

## CAPÍTULO I: ASTRONOMÍA DE POSICIÓN

### 1. Introducción.

El cielo del observador no es inmutable. Según la posición en que éste se encuentre verá un cielo distinto que, a su vez, irá cambiando a lo largo de la noche y en noches sucesivas de observación. Esto se debe, por una parte, a que nuestra posición en la Tierra nos delimita un horizonte de observación y, por lo tanto, no somos capaces de observar el cielo por debajo de ese horizonte y, por otra, a que la Tierra efectúa diversos movimientos en el espacio, como son la rotación sobre su eje y la traslación alrededor del Sol. La rotación de la Tierra se realiza en 23 horas, 56 minutos y algunos segundos de oeste a este. Por tanto, el observador apreciará que la bóveda celeste, y con ella todos los astros, se mueven aparentemente describiendo una vuelta completa, en sentido contrario al de la rotación en ese intervalo de tiempo.

#### 1.1. *Las constelaciones.*

Podemos orientarnos en el cielo si identificamos ciertos astros o las figuras que parecen dibujar algunas estrellas sobre la bóveda celeste y que llamamos **constelaciones**. A pesar de que identifiquemos estas configuraciones por su nombre, debemos tener presente que, por regla general, no existe ninguna relación física entre las estrellas de una misma constelación. Unas pueden estar muchísimo más alejadas que otras y moviéndose en direcciones diferentes. Lo único que tienen en común es que desde la Tierra las vemos más o menos en la misma zona del cielo. De las 88 constelaciones que existen, las que se pueden ver desde el hemisferio norte poseen nombres de héroes, de animales y mitológicos. Sin embargo, las del hemisferio sur, poseen nombres de útiles de navegación y de la cultura de los que las descubrieron a partir del s. XV.

En la actualidad, los astrónomos han dotado a cada constelación de límites bien definidos, por lo que una constelación representa no sólo un grupo de estrellas, sino una región del cielo. Cualquier estrella situada en esa región forma parte de dicha constelación particular. Dentro de cada constelación las estrellas se denotan por las letras griegas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,...en orden de brillo aparente decreciente.

#### 1.2. *La orientación mediante las constelaciones.*

La capacidad de orientarnos en la noche con la ayuda de las estrellas aumenta lógicamente con el conocimiento profundo de las constelaciones, pero a veces cuesta localizarlas debido al movimiento de la Tierra. Las constelaciones visibles sobre el horizonte cambian con la hora y con las estaciones.

Debido al movimiento de rotación de la Tierra de oeste a este, nos parece que las constelaciones se desplazan al revés, es decir, de este a oeste. Una constelación que al anochecer veamos hacia el sur, se irá desplazando hacia el oeste y al cabo de unas horas desaparecerá bajo el horizonte. Pero entretanto, por el este, habrán ido apareciendo nuevas constelaciones, de forma que el aspecto del cielo irá cambiando a lo largo de toda la noche.

Por otra parte, el movimiento de traslación de la Tierra hace que nos parezca que el Sol se mueve hacia el este por entre las estrellas a lo largo del año. Diariamente el Sol se desplaza por el cielo una longitud equivalente al doble de su diámetro aparente, y cada noche, a la puesta del Sol, las constelaciones se ven un grado más

hacia el oeste.

