos siglos, siguieron lo establecido en la obra cumbre de la Astronomía griega, el magnífico e influyente *Almagesto* de Claudio Ptolomeo (hacia el 150 d.C.). Allí se divide la eclíptica, siempre tomando como origen el equinoccio de primavera, en 12 tramos iguales (los famosos **signos** del zodiaco) todos de 30° y se asignó a cada uno el nombre de una constelación próxima. Como en aquella época el equinoccio de primavera caía entre Piscis y Aries, el primer tramo coincidía bastante con la constelación de Aries, el segundo con Tauro, etc.



Una entrada típica del catálogo ptolemaico, la correspondiente a Spica de Virgo, dice así:

Descripción	Longitud	Latitud	Magnitud
La estrella en la mano izquierda, llamada Spica	Virgo 26 $\frac{2}{3}$	2 sur	1

0° del signo de Virgo sería el punto frontera con el anterior (Leo) y 30° Vir estaría en el límite con el siguiente (Libra); Spica estaría dentro del signo de Virgo pero ya muy cerca de Libra.



Para describir la posición solar ahora usamos un ángulo, la **longitud eclíptica** que varía de 0 a 360°, contada desde el equinoccio de primavera (0°) en sentido directo; el solsticio de verano tendrá 90° de longitud, el 22 de septiembre 180° y el 22 de diciembre 270°.

En términos modernos la longitud eclíptica que le asigna Ptolomeo a Spica sería de 176° 40' pues Virgo es el sexto tramo (entre 150 y 180°) y $150^\circ + 26 \frac{2}{3} = 150^\circ + 26^\circ 40' = 176^\circ 40'$. Esta tradición pervive en los llamados signos del zodiaco de todos conocidos y ampliamente utilizados en astrología. Pero la precesión hace que todo se haya desplazado desde entonces, más o menos, unos 30°, de forma que a alguien nacido el 5 de junio de 1980 se le adjudica el signo zodiacal de Géminis (del 22 de mayo al 22 de junio) pero ese día el Sol estaba entre los cuernos de Tauro. En general hay un desfase de un signo y éstos no coinciden ahora con las constelaciones del mismo nombre.

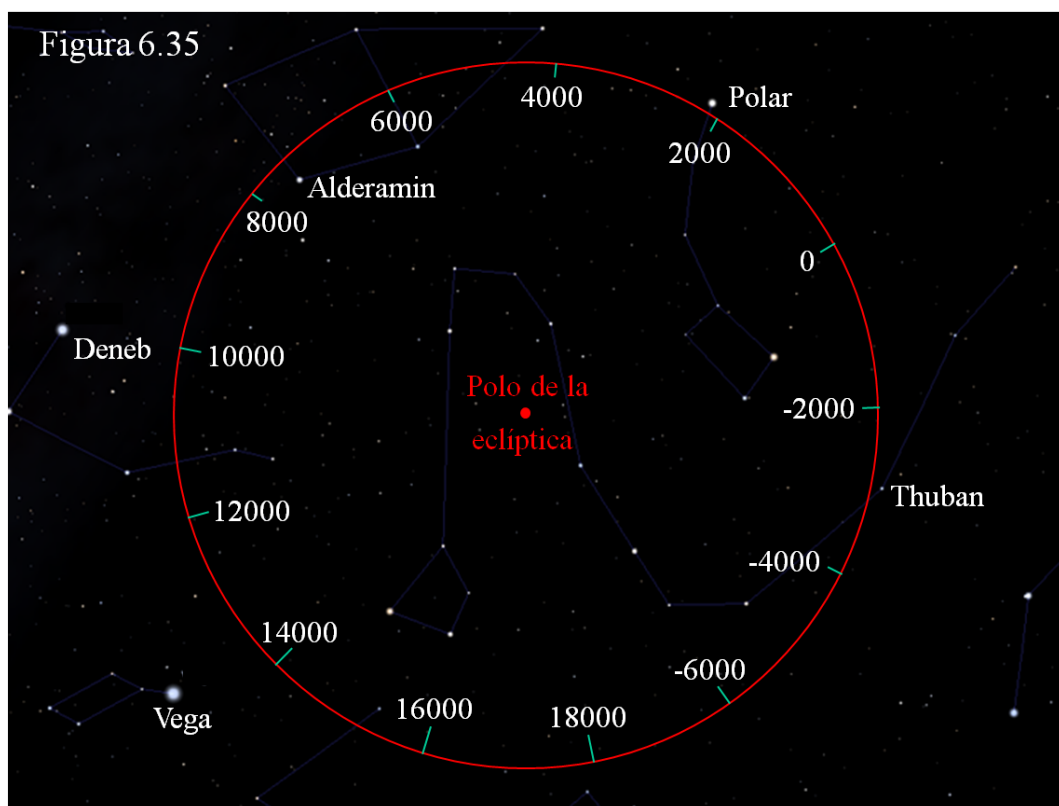
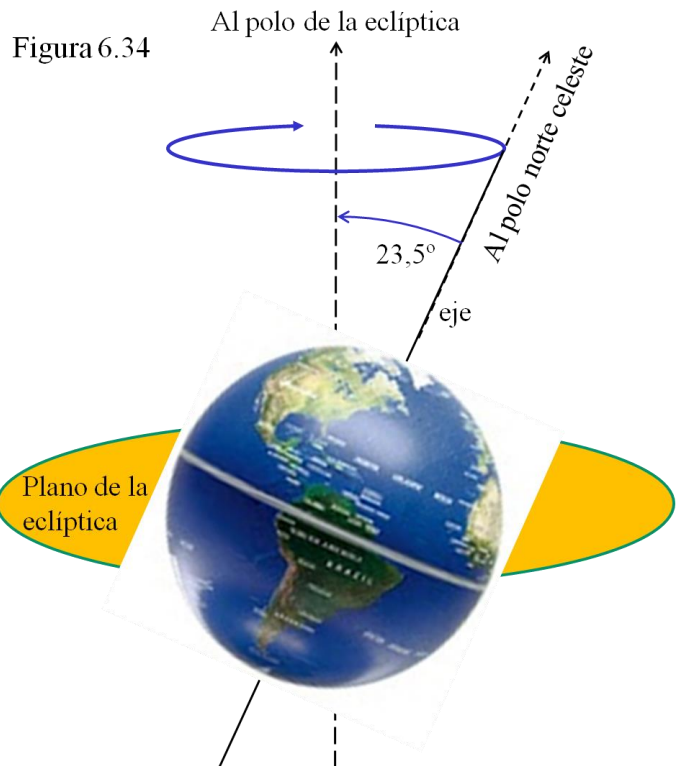
Ejercicio 6.5

Seguro que sabes cuál es tu signo del zodiaco. Con ayuda del planisferio averigua la posición aparente del Sol el día de tu nacimiento. Comprueba si está o no en la constelación del mismo nombre que tu signo del zodiaco. Lo más probable es que se encuentre en la anterior.

