

Apuntes de astronomía de posición.

Forma y dimensiones de la Tierra

Las culturas que vivieron con anterioridad a los griegos admitieron el supuesto de que la Tierra tenía una forma plana, prescindiendo de pequeñas irregularidades como son las montañas y los valles. Aceptar esta suposición llevaba a dos posibilidades inmediatas:

- Que la Tierra tuviese una extensión infinita, concepto que el hombre siempre ha rehusado utilizar por no ser fácil de concebir y entender, y por lo tanto de razonar frente a los demás.
- Que tuviese una extensión finita, en cuyo caso nadie podía aproximarse al borde por estar rodeado de océanos impetuosos y porque el cielo en este borde descendía hasta unirse con la Tierra para evitar que las aguas se derramasen dejando la Tierra en seco.

Como se desprende de todo esto, la idea de una Tierra plana no podía resultar efectiva por el sencillo razonamiento de preguntarse en dónde se apoyaba. Se conocía el hecho de que los cuerpos caían hacia “abajo” pero no era fácil encontrar una respuesta convincente a la pregunta ¿por qué no caía la Tierra? Además, si realmente fuese plana, desde cualquier punto deberían observarse las mismas estrellas en el cielo y, sin embargo, las experiencias registradas por los navegantes cuando su barco llevaba rumbo Norte, era que ciertas estrellas desaparecían y otras nuevas aparecían y lo mismo ocurría si llevaban rumbo Sur.



Mapa de las tierras conocidas, atribuido a Eratóstenes (siglo III a.C.)

El hecho de que no sucediese un efecto similar en la dirección este-oeste era debido -aunque los antiguos no lo conociesen- al movimiento de rotación de la Tierra. Este fenómeno admite la sencilla explicación de suponer que la Tierra se

curva en la dirección Norte-Sur lo que llevó al filósofo Anaximandro de Mileto a sugerir -erróneamente- que la Tierra tenía forma cilíndrica.

Un hecho observado por quienes vivían en las zonas costeras era que los barcos que navegaban rumbo a alta mar no iban reduciendo paulatinamente su tamaño hasta convertirse en un punto infinitesimal, sino que iban poco a poco desapareciendo por partes, siendo el casco lo primero que se perdía de vista. Era como si el barco estuviese bajando por una colina independientemente del rumbo seguido. En consecuencia, la Tierra debía ser una superficie que se curvaba en todas direcciones por igual, lo cual significaba que su forma sería la de una esfera.

Por otro lado, los astrónomos griegos también pensaron que la mejor forma de explicar los eclipses de Luna era suponer que la Tierra se situaba entre ésta y el Sol y que su sombra proyectada por este astro, caía sobre la Luna y la eclipsaba. Como la proyección de esta sombra siempre era circular, confirmaba, una vez más, el carácter esférico de la Tierra.

Los grandes viajes de los siglos XV y XVI, y muy especialmente el viaje de circunnavegación iniciado por Magallanes y terminado por Juan Sebastián Elcano en el primer cuarto del siglo XVI mostraron palpablemente la redondez de la Tierra y que ésta no se apoyaba en ninguna parte.

La forma esférica fue sustituida en el siglo XVIII por la de una esfera achatada por los polos una vez establecidas las leyes de la gravitación universal por Isaac Newton, marcándose así el comienzo de una nueva época en el conocimiento de la forma real de la Tierra. Newton probó teóricamente, a partir de las citadas leyes, que la Tierra no podía ser una esfera, tal y como venía admitiéndose hasta entonces, pues la acción antagónica de las fuerzas centrífuga y gravitatoria, debidas a la rotación terrestre, tenían que producir un achatamiento en los polos. Esto lo demuestra el hecho del aumento progresivo de la gravedad a medida que nos aproximamos a los polos. Sus resultados teóricos, perfeccionados más tarde por numerosos investigadores, han sido confirmados por la experiencia y han dado a la Tierra una nueva concepción de su forma: la de un elipsoide de revolución, cuyo eje menor es el eje de giro que pasa por los polos.

Hoy día, la moderna Geodesia, rama que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, ha concretado que la forma real de la superficie terrestre es muy complicada, irregular y propia recibiendo el nombre de geoide.

Al mismo tiempo que se iba estableciendo la forma de la Tierra, surgió el problema sobre la determinación de las medidas que ésta debía poseer. De hecho, una vez conocido su carácter esférico, el problema de su tamaño pasó a adquirir una importancia extraordinaria.

Narra la historia que el sabio griego Eratóstenes de Cirené (276-196 a. de C.) fue quien realizó las primeras mediciones, constituyendo una de las aportaciones científicas más importantes para el desarrollo de la astronomía de posición en la antigüedad. Para ello, utilizó un método muy simple, casi rudimentario, pero cuyos resultados fueron sorprendentemente buenos.

Eratóstenes advirtió que en la ciudad de Syene (hoy Assuán), en Egipto, el día 21 de junio al mediodía, los rayos solares entraban verticalmente en un pozo, por profundo que fuese, sin producir sombra alguna en sus paredes, lo que indicaba que el Sol se encontraba en la dirección vertical del pozo, mientras que en Alejandría, donde Eratóstenes residía, los rayos solares daban, ese mismo día y a esa misma hora una cierta sombra. Esto le llevó a pensar que podría calcular la circunferencia de la Tierra si supiera qué ángulo formaban los rayos del Sol al mediodía en la misma fecha en la ciudad de Alejandría, que estaba al norte de Syene y situada casi en el mismo meridiano.

Las mediciones realizadas por Eratóstenes en Alejandría demostraron que los rayos se desviaban de la vertical un ángulo de $7'2''$, lo que equivale aproximadamente a una cincuentava parte de los trescientos sesenta grados que contiene una circunferencia. Dado los de Syene, la diferencia de $7'2''$ demostraba de por sí que la superficie de la Tierra se curvaba en el espacio que mediaba entre ambas ciudades.

Así pues, para hallar la circunferencia de la Tierra lo único que tenía que hacer Eratóstenes era conocer qué distancia existía entre Syene y Alejandría. Dando pruebas de un gran ingenio, midió dicha distancia tomando como base el tiempo que tardaban los camellos en ir de una ciudad a la otra, que era 50 días aproximadamente. Sabiendo qué recorrido hacía un camello en un día, pudo calibrar la distancia entre Alejandría y Syene y así calcular la circunferencia de la Tierra. Su resultado (en medidas modernas) fue de 46.250 kilómetros, cifras que exceden en un dieciséis por ciento el valor real.

Eratóstenes había cometido diversos errores en los cálculos, ya que Alejandría y Syene no se encuentran sobre el mismo meridiano, ni el Sol pasaba exactamente por la vertical de Syene al mediodía del día 21 de junio, ni la Tierra presenta la forma esférica. Sin embargo, la exactitud del valor obtenido por aquel entonces frente al admitido hoy día, nos habla muy favorablemente de la bondad del método empleado hace unos 2.200 años, pasando a convertirse en la primera persona que midió con precisión el tamaño de un planeta.

Siguiendo la historia, la siguiente medición de la circunferencia de la Tierra ocurrió en el año 85 a. de C. por Poseidonio de Apamea, quien usó la distancia entre Rodas y Alejandría de la misma forma que lo hiciera Eratóstenes con Alejandría y Syene. El medio empleado por Poseidonio para medir la distancia entre ambas ciudades fue un barco que realizaba viajes en línea regular.

Poseidonio, observando la estrella Canopus, la segunda más brillante de todo el firmamento (en el horizonte de Rodas se hallaba $7'50''$ más cerca del horizonte que en Alejandría), llegó a medir la circunferencia terrestre utilizando el mismo tipo de cálculos que Eratóstenes, pero con resultados más erróneos que le llevaron a reducir considerablemente el tamaño de la Tierra.

Cuando en el siglo II, el físico, geógrafo y matemático Claudio Ptolomeo tuvo la infeliz idea de aceptar las medidas de Poseidonio y rechazar las de Eratóstenes,

cometió un error que, con el fluir de los siglos, habría de resultar fecundo, pues contribuyó al descubrimiento de América, toda vez que, dichas cifras ptolomaicas fueron empleadas por Cristóbal Colón para demostrar el camino más corto desde España a las Indias siguiendo la ruta de Occidente.

Movimientos de la Tierra: rotación, traslación, precesión y nutación

En un principio, el hombre se dejó guiar por las apariencias y resolvió que la esfera celeste giraba en torno a él mientras que la Tierra permanecía inmóvil en el espacio ocupando el centro del Universo.

Durante casi dos mil años, los astrónomos fueron observando las revoluciones aparentes de los astros y descubrieron, poco a poco, gran número de irregularidades y fenómenos inexplicables, hasta el día en que empezaron a sospechar si estarían equivocados sobre la inmovilidad de la Tierra de la misma manera que antes se equivocaron al suponerla asentada sobre firmes cimientos. Y de hecho, así sucedía.

La Tierra, como todos los cuerpos celestes, no se encuentra en reposo, sino que está sujeta a una larga serie de movimientos (más de diez, de los cuales sólo estudiaremos los cuatro más importantes).

Cada 24 horas -exactamente 23 horas 56 minutos- da una vuelta completa alrededor de un eje ideal que pasa por sus polos, en dirección Oeste-Este, o sea, en el sentido contrario al de las agujas del reloj, produciendo la impresión antes mencionada de que es todo el cielo el que gira alrededor de nuestro planeta. A este movimiento, denominado rotación, se debe la sucesión de días y noches, siendo de día el tiempo en que nuestro horizonte aparece iluminado por el Sol, y de noche cuando permanecemos ocultos a sus rayos. De no existir este movimiento, las condiciones de habitabilidad de este planeta serían completamente distintas, pues una parte de la Tierra estaría constantemente expuesta al Sol, mientras que en la otra reinarían las tinieblas.

Además del movimiento de rotación, otro importante movimiento de la Tierra es el de traslación, por el cual nuestro globo se mueve alrededor del Sol impulsado por la gravitación, y en un tiempo de 365 días y cuarto describe una trayectoria elíptica de 930 millones de kilómetros, a la distancia media de 150 millones de kilómetros de dicho astro. Como resultado de este larguísimo camino, la Tierra marcha por el espacio a la elevadísima velocidad de 29' 5 kilómetros por segundo recorriendo 106.000 kilómetros cada hora, o 2.544.000 kilómetros cada día.

La excentricidad de la órbita hace variar la distancia entre la Tierra y el Sol en el transcurso del año. Así, a primeros de enero alcanza su máxima proximidad y se dice que pasa por el perihelio y a primeros de julio llega a su máxima lejanía y está en el afelio. En numeras redondos:

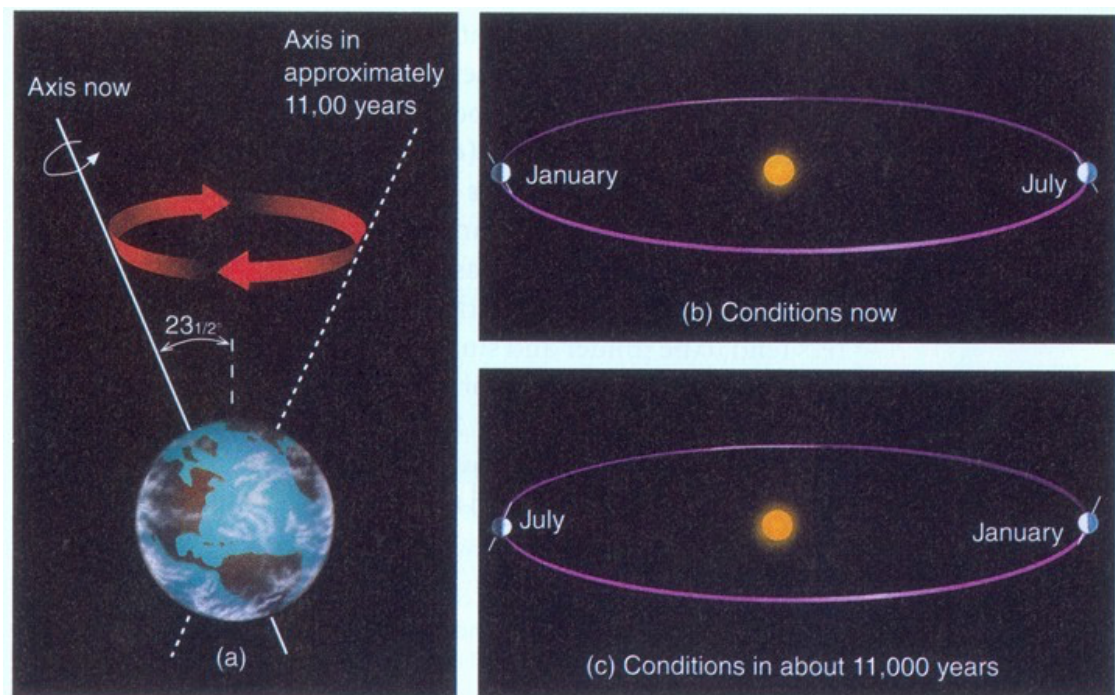
Distancia Tierra-Sol en el perihelio: 145.700.000 kilómetros.

Distancia Tierra-Sol en el afelio: 151.800.000 kilómetros.

Si la Tierra estuviese fija en el espacio y sólo animada del movimiento de rotación alrededor de su eje, cada noche, a la misma hora y a lo largo del año, veríamos pasar por delante de nosotros idénticos grupos estelares (constelaciones). La experiencia nos demuestra que esto no ocurre, pues si realizamos observaciones a la misma hora, las estrellas habrán ocupado la misma situación que dicho día, 3 minutos y 56 segundos antes. La diferencia será casi imperceptible. Pero si repetimos la observación al cabo de 15 días de la primera, entonces el aspecto del cielo no será el mismo. Esto nos demuestra que la Tierra se desliza alrededor del Sol y al cabo de un año, vamos descubriendo todos los grupos estelares que están a su alrededor.

Los movimientos de rotación y traslación serían los únicos que la Tierra ejecutaría si fuese completamente esférica. Pero al ser un elipsoide aplastado por los polos y de forma algo irregular, la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna sobre el ensanchamiento ecuatorial provocan una especie de lentísimo balanceo en nuestro planeta durante su movimiento de traslación, que recibe el nombre de precesión y que se efectúa en sentido inverso al de rotación, es decir, en sentido retrógrado.

Bajo la influencia de dichas atracciones, el eje de los polos terrestres va describiendo un cono de 47° de abertura cuyo vértice está en el centro de la Tierra. Este movimiento puede compararse con el balanceo de una peonza que al ser lanzado en posición algo inclinada, gira sobre su eje y mientras se traslada oscila lentamente trazando en el espacio un círculo que es la base de un cono cuyo vértice está en el extremo inferior de su eje. Algo parecido ocurre con nuestro planeta.



Movimiento de precesión

Como consecuencia del movimiento de precesión, la posición del polo celeste va cambiando a través de los siglos. De ello resulta que la estrella polar no es siempre la misma. Actualmente, la Polar es una estrella perteneciente a la constelación de la Osa Menor que no coincide exactamente con el polo y a la que va aproximándose hasta el año 2015. Después de esta fecha ira alejándose paulatinamente describiendo un inmenso círculo para volver a la posición actual después de transcurrir 25.765 años.

Como dato curioso añadiremos que cuando se construían las famosas pirámides de Egipto, hace aproximadamente 4.500 años, ocupaba el rango de Polar la estrella alfa de la constelación del Dragón, que dista angularmente de la actual estrella Polar nada menos que 25° . Del año 4.000 al 8.000 el polo norte celeste estará en la constelación de Cefeo y poco antes del año 14.000 le tocará el turno a la estrella Vega de la constelación de Lira.

Superpuesta a la precesión se halla la nutación, un pequeño movimiento de vaivén del eje de la Tierra, debido a que la influencia de la Luna no siempre posee la misma intensidad, puesto que unas veces se halla sobre el plano de la órbita terrestre y otras por debajo, Y. por tanto, no ejerce siempre atracción sobre la dilatación ecuatorial de la Tierra en la misma dirección en que la ejerce el Sol.

Consecuencia de ello es que el movimiento del eje terrestre no es perfectamente cónico. sino levemente ondulado y se repite con un periodo de 18'6 años. Podemos hacernos una idea de este movimiento imaginando que, mientras el eje de rotación describe el consabido movimiento cónico de precesión, recorre a su vez una pequeña elipse. De ahí que haya más de 1.300 bucles en un ciclo completo.

El movimiento de nutación, aunque es muy pequeño, puede ser detectado por los observatorios astronómicos por afectar a los movimientos de todas las estrellas.

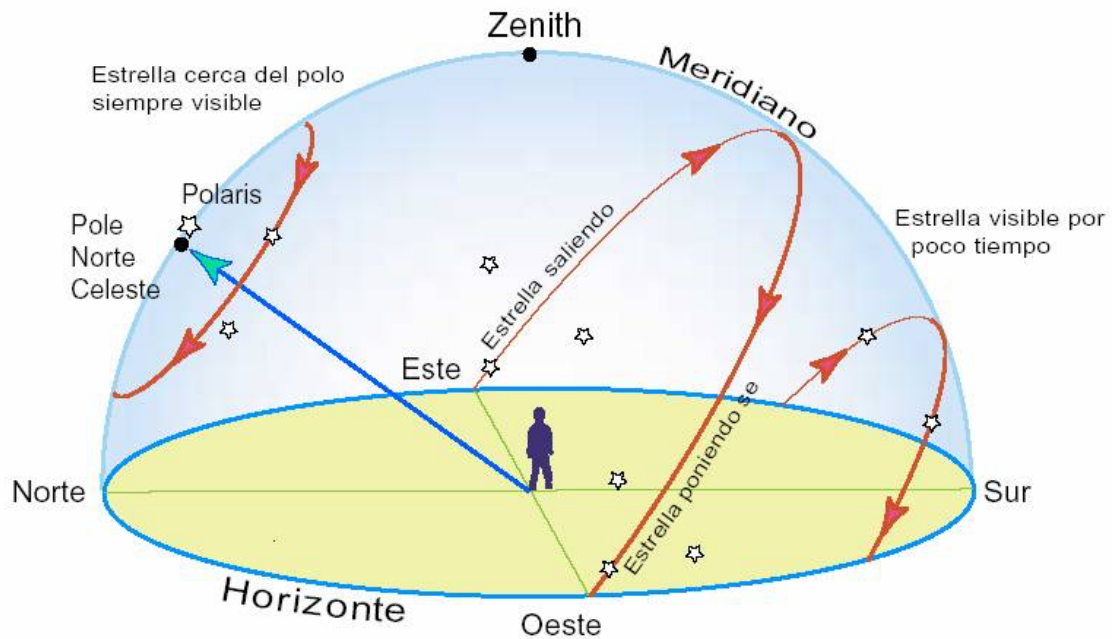
La esfera celeste

En Astronomía se llama esfera celeste a una esfera imaginaria de radio arbitrario que se supone concéntrica con la Tierra y en la que se consideran proyectadas todas las estrellas y demás astros.