Estrella polar

Como el eje de rotación terrestre oscila como una peonza, su prolongación (el polo Norte celeste) no alcanza a la esfera celeste en una estrella determinada, sino que se desplaza a lo largo de los siglos. Lo que sí permanece invariable es la eclíptica y, en consecuencia, la dirección perpendicular a ella, hacia su polo que se sitúa en la constelación de Draco.

El **recorrido** del polo Norte celeste se recoge en la figura 6.35. El punto rojo central es el polo de la eclíptica, centro de esa trayectoria. Nosotros tenemos la suerte de que en estas fechas disponemos de una estrella bastante brillante (de 2ª magnitud, la α UMi) muy cercana a ese recorrido; ahora mismo el polo está a unos 40' de ella y seguirá acercándose hasta que el 2100 se hallará a menos de 30' para irse alejando después.



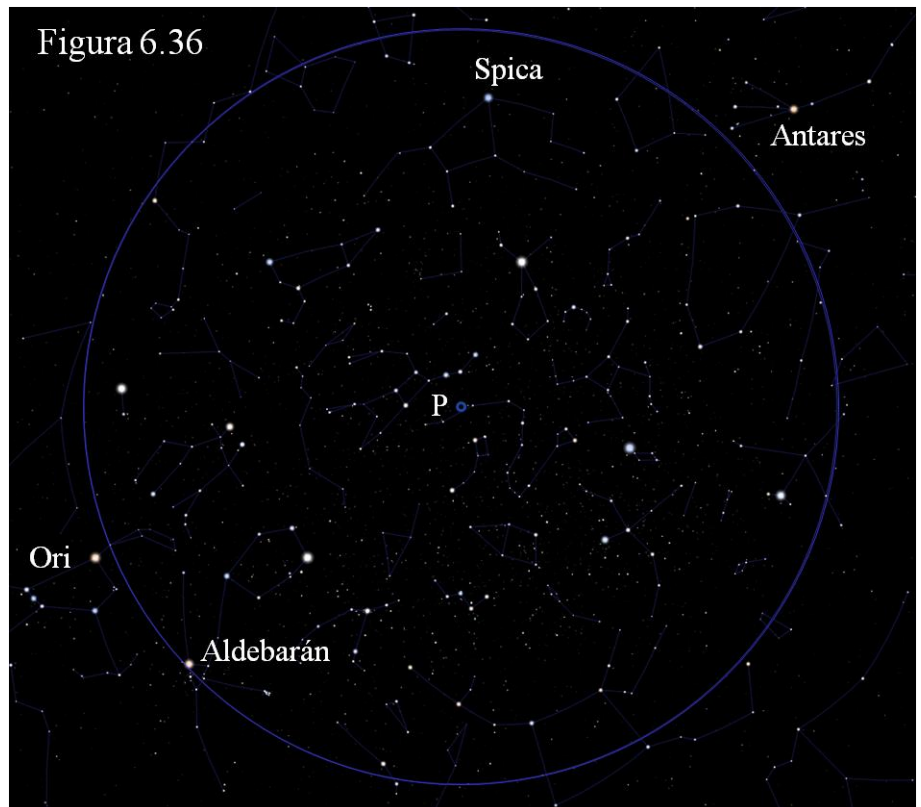
Hacia el año 3000 a.C. la estrella polar era Thuban (α Dra) y así fue reconocido, según parece por los documentos del Egipto faraónico. Para el 7500 de nuestra era ese papel destacado le corresponderá a Alderamin, la α de Cefeo y mucho después podrían utilizarse Deneb o Vega.

Arqueoastronomía

El ecuador celeste es un círculo máximo a 90° del polo, por lo que si éste cambia de posición también lo hará aquél. Dicho de otro modo, al cambiar la dirección del eje de rotación terrestre su ecuador también irá basculando y con él su extensión hasta la esfera celeste. En la figura 6.36 aparece la situación del ecuador celeste el año 2000 a.C.

Orión estaba toda ella por debajo del ecuador cuando en la actualidad la mitad de la figura queda por encima, mientras Spica (que ahora tiene $\delta = -11^\circ$) entonces tenía declinación Norte y Antares, aunque continuaba en el hemisferio Sur se situaba mucho más cerca del ecuador que en la actualidad. Es decir, que la declinación de las estrellas varía por efecto de la precesión. Aldebarán hoy día tiene una declinación de unos 16° N y por tanto saldrá no por el este sino algo hacia el Norte. En cambio hace 4.000 años se encontraba prácticamente en el ecuador y salía casi exactamente por el Este y su ocaso ocurría justo por el punto cardinal Oeste.

Algunos monumentos antiguos tienen una clara orientación astronómica, como las tumbas de corredor de Los Millares (Almería) cuyo eje parece dirigirse hacia el orto de alguna estrella muy brillante (Sirio, Rigel, Proción, Betelgeuse o Aldebarán). Pero ese orto (de Sirio, por ejemplo) cambia de orientación (de acimut) con el tiempo y solo coincidirá con el marcado por el eje de la tumba en una época determinada. La Astronomía ofrece así una ayuda a la datación de los restos arqueológicos.



http://ies.rosachacel.colmenarviejo.educa.madrid.org/gallery2/main.php?g2_itemId=93

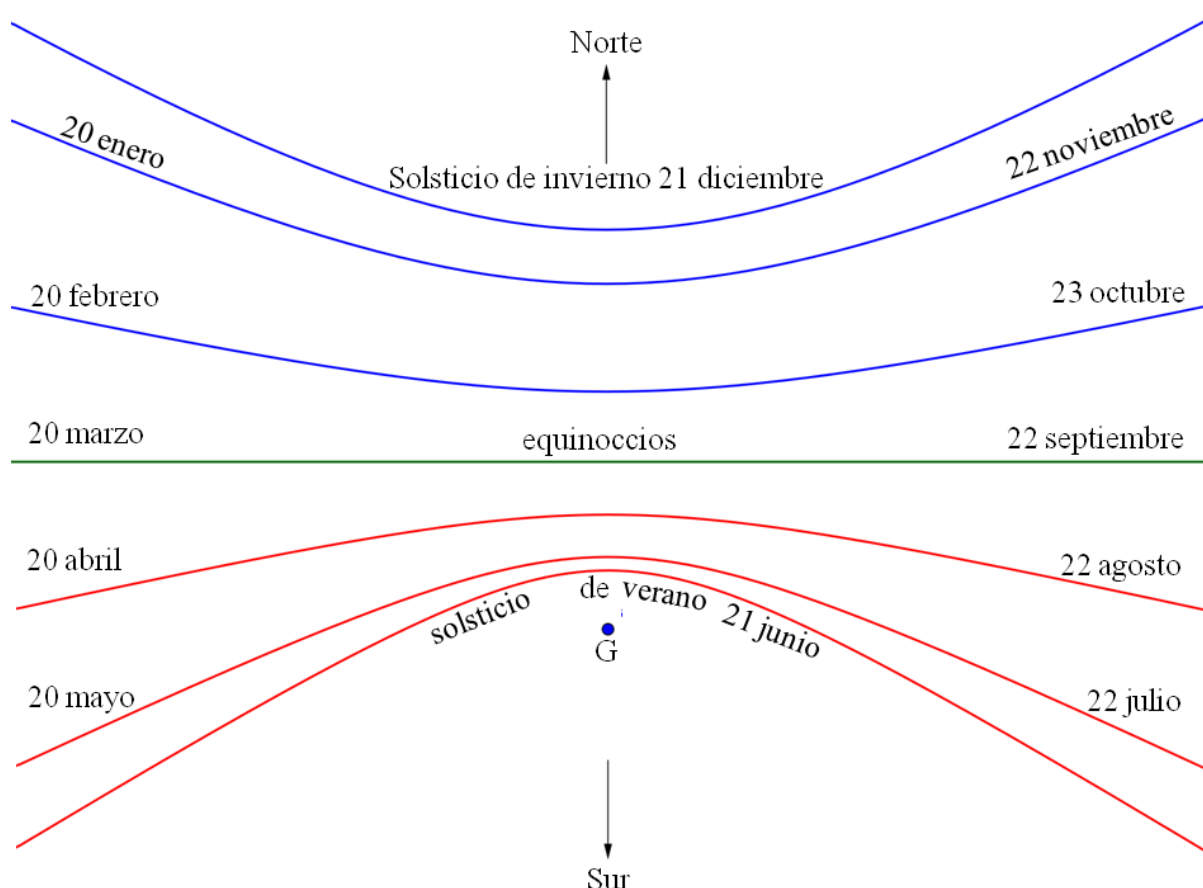
6.6 TRABAJOS ESCOLARES

Las estaciones en el gnomon

Como ya anticipamos en el tema 2, el ciclo de las estaciones puede recogerse fácilmente con el gnomon. Hay que anotar la línea que describe el extremo de la sombra en diversos días a lo largo del año. Lo ideal sería hacerlo una vez al mes, los días 20 o alguno próximo. Cada día se puede marcar de hora en hora, como mínimo.

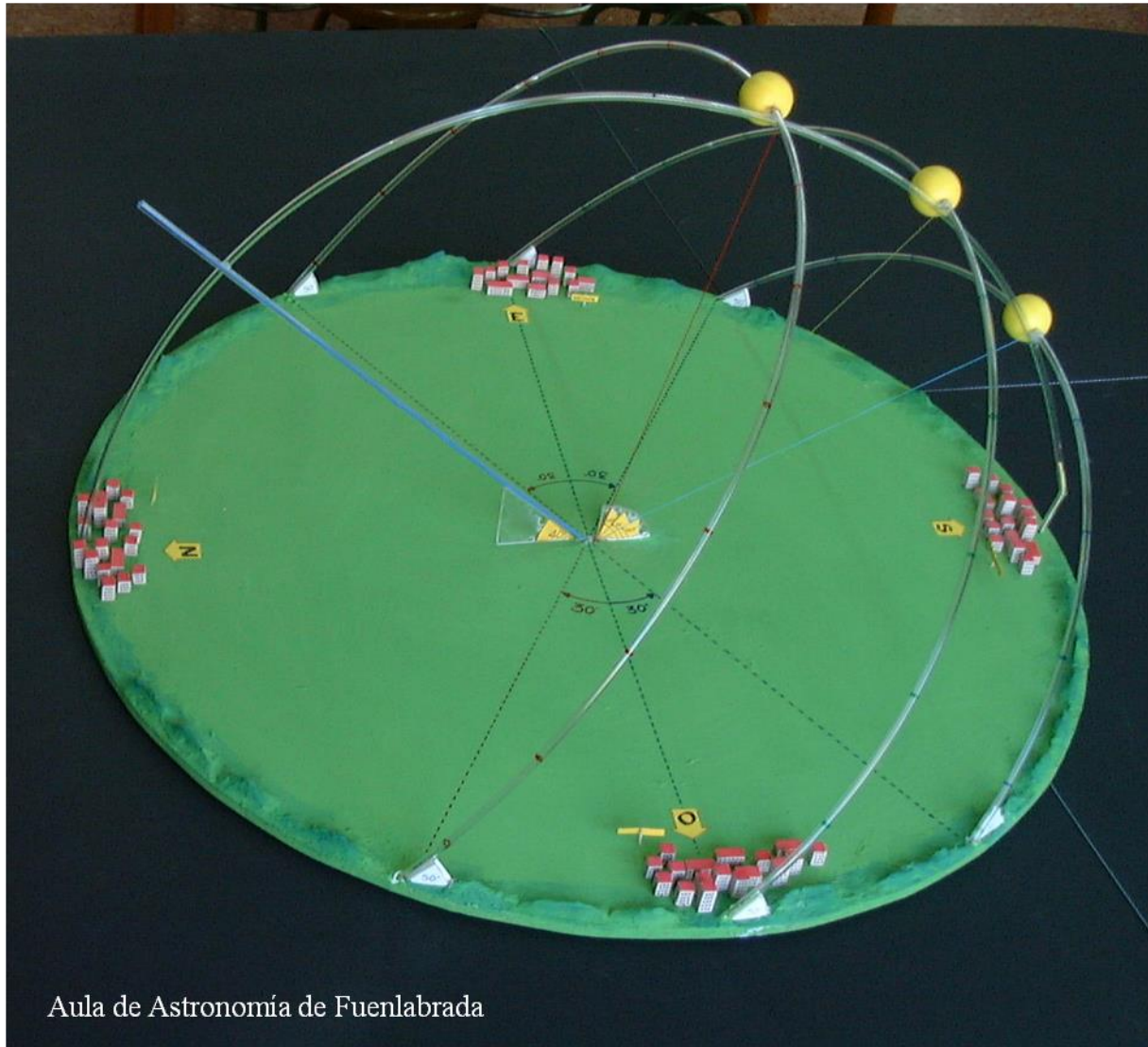
Lo que es fundamental es que la colocación del gnomon sea la misma todos los días. Como ya dijimos una buena solución es marcar en el terreno (el patio de recreo o donde se vaya a realizar la experiencia) el contorno del tablero para que así pueda quitarse y volverse a poner otro día pero en la misma posición.