En apariencia, el cielo estrellado produce la impresión de esfericidad y, como por otra parte es necesario establecer un origen al cual referir todas las posiciones de los cuerpos celestes en dicha esfera, se elige como centro a la Tierra, puesto que los cálculos matemáticos se realizan con mayor facilidad y simplicidad.

De este modo podemos situar con precisión los astros en el firmamento, prescindiendo de sus distancias a nosotros, utilizando un determinado sistema de referencia, si bien previamente hay que definir una serie de parámetros (puntos, ejes y planos), a partir de los movimientos que observamos y que son consecuencia de los movimientos de la Tierra.

Así, prolongando la dirección de los polos terrestres, obtenemos el llamado Eje del Mundo, porque alrededor de él parece girar toda la esfera. Los puntos de intersección del eje del mundo con la esfera celeste constituyen los polos celestes; de éstos, el que vemos, por hallarse sobre nuestro horizonte es el Polo Boreal, Ártico o Norte, que coincide prácticamente con la estrella Polar; el otro, que no vemos, se llama Polo Austral, Antártico o Sur, en la dirección del cual no existe cerca ninguna estrella brillante.



Elementos de la esfera celeste

El plano perpendicular al eje terrestre forma el ecuador terrestre, y su intersección con la esfera celeste forma el Ecuador celeste. Los planos paralelos al del ecuador determinan sobre la esfera celeste unos círculos menores que se llaman paralelos celestes o círculos diurnos.

De los paralelos que las estrellas describen en su movimiento a lo largo del día (llamado movimiento diurno), unos cortan el horizonte del lugar de observación, de modo que vemos las estrellas salir y más tarde ocultarse. Otros paralelos están enteramente sobre el horizonte y las estrellas que describen estos paralelos no salen ni se ponen, están siempre sobre el horizonte, siempre se ven, y se llaman estrellas circumpolares. Una de ellas, la estrella Polar, describe un círculo tan pequeño que parece inmóvil. Este nombre de estrellas circumpolares es relativo, pues depende de la latitud del observador.

El punto que está en la perpendicular sobre el observador se denomina cenit. El punto opuesto al cenit, el que está bajo nuestros pies, se denomina nadir. Al círculo máximo (círculo cuyo plano pasa por el centro de la esfera, y por tanto su radio es el mismo que el radio de la esfera) perpendicular a la vertical del lugar se le llama horizonte del lugar. Dicho horizonte divide a la esfera en dos hemisferios: el hemisferio superior o visible y el inferior o invisible.

Todo plano que pasa por el eje del mundo determina sobre la esfera celeste unos círculos máximos llamados meridianos celestes. Cuando dicho meridiano pasa por el cenit y los polos se llama Meridiano local o Meridiano del lugar.

Se llama Meridiana a la recta que resulta de la intersección del plano meridiano del lugar con el plano horizonte. Esta meridiana corta a la esfera celeste en dos puntos diametralmente opuestos; de estos puntos, el más próximo al polo boreal se llama Norte o Septentrión y se designa por la letra N, mientras que el más próximo al polo austral se llama Sur o Meridía y se designa con la letra S. La recta perpendicular a la meridiana determina en la esfera celeste los puntos cardinales Este u Oriente, que se designa con la letra E, y Oeste u Occidente que se designa con la letra W. El primero está situado a la derecha de un observador que con los pies en el centro de la esfera celeste y la cabeza hacia el cenit mire hacia el norte. El meridiano que pasa por el cenit y por los puntos este y oeste recibe el nombre de Primer vertical. A los círculos menores de la esfera celeste paralelos al horizonte se les denomina Almucantarates.

Finalmente, llamamos orto de un astro a su salida sobre el horizonte, y ocaso a su puesta. El paso de un astro por el meridiano del lugar se llama culminación. Se denomina orto heliaco al orto de un astro que se produce al mismo tiempo que el orto del Sol.

Todos estos conceptos servirán de base para poder obtener las posiciones aparentes de los astros sobre la esfera celeste, prescindiendo, como ya hemos señalado al principio, de la distancia a que se encuentran de nosotros.

Los objetos celestes y sus movimientos aparentes

Ateniéndonos a las apariencias, conforme hicieron los astrónomos primitivos, la Tierra nos parece inmóvil, mientras a su alrededor giran uniformemente todos los cuerpos celestes en 24 horas.

Empleando como origen de referencia el llamado sistema topocéntrico, en el cual se considera a un observador ocupando el centro del Universo -en este caso, a nosotros mismos- se comprueba que las estrellas, el Sol, la Luna y los planetas giran alrededor nuestro.

Estos objetos celestes se ven moverse de Este a Oeste dando la sensación de que la bóveda celeste está girando alrededor de la Tierra, cuando en realidad, es la Tierra la que gira alrededor de su propio eje, en el sentido de Oeste-Este.

Contempladas las estrellas durante algunas horas, las veremos moverse solidariamente como si estuviesen fijas en el firmamento sin cambiar la figura de las constelaciones, ni las distancias aparentes entre ellas. Las estrellas que están hacia el Este, se elevan; las que están hacia el Sur se mueven hacia el Oeste, y las que están hacia el Oeste bajan hacia el horizonte y desaparecen. Solamente la

estrella Polar es la que aparentemente no gira. Ello se debe a que describe un Círculo tan pequeño que a simple vista parece que está quieta.

Si nos fijamos en el lugar que ocupa en el cielo una constelación a una hora determinada (por ejemplo, la Osa Mayor a las nueve de la noche), al día siguiente a la misma hora, no nos damos cuenta y nos parece que está en el mismo sitio, pero realmente cada día adelanta casi 4 minutos, lo que equivale a un arco de un grado. Cada quince días adelanta pues, una hora, que equivale a un arco de 15° . Así, a los seis meses, la Osa Mayor la encontraremos en posición opuesta. Igual ocurrirá con las restantes constelaciones. De todo ello ya hablamos al exponer el movimiento de traslación de la Tierra.

Tomando como punto fijo de orientación la estrella Polar, se reconoce que todo el movimiento estelar se realiza con respecto a este punto, en un sentido contrario al de las agujas del reloj, que para efectos astronómicos se denomina sentido directo.

La observación de este movimiento aparente estelar permite establecer una serie de leyes que pueden resumirse del modo siguiente:

- a) El movimiento diurno es circular.
- b) Es uniforme, lo cual quiere decir que en tiempos iguales recorren arcos iguales.
- c) Es paralelo, es decir, que los círculos que describen las estrellas en la bóveda celeste son paralelos.
- d) Es isocrono, porque todas las estrellas emplean el mismo tiempo en realizar una vuelta.
- e) Es invariable, puesto que no cambian las posiciones relativas de las estrellas.
- f) Es retrógrado, porque un observador colocado en el centro de la esfera celeste y mirando hacia el polo Sur, ve que las estrellas se desplazan de izquierda a derecha.

La Luna, en virtud del movimiento diurno de la bóveda celeste, nos da la impresión, al igual que todos los astros, de que recorre diariamente un círculo perfecto alrededor de la Tierra. Pero observándola en una época determinada, cuando pasa cerca y al Este de una estrella brillante, vemos que la distancia angular de los dos astros aumenta rápidamente y que, por lo tanto, la Luna, además del movimiento global en la esfera celeste, está dotada de un movimiento propio.

Podemos estudiar este movimiento observando las constelaciones que preceden a la Luna en su salida o que le siguen en su puesta. Observación que resulta más fácil porque la luz de la Luna no nos deslumbra y no impide la visión de las constelaciones sobre las que se proyecta.

Siguiendo a nuestro satélite en su movimiento hacia el Oeste apreciamos que se desplaza en casi la mitad de su diámetro cada hora y, por ello, se pone unos 49 minutos más tarde cada día. Si se trata de observarla poco después de la fase de Luna nueva será visible por el Oeste inmediatamente después de que el Sol se haya puesto; pero al día siguiente, a la misma hora la Luna estará más alta en el cielo, alejada hacia el Este unos 13 grados. Llegada la época de la Luna llena, ésta saldrá cuando el Sol se ponga. Por consiguiente, en dos semanas se habrá desplazado 180

grados desde el Oeste al Este entre las constelaciones. Este fenómeno se debe a la combinación de los movimientos de rotación de la Tierra alrededor de su eje y los de la Luna alrededor de la Tierra.

Podemos observar también que varían los puntos por donde sale y se pone la Luna y que sube y baja respecto al plano de la eclíptica debido a la inclinación del plano de la órbita lunar respecto al plano de la eclíptica.

Los planetas, al igual que nuestro satélite, también realizan un movimiento doble en la esfera celeste: por un lado, participan en el movimiento diurno de la bóveda celeste trasladándose de Este a Oeste y por otro poseen un movimiento propio que llama la atención de los observadores por la manera como se realiza.

Observando con cuidado este desplazamiento propio, se comprueba que los planetas se mueven en dirección Oeste-Este respecto a las estrellas que permanecen fijas. Sin embargo, este movimiento no es regular, sino que se ve interrumpido por períodos durante los cuales el planeta parece que permanezca inmóvil por algunos días (estaciones), para luego moverse en sentido contrario (retrogradaciones) y posteriormente seguir en la primera dirección. Estos movimientos se deben a la combinación de la traslación de la Tierra y del planeta alrededor del Sol.

Movimiento del Sol en la esfera celeste

Sin observaciones particulares todos saben que durante el año varía la duración de los días y las noches, desde el 22 de diciembre, que es el día más corto (o de menos horas desde la salida hasta la puesta del Sol), hasta el 22 de junio, que es el día más largo (y de noche más corta). Estas dos fechas se denominan solsticios de invierno y verano, respectivamente, porque en ellos parece que el Sol se detiene para reanudar su carrera en sentido contrario.