La figura siguiente muestra el resultado que se obtendría para un lugar de latitud $\varphi = 40^\circ$ N. Para otras latitudes próximas habría mínimas diferencias. G es el punto donde se sitúa el estilete, el clavo vertical, cuya sombra estamos analizando.



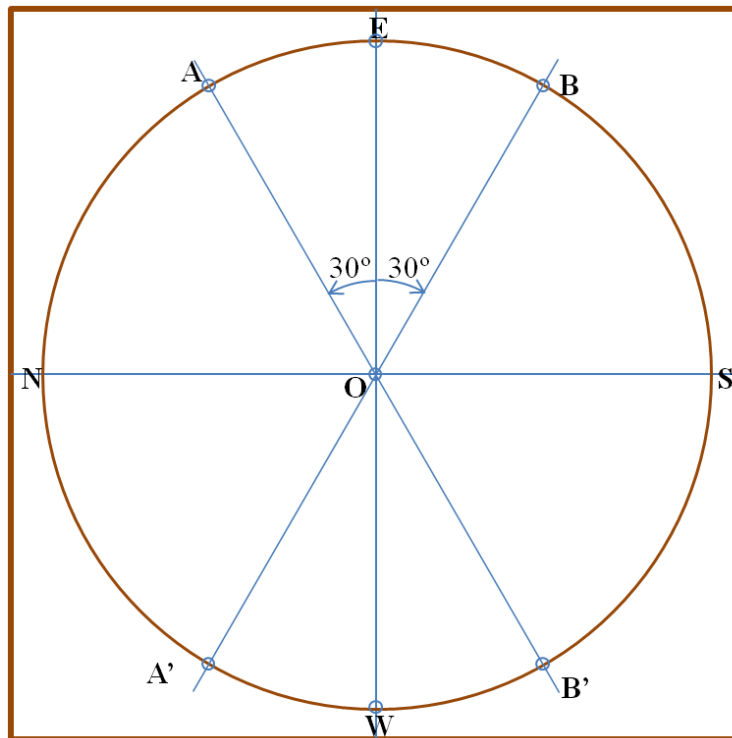
Maqueta con los recorridos diarios del Sol en solsticios y equinoccios

Sobre un tablero cuadrado (o aún mejor recortado en círculo) que va a representar nuestro horizonte queremos colocar los paralelos que parece describir el Sol (vistos desde un lugar de latitud $\varphi = 40^\circ$ N) en los días señalados del ciclo de las estaciones: solsticios y equinoccios.

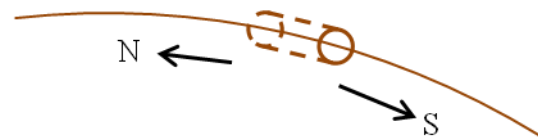
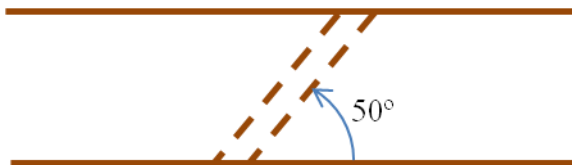


El tablero puede ser una plancha de aglomerado grueso, de 19 mm de espesor, de 45x45 cm. El proceso constructivo podría ser éste:

- 1) Marcamos el centro O (el observador) trazando dos diámetros perpendiculares.
- 2) Dibujamos una circunferencia de centro O y radio $R = 20$ cm.
- 3) Señalamos los puntos cardinales.
- 4) Dibujamos dos diámetros que formen 30° con el eje Este – Oeste señalando los puntos A, A', B, B'. Estos serían los puntos de orto y ocaso del Sol en los solsticios.



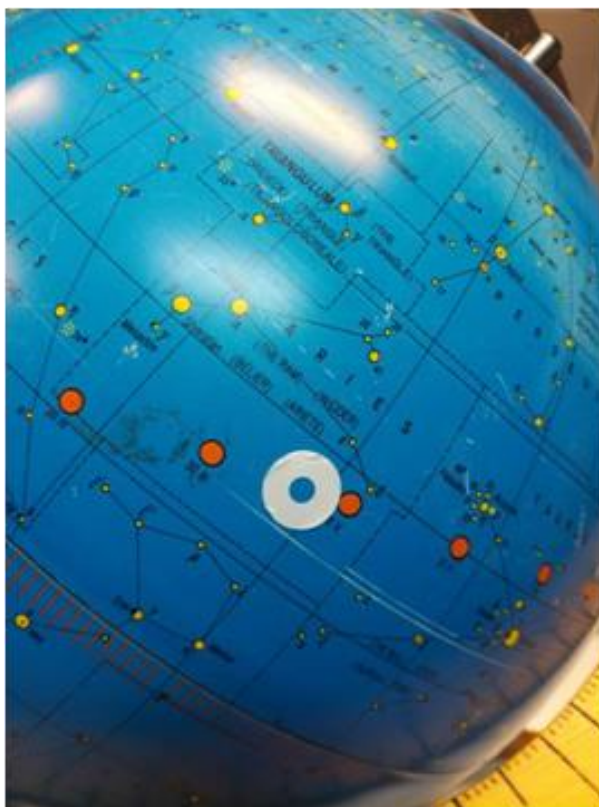
- 5) En los 6 puntos A, E, B, A', W, B' tenemos que realizar unos taladros. Estos taladros tienen que formar un ángulo de 50° con el tablero, puesto que esa es la colatitud $90^\circ - \varphi$. Y deben hacerse en la dirección de la circunferencia y con el diámetro del material que vayamos a utilizar para simular los paralelos.



- 6) El material para hacer los paralelos tiene que ser suficientemente flexible, para poder darles forma circular, y rígido para que se sustenten sin dificultad. Se puede utilizar alambre de unos 2 mm de diámetro o varillas de plástico también muy finas.
- 7) La varilla equinoccial debe ser una semicircunferencia de radio $R = 20$ cm más 2 cm por cada lado para insertar en los taladros. Resulta una longitud $= \pi \cdot R + 4 = 69$ cm. Y debe sujetarse en los taladros de los puntos E y W.
- 8) La varilla del solsticio de verano debe medir $2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos 23,5^\circ \cdot 15/24 + 4 = 76$ cm y se insertará en los taladros A, A'.
- 9) La varilla del solsticio de invierno tendrá una longitud $= 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos 23,5^\circ \cdot 9/24 + 4 = 47$ cm y se insertará en los taladros B, B'.
- 10) Será muy conveniente colocar otra varilla (el meridiano) con la misma longitud que la ecuatorial (la de los equinoccios) y alojada en nuevos taladros (estos verticales) hechos en los puntos cardinales N y S. Puede servir de apoyo para que las otras se sujeten convenientemente. La ecuatorial debe alcanzar el meridiano a 50° de altura, la del solsticio de verano a $73,5^\circ$ y la del solsticio de invierno a $26,5^\circ$.

Esfera armilar

Como ya vimos en los Trabajos escolares de la lección 4, en el globo celeste están señaladas las posiciones del Sol entre las constelaciones cada 10 días mediante puntos rojos. Estos en conjunto forman la eclíptica. Así podremos reproducir los recorridos aparentes del Sol en cualquier fecha y en cualquier latitud observando sus puntos de salida y puesta, su máxima altura meridiana y el número de horas que permanece por encima del horizonte, es decir, la duración del día. La esfera armilar es el mejor modelo para entender el ciclo de las estaciones desde un punto de vista geocéntrico.



Vamos a corroborar con la esfera armilar los resultados obtenidos en los ejercicios de este tema.

Coloca la esfera para una latitud $\phi = 40^\circ$ N. Como ya sabes el Polo Norte celeste debe quedar a 40° de altura por encima del punto cardinal N. Busca, en la eclíptica, los puntos rojos que señalan solsticios y equinoccios. Haz girar la esfera para observar el acimut y la hora de salida, la máxima altura meridiana, el acimut y la hora de puesta. Puedes así calcular cuántas horas de luz habrá en cada una de esas fechas. Contrasta tus resultados con la tabla de la página 9.

Puedes repetirlo para las diferentes latitudes que se han usado en esta lección (10° N, 72° N y 35° S) verificando los resultados (ejercicios 6.2, 6.3 y 6.4). También puedes simular estos recorridos en las latitudes extremas (en el ecuador y en ambos polos).

Modelo clásico con un globo terráqueo y un foco central

Si utilizamos un foco de luz central que haga las veces del Sol y un globo terráqueo corriente podemos reproducir con toda fidelidad lo que sucede a medida que la Tierra órbita alrededor de nuestra estrella. Aquí ya el modelo es heliocéntrico.

Los globos terráneos suelen tener ya el eje inclinado los pertinentes $23,5^\circ$ con respecto a la peana que sirve de soporte. Desplazando el globo alrededor del foco central procurando que el eje quede siempre con la misma orientación podremos observar lo que ocurre en los puntos más importantes (solsticios y equinoccios). El desplazamiento del globo debe hacerse manteniendo éste a la misma altura del foco, con lo que recorrerá el plano de la eclíptica.



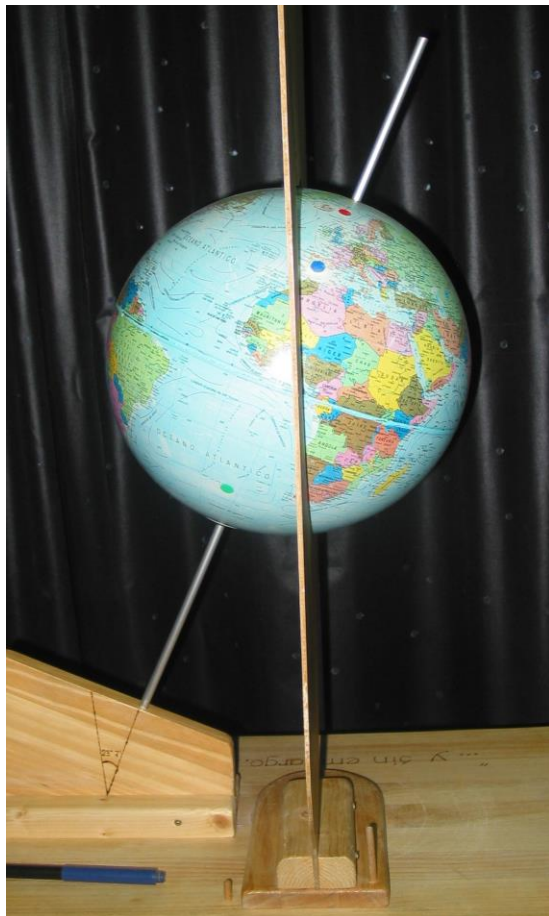
Por ejemplo, cuando el eje esté inclinado hacia el foco (con el polo Norte más cerca del foco y el Sur más alejado) estaremos visualizando la situación en el solsticio de verano (22 de junio). Manteniendo en su posición el globo y haciéndolo girar (para reproducir el movimiento de rotación de la Tierra) podremos observar que el polo Norte queda siempre iluminado por la luz del foco mientras el Sur está sumido en la oscuridad. También se puede contemplar en qué punto del globo cae la luz del foco en perpendicular, así como estimar cuántas horas de luz habrá en cualquier punto de la Tierra.

La imagen corresponde aproximadamente a la situación opuesta (22 de diciembre, solsticio de invierno). Al polo Norte no llega la luz del foco (por mucho que rote el globo) y, en cambio, el polo Sur estará iluminado las 24 horas del día.

El terminador de la Tierra

En la práctica anterior nos apareció siempre una dificultad: que la línea de luz-sombra en el globo no aparecía claramente definida, haciendo muy difícil cuantificar el número de horas de luz diaria en un punto cualquiera de la Tierra.