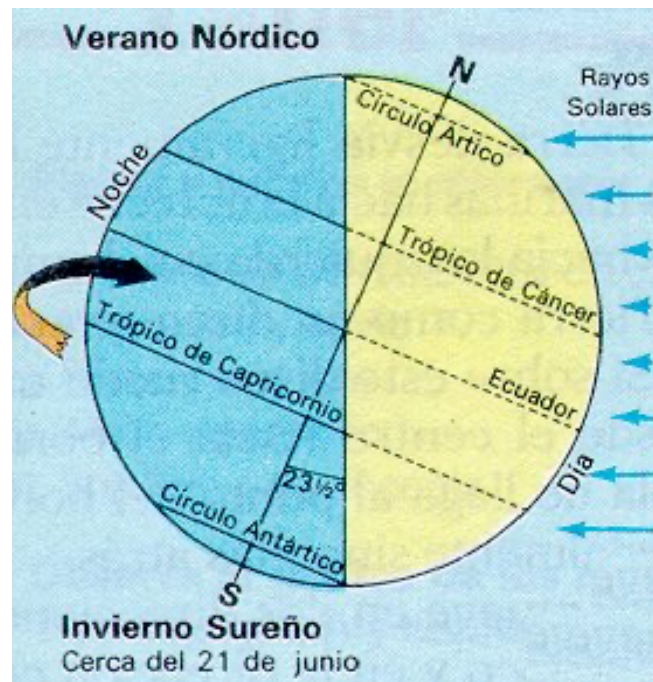
Existen otras dos fechas intermedias, que son el 21 de marzo y el 23 de septiembre, en las cuales el día y la noche duran el mismo número de horas. Estas dos fechas se denominan equinoccios (que significa noches iguales) de primavera y otoño, respectivamente.

Estos hechos se deben a que el Sol, al igual que los demás cuerpos celestes, participa también en el aparente movimiento diurno y si bien las estrellas conservan sensiblemente las mismas posiciones en la esfera celeste, la posición del Sol cambia constantemente por tener además un movimiento propio, tal y como lo demuestran los siguientes hechos:

- a) Puntos del horizonte por donde sale y se pone el Sol. -Estos puntos varían constantemente en el transcurso del año, de ahí que el saber popular diga gráficamente que el Sol «sube y baja».

El 21 de marzo (fecha del equinoccio de primavera), el Sol sale, aproximadamente, por el Este y se pone por el Oeste. Al pasar los días, estos puntos van corriéndose hacia el Norte, primero rápidamente, luego lentamente,

hasta el 21 de junio (fecha del solsticio de verano) en que alcanzan su posición extrema.



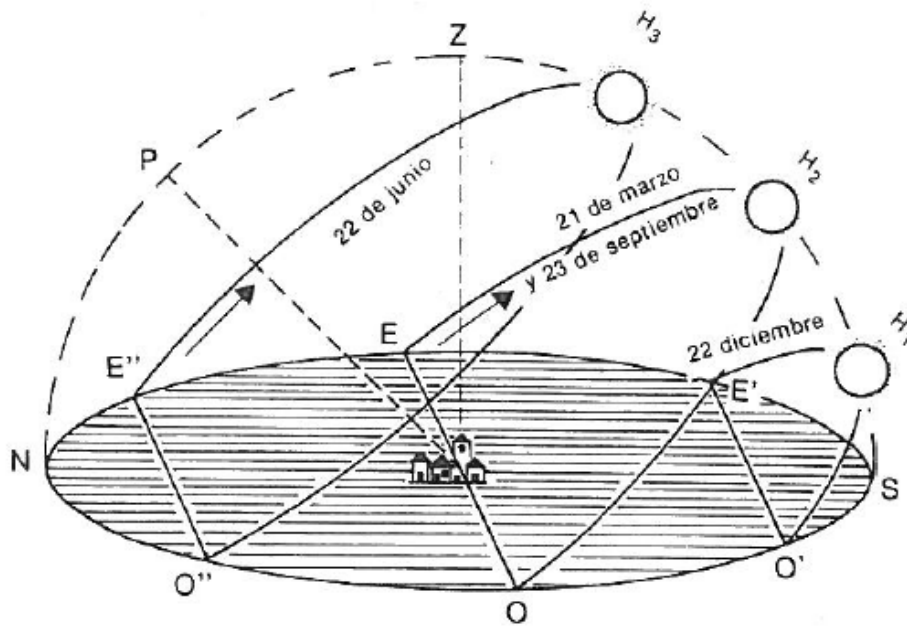
Iluminación de la Tierra en el solsticio de verano

A partir del 21 de junio, se alejan del Norte y se aproximan, respectivamente, al Este y al Oeste, cuyas posiciones vuelven a ocupar el 22 de septiembre (equinoccio de otoño). Luego se acercan al punto Sur, hasta el 22 de diciembre (solsticio de invierno), del cual se alejan después. Transcurrido un año, vuelven a coincidir con los puntos Este y Oeste.

b) Altura del Sol. El recorrido diurno del Sol el 22 de diciembre es por un paralelo de latitud Sur $23^{\circ} 27'$ que se llama Trópico de Capricornio; en los equinoccios pasa por el ecuador, y en el día más largo, por otro círculo paralelo de latitud Norte $23^{\circ} 27'$ llamado Trópico de Cáncer.

A una distancia del Polo Norte igual a $66^{\circ} 33'$ (o sea, $90^{\circ} - 23^{\circ} 27'$) de latitud, el Sol no se pone durante las 24 horas del día en que se produce el solsticio de verano. Este punto determina el Círculo Polar Ártico. En tal fecha, el Sol a medianoche pasa rozando el horizonte, pero vuelve a remontarse sin ocultación. El día de solsticio de invierno ocurre el fenómeno contrario: el Sol no aparece en toda la jornada, no es visible.

En esta zona polar el Sol no se pone o no es visible durante unos días, cuyo número va aumentando conforme nos acercamos al Polo. Allí, la noche o invierno polar dura seis meses y el verano otros seis, durante los cuales el Sol no aparece en el horizonte en el primer caso, o no desaparece en el segundo. Fenómenos iguales, pero en fechas inversas, tienen lugar en el Polo Sur, dentro del Círculo Polar Antártico.



Recorrido del Sol en los solsticios y equinoccios

Trazando horizontes de distinta inclinación en esta misma esfera, podemos ver el aspecto del movimiento diurno del Sol en distintas latitudes. Además, como cada día se desplaza un poco el punto por donde sale el Sol, enseguida comprendemos que no son paralelos independientes los círculos que describe en la bóveda celeste, sino que los círculos se continúan unos con otros dando como resultado una trayectoria helicoidal como si fuésemos enrollando un hilo desde un Trópico al otro, efectuando un total de 183 vueltas.

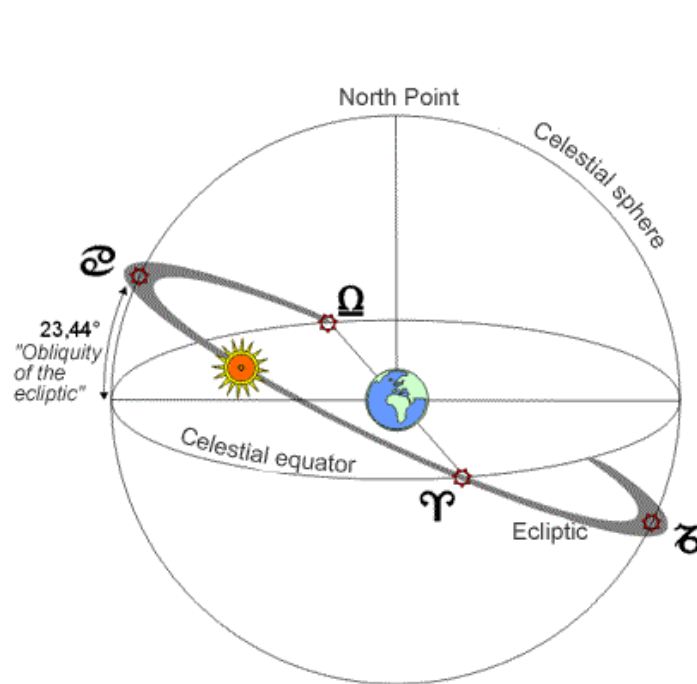
c) Paso del Sol a través de distintas constelaciones.-Si el Sol y las estrellas fuesen visibles simultáneamente, sería fácil comprobar el movimiento del Sol en la esfera celeste, pero a falta de ello, puede verificarse este fenómeno observando el aspecto del cielo en diversas épocas del año y en momentos en que el Sol ocupa una determinada posición respecto al horizonte: por ejemplo, dos horas después de su puesta o dos horas antes de su salida. Se aprecia de este modo que el Sol, en el transcurso de un año, atraviesa sucesivamente grupos estelares distintos.

La eclíptica

La consecuencia natural del movimiento del Sol, o más exactamente, la trayectoria que sigue el Sol en el cielo recibe el nombre de eclíptica. Esta trayectoria en la esfera celeste es un círculo máximo que forma con el ecuador celeste un ángulo de $23^{\circ} 27'$ llamado inclinación del Sol u oblicuidad de la eclíptica. La denominación de eclíptica proviene del hecho de que los eclipses no son posibles más que cuando la Luna se encuentra sobre dicho círculo o muy próxima a él.

En la eclíptica destacan cuatro puntos importantes ya mencionados anteriormente: el punto A donde el Sol alcanza su máxima altura sobre el Ecuador en el Hemisferio Norte, mientras que para el Hemisferio Sur representa el punto más bajo. Esto

ocurre el 21 de junio y señala el día en que comienza el verano en el Hemisferio Norte y el principio del invierno en el Hemisferio Sur.