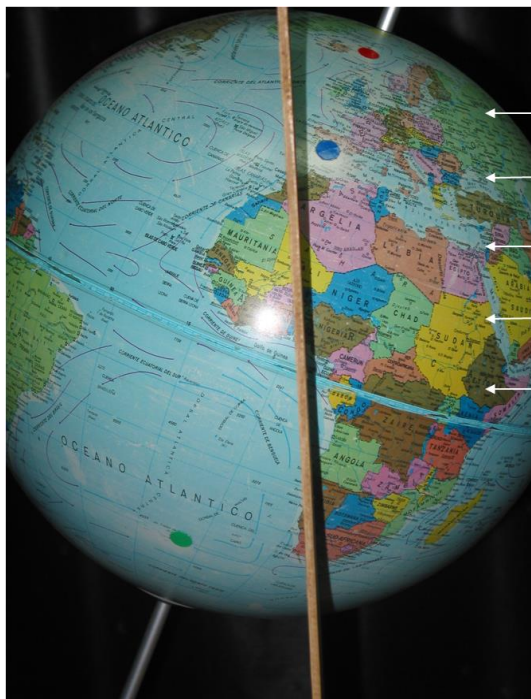
La maqueta que se presenta ahora propone simplemente visualizar el terminador de la Tierra mediante un plano vertical que “abrace” al globo. Ese plano debe ser perpendicular al radio Sol-Tierra y debe pasar por el centro de ésta, de modo que todo el hemisferio que esté “mirando” hacia el Sol es el que está iluminado, mientras que en el otro (en todos los puntos que estén “detrás”) es de noche.



En las fotografías adjuntas puede verse el globo terráqueo, con su eje de rotación inclinado $23,5^\circ$, y un plano que es siempre vertical pero que puede rotar adoptando diferentes posiciones, tal y como ocurre con el plano del terminador de la Tierra.

Incorporando este plano que representa el terminador de la Tierra los alumnos pueden acercarse al globo terráqueo y observar directamente en él todos los fenómenos propios del ciclo anual con mayor claridad. Además es fácil cuantificar alguno de ellos, especialmente la duración del día en cualquier lugar de la Tierra y en cualquier fecha (sobre todo en solsticios y equinoccios) gracias a la red de meridianos terrestres, sin más que contar el número de meridianos que quedan en la zona iluminada para una latitud determinada. La “demostración” visual de la igual duración de días y noches en los equinoccios en cualquier lugar de la Tierra gana mucho con la incorporación del plano del terminador.

En la figura de la derecha se pueden apreciar varias pegatinas colocadas en un mismo meridiano pero a diferente latitud. El punto azul corresponde a 40° N, el rojo está en el círculo polar ártico y el amarillo a 80° N. La posición del plano del terminador en esta figura corresponde al 22 de junio, solsticio de verano en el hemisferio norte. El polo Norte está “delante”, es decir, en la zona iluminada. Haciendo rotar el globo se verá cómo el punto amarillo está siempre claramente dentro de la zona iluminada, que el punto rojo está en el límite de esa zona en la

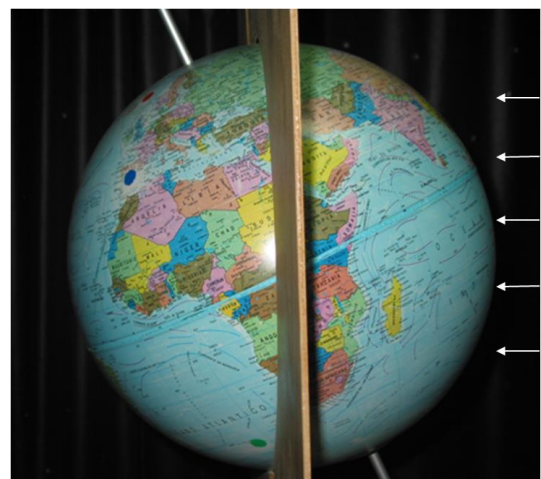


que hay Sol las 24 horas, mientras que el punto azul sí que pasa una parte de su trayectoria por “detrás”. Recorriendo el paralelo 40° N y contando el número de meridianos (trazados de 15° en 15° , cada uno correspondiente a una hora de rotación) podemos averiguar cuántas horas pasará el punto azul en la cara “iluminada” y cuántas en la cara “oscura”, lo que equivale a determinar cuál es la duración del día y de la noche en esa latitud y en esa señalada fecha del solsticio de verano.

En la fotografía (izquierda) se aprecia también una pegatina verde colocada en un lugar a unos 40° de latitud pero ahora Sur. Las flechas blancas indican la dirección de los rayos del Sol, correspondientes, como antes al 22 de junio. Haciendo rotar el globo puede reproducirse la situación típicamente invernal de ese punto del hemisferio sur, con días muy cortos y noches largas.

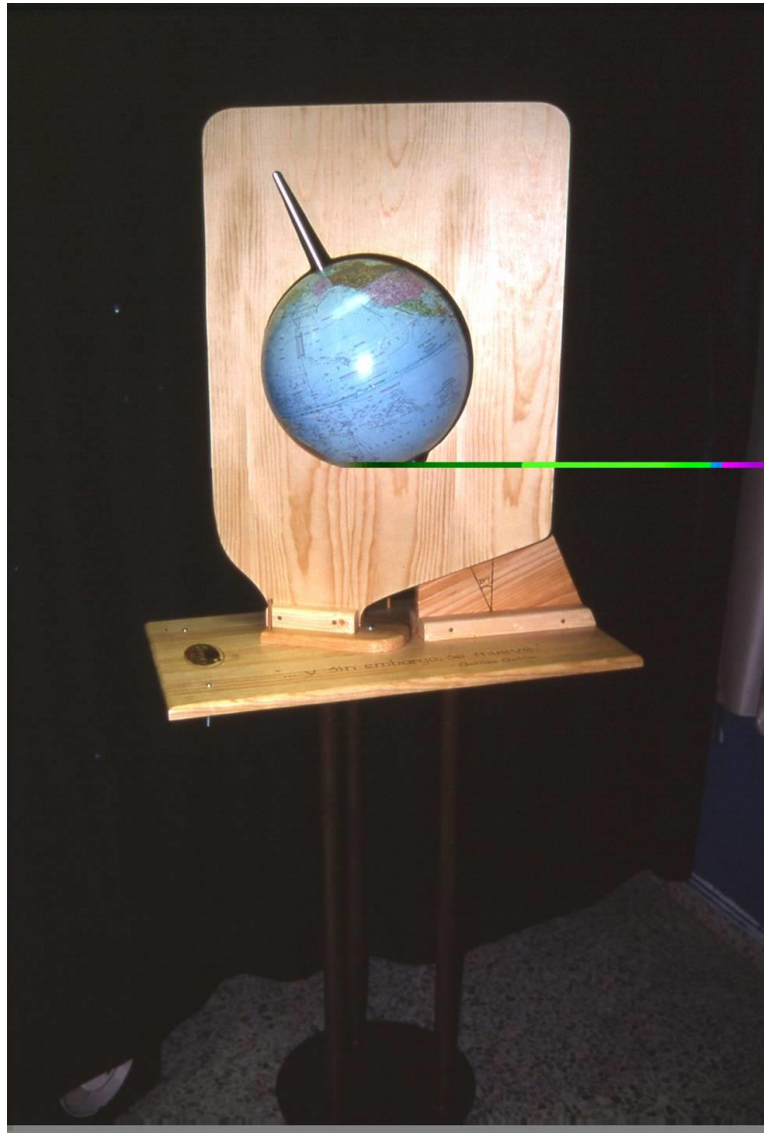
La figura (derecha) muestra la situación inversa. Las flechas blancas siguen indicando la procedencia de la luz solar. Ahora es el polo Sur el permanentemente iluminado, mientras que el casquete polar Norte, por mucho que rote el globo terráqueo, siempre permanecerá en la cara “oscura”. Con los adhesivos a diferentes latitudes pueden cuantificarse la duración de días y noches en cualquier lugar de la Tierra en el solsticio de invierno (22 de diciembre).

También se puede apreciar con bastante nitidez la inclinación de la luz solar con respecto al plano del horizonte en cualquier lugar de la Tierra y en la fecha que se desee, así como proceder a averiguar en qué puntos de nuestro planeta verán al Sol en el cenit.



La última fotografía muestra una posición equinoccial, con el eje de rotación del globo inmerso en el plano del terminador. En esta posición es claro que todos los paralelos, independientemente de la latitud, estarán divididos en dos partes iguales por el plano del terminador, es decir, tendrán una mitad en día y la otra en noche: lo que muestra que esas fechas (21 de marzo y 23 de septiembre) en cualquier lugar de la Tierra el día y la noche durarán 12 horas.

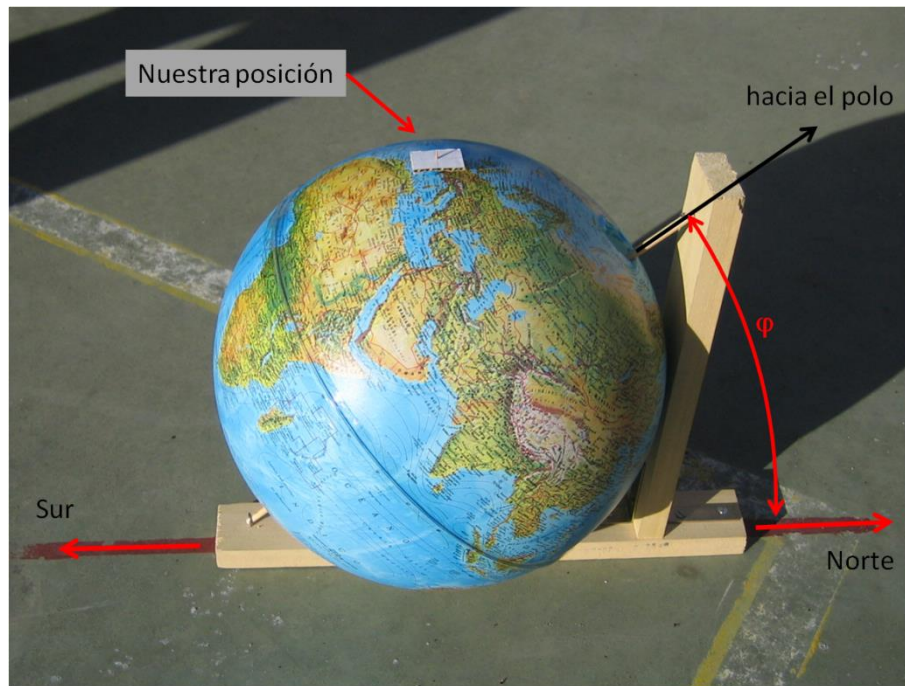
La construcción práctica de este plano conlleva algunas pequeñas dificultades, puesto que debe poder girar (para adecuarse a la posición relativa Sol-Tierra) y debe permitir el paso del eje de rotación. Presentamos aquí una posible solución, pero es evidente que el ingenio de cada maquetista resolverá esos pequeños problemas de una forma u otra.



Todas las fotografías de estos Trabajos escolares son del Aula de Astronomía de Fuenlabrada.

La Tierra paralela

Es un globo terráqueo colocado en paralelo a la esfera terrestre. Para conseguir esa disposición tenemos que hacer que el eje del globo quede paralelo al terrestre, apuntando lo más exactamente posible al Polo Norte celeste. Esto se logra haciendo que el eje del globo forme con el suelo un ángulo igual a nuestra latitud (φ) y orientándolo en la dirección Norte – Sur como se muestra en la fotografía. El lugar en el que estamos tiene que quedar en el punto más alto del globo.

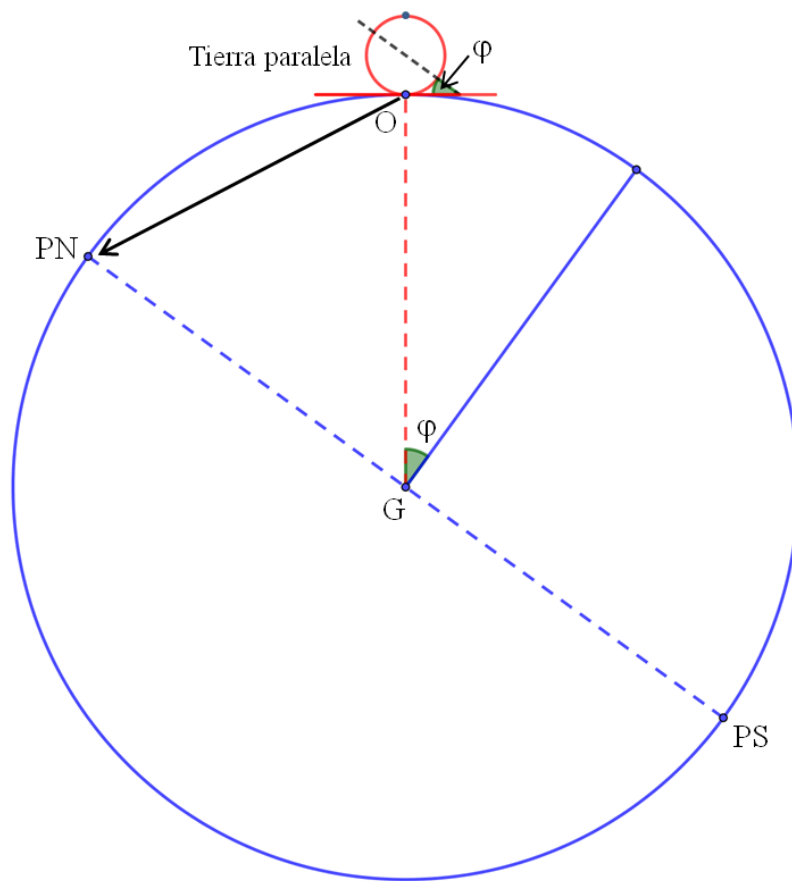


¿Qué partido podemos sacarle a esta mini-tierra orientada?