La eclíptica

Siguiendo el curso aparente, el 22 de septiembre, el Sol corta al ecuador celeste en el punto B, que corresponde a la entrada del otoño en el Hemisferio Norte y el principio de la primavera en el Hemisferio Sur. La posición del Sol en dicho día recibe el nombre de Punto Libra. Nuestro astro continúa su carrera aparente y el 21 de diciembre llega al punto e, más bajo del Hemisferio Norte y más alto respecto del Hemisferio Sur, indicando en el primero el principio del invierno y en el segundo el del verano.

A partir de entonces, el Sol remonta nuevamente su camino hacia el Hemisferio Norte y cruzando el ecuador celeste por el punto D, el 21 de marzo inicia la primavera en dicho hemisferio y el otoño en el Hemisferio Sur. En dicho día el Sol se encuentra en el llamado Punto Aries, de cuya importancia hablaremos más adelante en capítulo aparte.

Finalmente, el Sol se remonta hasta llegar al punto A con lo cual ha realizado un ciclo completo.

Estos cuatro puntos A, B, C y D marcan el inicio de una diferencia de radiación solar que se da a lo largo del año y que condicionan las estaciones:

- Desde el 22 de diciembre al 21 de marzo, invierno (89-90 días).
- Desde el 21 de marzo al 22 de junio, primavera (93 días).
- Desde el 22 de junio al 23 de septiembre, verano (93 días).
- Desde el 23 de septiembre al 22 de diciembre, otoño (90 días).

La explicación sobre la distinta duración de las estaciones se debe a que el movimiento aparente del Sol no es uniforme y sobre ello hablaremos en el tema siguiente.

El punto Aries o Vernal

La intersección del ecuador celeste con la eclíptica, o el punto del cielo en el que aparece el Sol en el instante del equinoccio de primavera el 21 de marzo, recibe el nombre de punto Aries o punto Vernal. Dicha denominación procede del hecho de que hace dos mil años, cuando en la astronomía helénica se determinaron las reglas del movimiento aparente celeste y se puso en uso tal nomenclatura, ese punto se encontraba en la constelación de Aries.

Y decimos que se encontraba porque el punto Aries de aquella época se ha desplazado más de 30° y ahora se encuentra en la constelación de Piscis, o sea, que ha retrogrado una constelación entera (debido a la precesión de los equinoccios), y está próximo a entrar en Acuario.

El método usado por los astrónomos para señalar cómo se encuentra el punto Aries es el de seguir, día a día, el movimiento aparente del Sol a lo largo de la eclíptica calculando su declinación (distancia angular desde el Sol al ecuador celeste). Cuando dicho valor sea nulo obtendremos el punto Aries o el punto Libra según la época del año.

La medida del tiempo

Las unidades de medida: día, semana, mes, año

Una definición lógicamente satisfactoria de lo que entendemos por tiempo es, sin duda, difícil de dar. No andaremos muy desencaminados si lo definimos como «aquella variable que expresa la sucesión de un fenómeno y su duración».

Esta idea implica un concepto de movimiento dado que de no existir algún tipo de relación entre algo inmóvil, o relativamente inmóvil, y algo móvil, no es posible establecer tiempos. Por tanto, si la Tierra y todos los astros se encontraran inmóviles en el espacio careceríamos de puntos exteriores de referencia que nos permitieran darnos cuenta de que existe un tiempo astronómico.

La Mecánica Celeste y la Astronomía de posición han proporcionado no sólo el primero, sino uno de los sistemas de mayor precisión y regularidad para la medida del tiempo. El método utilizado se basa en la consideración del movimiento continuo de un sistema físico que tenga lugar a velocidad uniforme (rotación de la Tierra, «traslación» del Sol, etc.). El procedimiento consiste en elegir de entre todas las posiciones por las que pasa ese sistema físico una serie de ellas y aceptar que dos intervalos de tiempo entre dos sucesos consecutivos son iguales cuando los espacios recorridos por el sistema también lo son.

Desde las épocas más remotas, la primera unidad de medida del tiempo fue el día, considerado como un ciclo completo de luz y de oscuridad. Más tarde, a medida

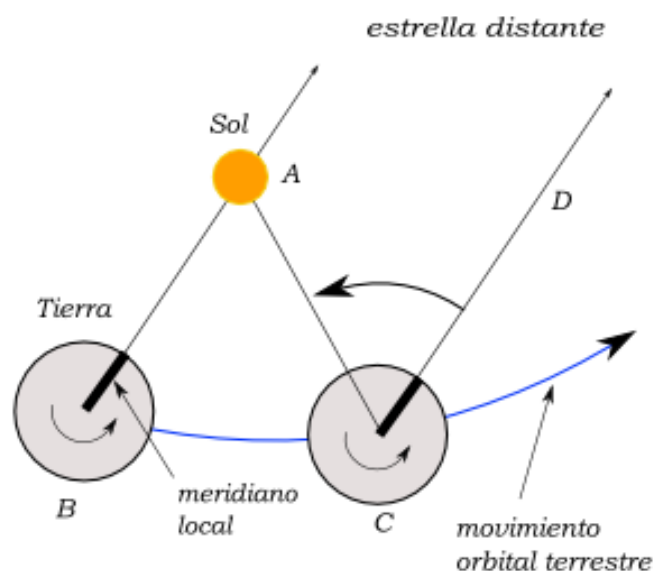
que progresaba la civilización se introdujeron en el uso el año, referido al Sol, y el mes referido en un principio a las fases lunares y después a una subdivisión convencional del año.

En términos generales diremos que un día es el tiempo que necesita la Tierra para dar una vuelta alrededor de su propio eje. Pero, ¿cómo sabemos que ha dado una vuelta completa? En seguida se presentan tres puntos de referencia distintos: el Sol, una estrella lejana y el punto Aries. Por desgracia, estos tres puntos ideales nos dan un día diferente cuya duración depende del astro de referencia elegido en cada caso.

El día sidereal es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de una estrella determinada por el meridiano del lugar (1 día sidereal = 23 horas, 56 minutos, 4'091 segundos). Su duración coincide con el periodo de rotación de la Tierra.

El día sidéreo es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del punto Aries por el meridiano del lugar. Como dicho punto Aries retrograda 50 seg/año, se tiene que el día sidereal es aproximadamente $50/365 = 0'14$ seg/día mayor que el día sidéreo .

El día solar verdadero es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano del lugar. Haciendo observaciones en distintas épocas del año, se comprueba que los días solares así definidos no son todos iguales debido a que la Tierra acelera su movimiento de traslación en el perihelio, mientras que se mueve más lentamente en el afelio.



Diferencia entre día sidereal y día solar verdadero

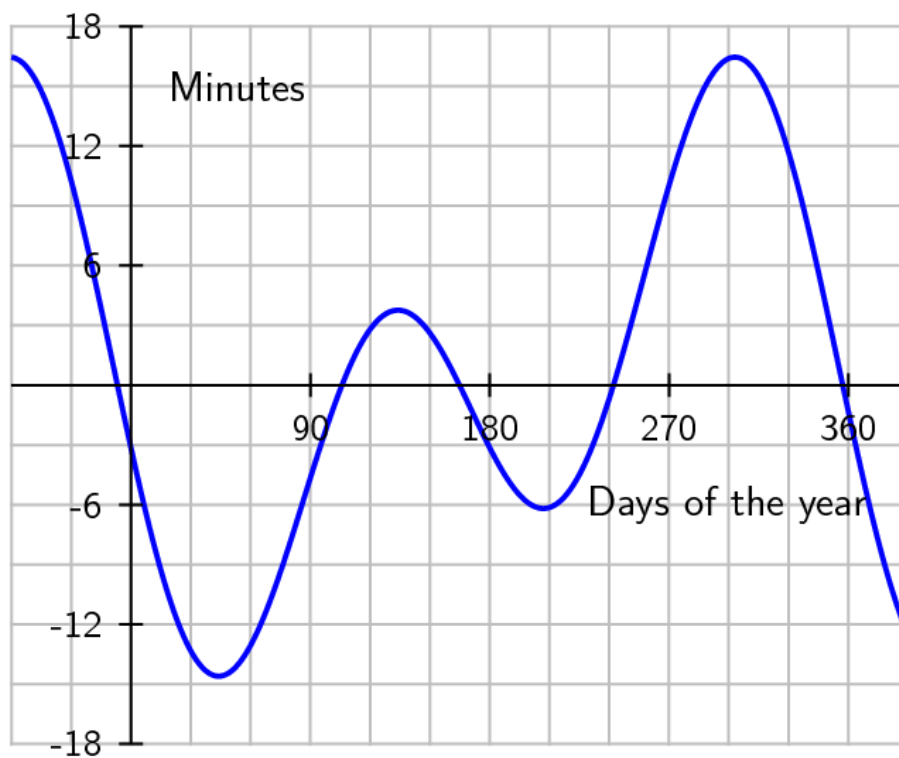
Cuando el Sol se encuentra en su paso superior se dice que es mediodía y cuando está en el inferior se dice que es medianoche. Para usos astronómicos se considera que el día comienza cuando el astro de referencia culmina superiormente,

mientras que en la vida cotidiana se toma como origen la culminación inferior del Sol, por lo que comienza a medianoche.

En la vida civil nos servimos del llamado día solar medio en el cual se considera al Sol provisto de un movimiento uniforme y describiendo una órbita sobre el ecuador celeste en lugar de la eclíptica. Este día solar medio representa el promedio entre todos los días solares verdaderos.