- La esfericidad de la Tierra es algo que todos “sabemos” pero que no siempre tenemos verdaderamente interiorizado. Si pedimos a alguien que nos señale en línea recta hacia el centro de la Tierra, o hacia Nueva Zelanda, todos extenderán el brazo apuntando hacia abajo. Sin embargo si preguntamos por el Polo Norte geográfico es muy probable que se apunte en horizontal y hacia el Norte. Pero esa recta horizontal será tangente a la esfera terrestre y se irá separando de ella. Nuestro horizonte (el de cualquier punto O) siempre deja al cielo por encima y a la Tierra por debajo.

En el globo se ha colocado un pequeño rectángulo pegado con un poco de plastilina y con un pequeño trozo de madera fina en vertical (un fragmento de palillo). Con este modelo resulta evidente que cualquier observador O, en cualquier punto de la Tierra, siempre verá su horizonte plano y toda la Tierra por debajo de él. Así, si quisiéramos indicar una línea recta que fuera desde O hasta el Polo Norte geográfico, esa recta tiene que dirigirse, por supuesto hacia el N, pero también deberá apuntar por debajo del horizonte.





- Otra cuestión que salta a la vista es que el globo está iluminado por la luz solar exactamente igual que nuestro planeta. Por tanto donde la tierra paralela esté iluminada será de día (en la fotografía toda África y buena parte de Asia y de Europa) y donde no, de noche (el polo Norte, extremo oriental de Asia y prácticamente toda Siberia, ver la primera fotografía). Como el Sol avanza de Este a Oeste tampoco es difícil ver dónde se está poniendo en ese momento (Siberia, Mongolia, China, Filipinas) o saliendo (Brasil).



- Colocando diferentes “horizontes” en varios puntos de un mismo meridiano se puede observar cómo la longitud de la sombra del “mini gnomon” varía lo que nos indica la altura del Sol en cada uno de esos lugares.



- Se puede buscar cuál es el único punto de la superficie terrestre en el que el Sol está cayendo a plomo en ese momento, moviendo el horizonte portátil hasta conseguir que el pequeño gnomon no proyecte ninguna sombra, señal de que ese punto (cerca de Madagascar) tiene al Sol en su cenit.



- Si la sombra se dirige exactamente hacia el Norte, es que el Sol (en ese punto) se ve en dirección Sur, es decir que allí es mediodía. Es fácil comprobar que eso ocurre en todos los lugares de un mismo meridiano.



- Por último es posible hacer algún pequeño truco de magia. ¿Podríamos averiguar mediante la tierra paralela si en este momento la sombra de la torre Eiffel cruza el Sena o no? Si construimos un horizonte portátil con un plano de París y en él, a la misma escala, ponemos una figura de dicha torre y lo colocamos todo debidamente orientado sobre París en el globo podremos ver directamente lo larga que es su sombra.



Todas las fotografías de la “Tierra paralela” son del Instituto Rey Pastor, salvo esta última que es de Esteban Esteban (Aula de Astronomía de Durango).

Ejercicio 6.1

- a) De Acuario. Ascensión Recta 23 h 15 m; Declinación $\delta \approx 5^\circ$ S.

	Orto	Paso meridiano	Ocaso
Hora	6:20	12:00	17:40
Acimut	98°	180°	262°
altura	0°	45°	0°

- b) El 23 de agosto
c) El 17 de octubre

Ejercicio 6.2

- a) No hay apenas diferencia; el 22 de junio el día dura en Caracas como 12:20 horas y el solsticio de invierno es, de forma simétrica, solo un poco más corto que las 12 horas estándar, unas 11:40 horas. En los equinoccios el día dura exactamente 12 horas
b) El Sol está allí bastante más alto que en nuestras latitudes, tanto en verano como en invierno. Tiene que tener un clima mucho más cálido
c) Claro que alcanza el cenit: cuando tenga 10° N de declinación lo que ocurre dos veces al año, una en primavera, hacia el 15 de abril y otra en verano, hacia finales de agosto
d) El crepúsculo allí es llamativamente más corto que en nuestras latitudes, unos 40 minutos. La trayectoria aparente del Sol es casi perpendicular al horizonte y por eso se hunde más rápidamente bajo el horizonte

Ejercicio 6.3

En el cabo Norte el polo P está a 72° de altura y, por tanto, el ecuador (Q) se verá a solo 18° sobre el punto cardinal S (y Q' estaría 18° por debajo del Norte)

- a) Todo el trayecto VV' queda por encima del horizonte, así que el Sol ese día estará permanentemente visible. En cambio el paralelo I I' por el que circula aparentemente el Sol el día del solsticio de invierno no consigue elevarse sobre ese horizonte en ningún momento.
b) La máxima altura del Sol el 22 de junio será de $18^\circ + 23,5^\circ = 43,5^\circ$.
c) La mínima será $23,5^\circ - 18^\circ = 5,5^\circ$.
d) Pues porque la altura del Sol es siempre pequeña, sus rayos incidirán muy oblicuamente y calentarán débilmente la superficie del planeta en esa zona.
e) En los equinoccios el día (y la noche) son de 12 horas.
f) En los equinoccios el crepúsculo se extiende por más de 2 horas (como 2:20 h).
g) Sí que habrá algo de claridad; casi 2 horas.

Ejercicio 6.4

Como $PQ = 90^\circ$ y $PN = 35^\circ$, resulta que en Buenos Aires ven el ecuador (Q) a 55° de altura sobre el punto cardinal N.

- a) Las trayectorias diurnas aparentes, los paralelos, que recorre el Sol cada día están claramente volcados hacia el Norte
- b) Obviamente el 22 de diciembre
- c) El 22 de junio la máxima altura solar (V) es de $55^\circ - 23,5^\circ = 31,5^\circ$
- d) En 22 de diciembre, desde I hasta el eje hay como siempre 6 horas y desde el eje al horizonte aún queda algo más de una hora, más o menos 1:15 h. Así pues, desde la salida del Sol hasta el mediodía transcurren 7:15 horas y el total de horas de luz será de 14:30. El 22 de septiembre (equinoccio de otoño) el día durará 12 horas, como en cualquier otro lugar