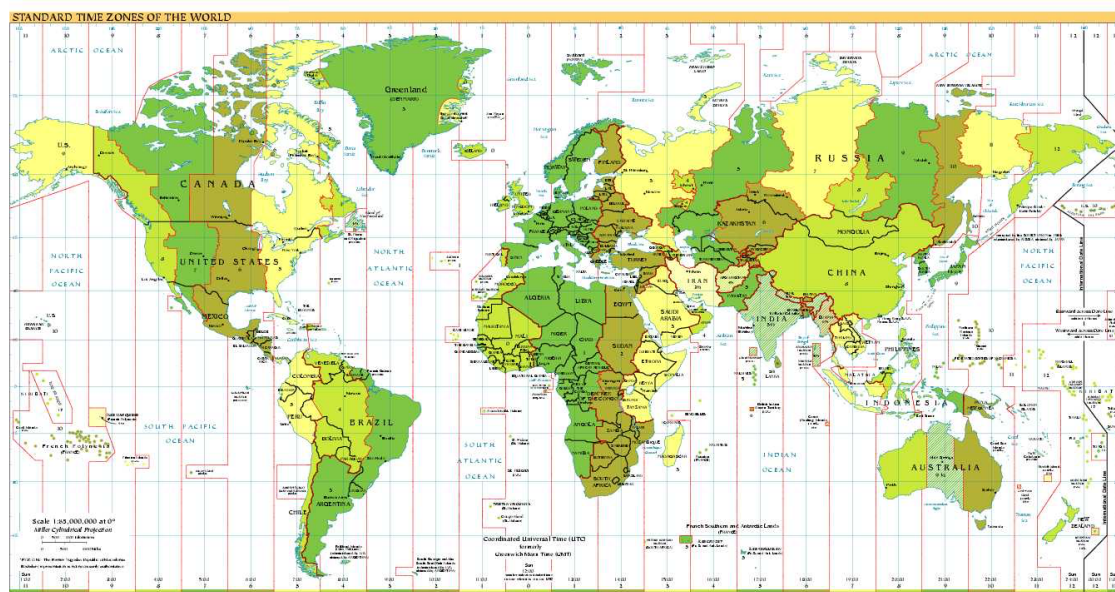
1.-Tiempo aparente es el tiempo que marca el Sol verdadero 2.-Tiempo medio es el que marca el sol medio 3.-Tiempo local es el tiempo medio en cada lugar. Varía cuatro minutos por grado de longitud

En cada día del año hay una diferencia entre el día solar medio y el día solar verdadero, excepto el 16 de abril, 14 de julio, 1 de septiembre y 24 de diciembre. El intervalo de tiempo entre el día solar verdadero y el día solar medio es lo que se llama Ecuación del tiempo y su valor se puede visualizar comparando la hora del reloj con la hora marcada por un reloj de Sol. En dicha ecuación del tiempo los valores obtenidos unas veces son positivos y otras negativos.



La ecuación del tiempo

Con el fin de no tener que atrasar o adelantar los relojes incluso en viajes cortos en dirección E-W, se ha introducido lo que se denominan husos horarios, resultantes de dividir la Tierra en 24 zonas de 15' que van del Polo Norte al Polo Sur y donde dentro de cada huso rige la misma hora aunque para evitar que pueblos de una misma nación tengan hora diferente, las líneas divisorias de los husos no son meridianos exactamente, sino que se adaptan a las fronteras de cada país.



Mapa de los husos horarios

La semana de siete días está relacionada con las fases de la Luna. No la utilizaron ni los egipcios, ni los griegos, ni los chinos, los cuales contaban por décadas. Su origen, al parecer, es judío y corresponde a los días de la creación según el Génesis. Su empleo en Occidente fue posterior al siglo 111 d. de C.

Los nombres de los cinco primeros días de la semana proceden de los astros Luna, Marte, Mercurio, Júpiter y Venus, el sábado, el día hebreo de igual nombre, y el domingo, procede de dies dominica que quiere decir «día del Señor», si bien esto sucede sólo en los países latinos pues en los anglosajones el séptimo día es el día del Sol. (Sunday en inglés).

Nuestro único satélite es el cuerpo más brillante del cielo después del Sol y llamó poderosamente la atención del hombre desde los tiempos más remotos por la indudable regularidad de sus fases, lo que dio lugar a una de las primeras formas de cómputo del tiempo denominados calendarios lunares.

Los pueblos primitivos, al no disponer de otras formas de medir el tiempo más que aquellas que se basaban en la sucesión del día y de la noche o de las fases de la Luna, debieron de atribuir a esta última una gran importancia, puesto que la duración del ciclo lunar (mes lunar) coincide con el período menstrual de la mujer, que solía ir acompañado de diversos tabúes.

Todos los calendarios de la antigüedad, salvo el egipcio, se elaboraron con base al calendario lunar: calendario mesopotámico (12 meses de 29 días); calendario judío (que incluía periódicamente un mes suplementario); calendario griego (12 meses de 30 días). El calendario musulmán, empleado todavía en muchos países árabes, comprende 12 meses de 29 y 30 días alternativamente. Su noveno mes, llamado Ramadán, es el del ayuno ritual. La era mahometana cuenta el tiempo desde la hégira o el día de la huida de Mahoma de Medina a la Meca, el 15 de julio de 622.

Sin embargo, aunque la lunación se tomó como unidad de tiempo mayor que el día, resultó ser demasiado corta en cálculo de mediciones tales como: la edad de una persona, fecha de un acontecimiento histórico, etc. Por otra parte, con la aparición de la agricultura se hizo necesario introducir alguna forma de división que correspondiese a la sucesión de circunstancias climáticas con las que va asociado el desarrollo de las plantas.

De este modo apareció una división basada en las estaciones, a las que, de forma natural, se intentó asociar un cierto número de meses lunares. No obstante, esta solución no pudo resultar efectiva debido a la distinta duración de cada una de las estaciones y a que su sucesión está regida por el ciclo solar y no por el lunar (exactamente, por el llamado año trópico).

El año, tal y como se conoce actualmente, es un concepto que se ha desarrollado relativamente tarde en la historia de la humanidad y cuya explicación expondremos al hablar del calendario.

En nuestros días, si exceptuamos algunos países árabes como Arabia Saudita, Yemen y los Emiratos del Golfo Pérsico que utilizan el llamado año musulmán basado en el año lunar que consta de 12 meses de 29 ó 30 días y que computa 354 días, aunque eventualmente se intercala un día en el último mes, totalizando 355 días, el resto de los países consideran al año como «el tiempo que transcurre durante una revolución completa de la Tierra en su órbita alrededor del Sol.

Debido que para medir una revolución completa hay que fijar unos puntos de referencia, la Astronomía conoce otros tipos de años, definidos de forma diferente y con duración, naturalmente diferente. Se llama año sideral al tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos del Sol por una misma posición entre las estrellas. Su duración es de 365'25636 días solares medios, o sea, 365 días, 06 horas, 09 minutos, 9'55 segundos.

Se llama año trópico al tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos del Sol por el punto Aries. Corresponde a nuestro año solar y su duración es de 365'24220 días, o sea, 365 días, 05 horas, 48 minutos, 45'57 segundos.

Se llama año anomalístico al tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos de la Tierra por el perihelio. Tiene una duración de 365'25954 días solares, o sea, 365 días, 06 horas, 13 minutos, 53'21 segundos.

Se llama año civil al año de uso que por razones prácticas debe abarcar un número entero de días. Tiene una duración de 365 días o 366 días.

El calendario

La palabra calendario tiene su origen en un vocablo latino con el cual los romanos convocaban al pueblo el primer día de cada mes para anunciarles los días de fiesta y los destinados a recaudación de impuestos.

De este primer día, llamado Kalendas deriva la palabra calendario. Hoy se define como la distribución del tiempo en períodos adecuados a las necesidades civiles y religiosas. Estos períodos son: el año, el mes, la semana y el día.

Remontándonos un poco en el devenir histórico encontramos que los primeros calendarios se confeccionaron a base de observaciones lunares, pero por circunstancias ya expuestas anteriormente, muchos pueblos antiguos prefirieron guiarse por el movimiento aparente del Sol, que, además de ser la causa del día y la noche, es el que determina la aparición de las diferentes estaciones.

Los egipcios fueron los primeros en establecer un calendario solar basado en observaciones astronómicas: el año egipcio constaba de 12 meses de 30 días cada uno, más cinco días suplementarios llamados «días inciertos». En principio, el origen del año comenzaba el día en que Sothis (la estrella Sirio) se hacía visible por encima del horizonte, ya que esta fecha coincidía, aproximadamente, con las crecidas del Nilo.

El primitivo calendario griego constaba de 12 meses lunares con un total de 345 días y era común a todas las ciudades, aunque los nombres de los meses o el inicio del año variaba de unas a otras. La incompatibilidad de estos hechos y la del año lunar con el año solar se resolvió pronto intercalando 3 meses de 30 días en cada periodo de 8 años. Con ello la duración media del año quedaba fijada en 365'25 días.

Los romanos tuvieron un calendario muy rudimentario y no se preocuparon demasiado de la búsqueda de los valores exactos del día, del mes y del año hasta que Julio César, en el año 45 a. de C., auxiliado y aconsejado por Socígenes, célebre astrónomo y matemático de Alejandría, estableció el llamado calendario juliano (antecesor directo de nuestro actual calendario), en el cual, el año quedó dividido en 12 meses de 30 ó 31 días, excepto febrero, que tenía 28, con un total de 365 días a los que se añadía un día más cada 4 años. Ello daba lugar a tres años normales y uno anormal, llamado bisiesto. Este año anormal tenía un día más, o sea, 366 en total, y ese día se añadía al final, es decir, en febrero, puesto que los romanos empezaban el año en marzo.

Cuando se consideró el comienzo del año en enero, los nombres originarios de los meses se conservaron y han llegado a nosotros sin sufrir ninguna modificación, lo cual no tiene mayor importancia en el caso de los meses relacionados con la Mitología (Marte es marzo, Juno es junio) o con los emperadores dioses (julio por Julio César, agosto por Augusto), pero en cambio producen ciertas discordancias en aquellos meses que llevan nombre ordinal como son septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Y es que estos meses significan, en su originario nombre latino, séptimo, octavo, noveno y décimo, lo cual era cierto al principio cuando el año comenzaba en marzo, pero dejó de serlo al hacer coincidir el comienzo del año con el de enero. Un pequeño error etimológico que venimos arrastrando nada menos que desde hace veinte siglos.

El año juliano calculado por Socígenes resultó ser unos once minutos más largo de lo previsto que el año trópico, lo que supone unas 18 horas de más por siglo, lo cual acumulado siglo a siglo dio lugar a una diferencia apreciable en el siglo XVI. La reforma gregoriana establecida en 1582 por el papa Gregorio XIII, tras consultar a los sabios de la época, tuvo por objeto conseguir la concordia entre el año juliano y el año trópico, puesto que el primero excedía en 3 días cada 400 años al segundo.

En esta época el adelanto del calendario juliano era de unos 10 días con respecto al año trópico. Así pues, la reforma consistió, en primer lugar, en suprimir 10 días, de forma que el día siguiente al 4 de octubre de 1582 fue el 15 de octubre de 1582; se estableció además que los años seculares (últimos de cada siglo) sólo fuesen bisiestos si los dos primeros números son múltiplos de cuatro, como 1.600, 2.000, 2.400 ... (1700, 1800 Y 1900 no han sido por lo tanto bisiestos).

De esta manera, la duración del año gregoriano quedó fijada en 265'2425 días, o sea, 365 días, 05 horas, 49 minutos, 12 segundos. es decir, con un error respecto al año trópico de un día cada 3.323 años.

Esta reforma fue adoptada inmediatamente por la mayoría de los países católicos, dándose en España el caso curioso de que Santa Teresa de Jesús murió la noche del 4 de octubre de 1582 y estuvo teóricamente sin recibir sepultura hasta el 15, que en realidad fue el día siguiente. Paulatinamente se sumaron otras naciones: Gran Bretaña lo hizo en 1752, la URSS en 1918, Grecia en 1923 y en la actualidad su aceptación es casi universal.

Coordenadas astronómicas

El problema que trata de resolver la Astronomía de posición consiste fundamentalmente en determinar las posiciones que ocupan los astros en el firmamento, independientemente de la enorme distancia a las que se hallan. Dada la pequeña longitud del radio terrestre en comparación con tales distancias, es factible identificar la Tierra con un punto del espacio, con lo cual, las posiciones en que se encuentran los distintos observadores -que en realidad varían con su localización geográfica-pueden considerarse coincidentes. Dicho punto se toma como centro de la esfera celeste, sobre cuya superficie se sitúan las posiciones aparentes de los astros. De este modo, aunque la visión del observador sea incapaz de apreciar las distancias relativas que les separa de los astros, distingue los puntos de intersección de la superficie esférica con las visuales dirigidas hacia los distintos cuerpos celestes y puede calcular su distancia angular (arco de círculo máximo comprendido entre dos astros).

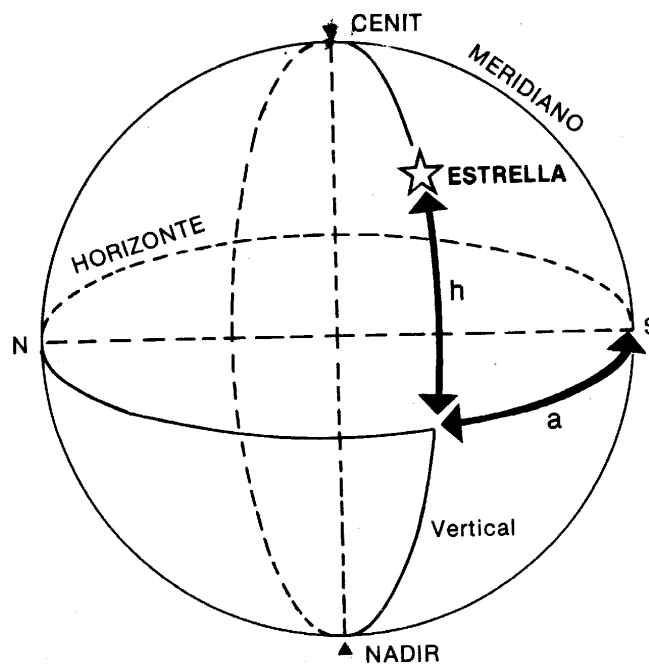
Para situar sobre la esfera celeste estas posiciones aparentes es preciso elegir un sistema determinado de coordenadas esféricas. Ello equivale a elegir:

- a) Un eje llamado eje fundamental o de referencia.
- b) Un círculo máximo, determinado por la intersección de la esfera celeste con un plano perpendicular al eje y que se denomina círculo fundamental .

- e) Dos coordenadas, una de las cuales se mide sobre el círculo fundamental y la otra sobre los semicírculos máximos que pasan por los puntos de intersección de la esfera celeste con el eje.
- d) Un sentido de medición de los arcos, que como ya dijimos, recibe el nombre de directo cuando se efectúa en sentido contrario al recorrido por las agujas del reloj, y se llama retrógrado cuando ocurre lo contrario.

Coordenadas altacimutales u horizontales

Son aquellas que están referidas al horizonte del observador. En este sistema, el origen de coordenadas es un punto de la superficie terrestre, es decir, es un sistema topocéntrico cuyo eje fundamental es la vertical del lugar (línea que sigue la dirección de la plomada). Su punto de intersección con la esfera celeste situado encima del observador se llama cenit, y el opuesto, nadir. El círculo fundamental es el horizonte del lugar. Los círculos menores paralelos al mismo se denominan almucantarates y los semicírculos máximos que pasan por el cenit, el nadir y un astro determinado reciben el nombre de círculos verticales o vertical del astro.



Coordenadas horizontales

Las coordenadas horizontales son: la altura (altitud) y el acimut. La altitud es la altura del astro sobre el horizonte (arco de semicírculo vertical comprendido entre el horizonte del lugar y el centro del astro); se mide de 0 a 90 grados a partir del horizonte, y tiene signo positivo para los astros situados por encima de éste (y, por consiguiente, visibles) y negativos para los situados debajo del horizonte; se representa por la letra h .

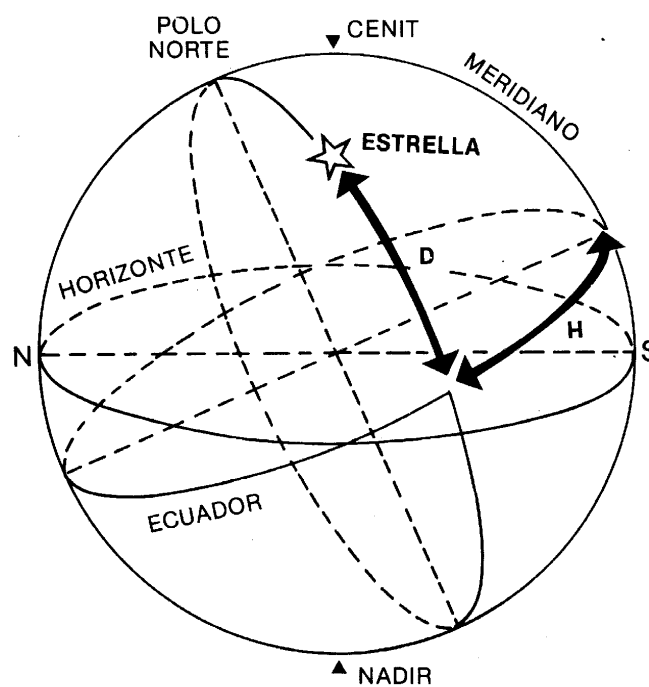
Con frecuencia se emplea, en lugar de la altura, la distancia cenital, que es el arco de semicírculo vertical comprendido entre el cenit y el centro del astro. Se representa por Z y se relaciona con la altura por la ecuación: $h = 90 - Z$.

El acimut es el arco del horizonte medio en sentido retrógrado desde el punto Sur hasta la vertical del astro. Su valor va de 0 a 360 grados y se representa por la letra A o a .

En el sistema de coordenadas horizontales, la altitud y el acimut de los astros cambia constantemente por efecto de la rotación terrestre y también según el horizonte del observador, por lo que habrá que tener presente que los valores obtenidos estarán en función del tiempo y del lugar.

Coordenadas horarias o ecuatoriales locales

En este sistema de coordenadas, el origen es el centro de la Tierra, es decir, es un sistema geocéntrico. El eje fundamental es el eje del mundo, que corta a la esfera celeste en dos puntos llamados polos. El plano fundamental es el ecuador celeste, y los círculos menores paralelos al mismo reciben el nombre de paralelos celestes o círculos diurnos de declinación.



Coordenadas ecuatoriales horarias

Las coordenadas horarias son: el ángulo horario y la declinación. El ángulo horario es el arco de ecuador celeste medido en sentido retrógrado desde el punto de intersección del meridiano del lugar con el ecuador hasta el círculo horario de un astro; se mide en horas, minutos y segundos, desde las 0 horas hasta las 24 horas y se representa por H .

La declinación es el arco del círculo horario comprendido entre el ecuador celeste y el centro del astro. medido de 0 a 90 grados a partir del ecuador; su valor es positivo cuando corresponde a un astro situado en el hemisferio boreal, y negativo en caso contrario; se representa por D.

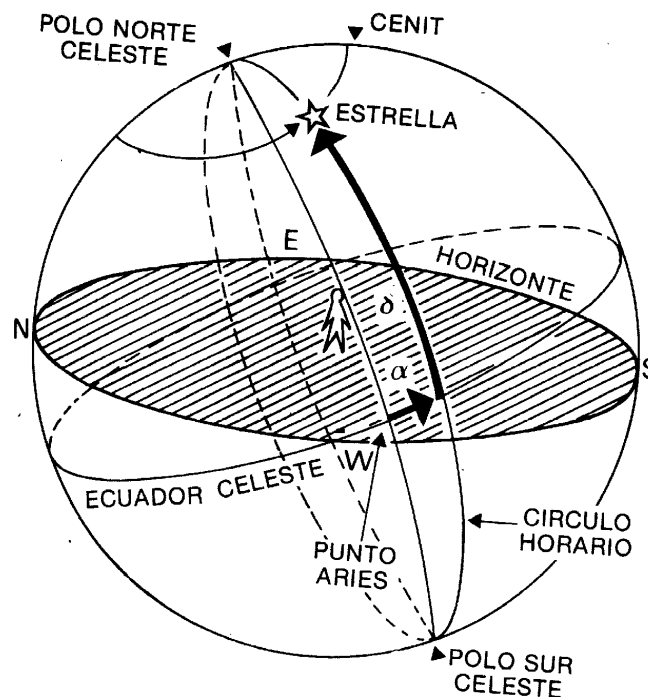
Con frecuencia, en lugar de la declinación se mide la distancia polar que es el arco del círculo horario medido desde el polo boreal hasta el centro del astro. Se representa por p y se relaciona con la declinación por la fórmula $p + d = 90$.

En este sistema de coordenadas horarias la declinación es invariable respecto al lugar de observación, puesto que una estrella en su movimiento recorre un arco de círculo paralelo al ecuador. Por el contrario, el ángulo horario se mide a partir del meridiano del lugar y dependerá de la posición del observador, así como de la hora en que se efectúa la medición.

Coordenadas ecuatoriales

Son aquellas que están referidas al ecuador celeste. También se las llama coordenadas celestes o uranográficas. Este tipo de coordenadas surgió por los inconvenientes que presentan la utilización de coordenadas locales, de las que ya hemos dicho que varían con el tiempo, y obtener unas coordenadas que sean constantes.

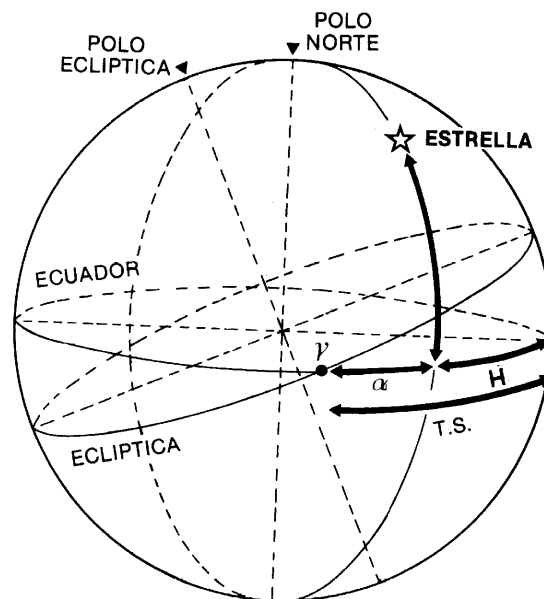
El eje fundamental es el mismo que el del sistema de coordenadas horarias, así como el resto de los demás elementos.



Coordenadas ecuatoriales

Las coordenadas ecuatoriales absolutas son: la declinación y la ascensión recta. La declinación ya fue definida en el sistema de coordenadas horarias. La ascensión recta es el arco de ecuador celeste medio en sentido directo a partir del punto Aries hasta el meridiano que contiene al astro. Varía de 0 horas a 24 horas y se representaba por AR o α .

La ascensión recta está relacionada con el ángulo horario por la ecuación fundamental de la Astronomía de posición: $\theta = \alpha + H$ en donde θ es la hora sidérea. Esta fórmula permite pasar de coordenadas ecuatoriales absolutas a horarias y viceversa, por lo que necesitaremos conocer la hora sidérea en el momento de observación. También se puede pasar a coordenadas horizontales pero el cálculo es más complejo.



Relación entre ascensión recta y ángulo horario

Dado que el punto Aries es común para todos los observadores, las coordenadas ecuatoriales son universales y permanecen constantes en el tiempo. La ascensión recta es igual a la hora sidérea cuando culmina el astro.

Las constelaciones y el zodiaco

La fantasía de los antiguos les hizo ver en las inmutables posiciones de las estrellas, representaciones de figuras de animales, dioses o cosas -toro, silla, perro- simbolizadas en el cielo, que les servía para poderse orientar. Estas agrupaciones estelares constituyen las constelaciones.

Todo el cielo está repartido en áreas que tienen límites precisos y cada área contiene una de las antiguas constelaciones que le da el nombre a dicha zona. Una constelación, por lo tanto, no tiene ningún significado objetivo físico, es simplemente una región del cielo con estrellas enmarcadas en unos límites que

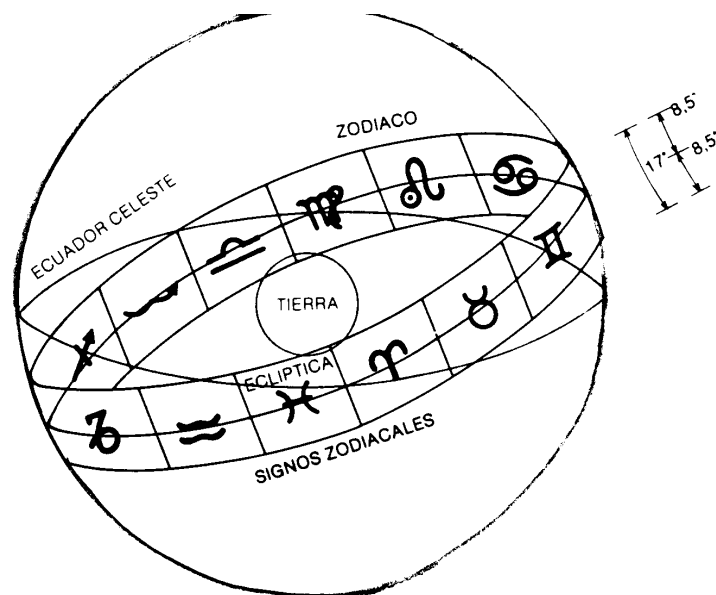
siguen siempre meridianos y paralelos celestes, con líneas zigzagueantes, que nos recuerdan el mapa de los Estados Unidos con los límites rectilíneos entre varios estados. Por comodidad, dicha subdivisión del cielo en constelaciones ha perdurado hasta nuestros días permitiendo una ventajosa localización y nomenclatura de las estrellas luminosas y de las que tienen un interés especial, como las novas, los pulsares. etc.

Las constelaciones son en total 88; de éstas 48 han llegado hasta nosotros desde la antigüedad y 40 han sido introducidas en la época moderna (casi todas las nuevas constelaciones se encuentran en el hemisferio austral que era desconocido para las antiguas civilizaciones mediterráneas).

Las constelaciones varían de posición a lo largo del año, motivo por el cual vemos el cielo de distinta forma. En España son visibles unas 70 constelaciones.

El zodiaco es el nombre dado a una franja extensa de la esfera celeste limitada por dos planos paralelos a la eclíptica, situados a $\pm 8'5''$ de distancia, y que los antiguos astrónomos griegos bautizaron así y que significa zona o casa de animales porque casi todas las constelaciones que existen en ella recuerdan la figura de un animal.

Dentro de esta franja se mueven aparentemente el Sol, la Luna y los planetas a excepción de Plutón. Esta zona se dividió en doce sectores de 30° cada uno, que se distinguían por el nombre de la constelación respectiva y se denominaron «signos del zodiaco»,



El zodiaco

Esto se confeccionó porque los astrónomos de la antigüedad, al igual que nos sucede ahora, no podían ver el Sol proyectado contra las estrellas por impedirsele la iluminación de éste, pero fueron anotando qué constelaciones eran las que precedían a su salida y cuáles eran las que le seguían al ponerse. De esta manera

llegaron a precisar que el Sol, durante el año, iba correspondiendo con períodos regulares a doce constelaciones que llamaron del zodiaco y que están ordenadas como sigue: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis.

Obviamente, semejante operación no la realizan actualmente todos los astrónomos por ser muy larga y complejísima, sino que la llevan a cabo algunos observatorios y posteriormente la publican en almanaques mediante un dato que equivale a la marca del punto Aries en el cielo.

Puesto que la serie de signos zodiacales tiene su comienzo precisamente en el punto Aries y éste ha retrogradado una constelación, se desplazan también todos los otros signos con respecto de las constelaciones, las cuales por el contrario, permanecen fijas en el cielo. Así, por ejemplo, cuando se dice que el Sol está en Escorpión se entiende siempre el signo y no la constelación porque el signo de Escorpión se ha trasladado a la constelación precedente, es decir, a la de Libra. Para saber cuál de los signos zodiacales estará en el cielo nocturno añadiremos doce horas a la ascensión recta de la constelación en la que está el Sol, lo que nos llevará a la posición diametralmente opuesta en la esfera celeste. Así en marzo/abril la constelación zodiacal es Virgo y en noviembre/diciembre es Tauro.

Crédito: apuntes extraídos del texto "*Curso de Astronomía: teoría y práctica*", de J. Fabregat, M. García y R. Sendra, Ed. ECIR, Valencia, 1984.