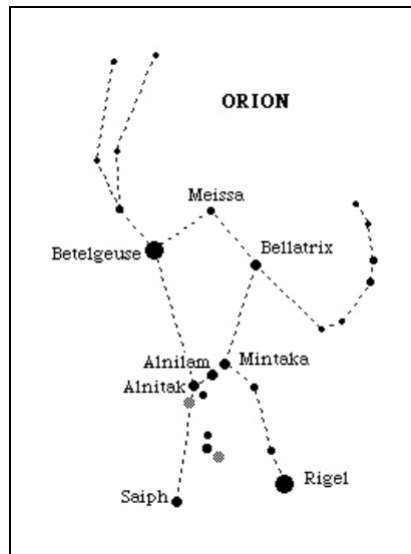


Figura 1.1. La constelación de Orión en el hemisferio norte

### 1.3. *Uso del planisferio.*

La rotación y la traslación de la Tierra hacen conveniente el uso de un planisferio para la observación del cielo, y deberemos seleccionarlo según la hora de la noche y la época del año en que lo queramos observar. Los planisferios poseen dos círculos, uno fijo con las constelaciones, y que indica en los bordes el mes y el día del año, y otro móvil y transparente, en el que aparecen dibujados los puntos cardinales y la hora del día de 0 a 24 h. Una media luna no transparente nos delimita la parte del cielo que podemos ver debido a nuestra latitud (nuestra posición por encima o por debajo del ecuador terrestre). Movemos el círculo móvil hasta que nuestra hora solar<sup>1</sup> se sitúa en el día y el mes en que estamos observando. Para utilizarlo, una vez estamos en la fecha y hora adecuada hay que sostenerlo por encima de la cabeza. Si se observa hacia el norte, debe girarse el mapa hasta que las palabras "horizonte norte" estén en la parte inferior. Si se observa en otras direcciones debe girarse el mapa siguiendo la misma regla. Hacia el norte y los lados este y oeste, las constelaciones parecen distorsionadas como efecto de la proyección de la posición de la esfera sobre un plano; hacia el sur la distorsión es menor. A pesar de esta desventaja, el planisferio resulta útil para irse familiarizando con el cielo nocturno.

---

<sup>1</sup> Hay que tener en cuenta que en invierno vamos adelantados una hora y en verano dos con respecto al tiempo solar (ver apartado de tiempo).

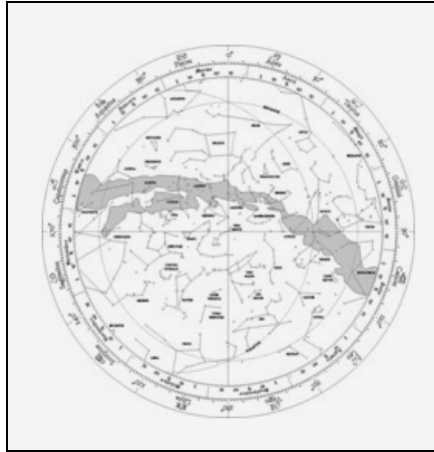


Figura 1.2. Planisferio

## 2. La esfera celeste.

Necesitamos establecer un sistema de referencia para orientarnos y situar las estrellas en el cielo. Éste se puede representar mediante una esfera de radio lo suficientemente grande con relación al radio terrestre como para que ningún lugar de la Tierra esté más cerca de una estrella determinada que otro. Esta esfera se denomina **esfera celeste**.

Ciertos puntos de referencia en la esfera celeste se definen en relación a puntos de referencia en la Tierra. Como se ve en la figura 1.3, la prolongación del eje de rotación terrestre corta a la esfera celeste en dos puntos, los **polos celestes** norte (PNC) y sur (PSC). Éstos permanecen, en primera aproximación, invariables frente a la rotación y a la traslación. El **ecuador celeste** se sitúa a medio camino entre los polos celestes y sobre el ecuador terrestre, pasando por tanto por el centro de la esfera. El **meridiano celeste** o círculo horario es un círculo máximo que pasa por los polos y que, por tanto, es perpendicular al ecuador celeste. Los **paralelos celestes** son círculos no máximos paralelos al ecuador celeste. Otros puntos se definen en relación al observador. El **cenit**, es el punto de la esfera celeste situado sobre el observador y directamente opuesto a la dirección de la plomada. El **nadir** es el punto de la esfera celeste interceptado por la dirección de la plomada. Con relación al cenit y el nadir, se definen el **horizonte celeste** y los **almicantarats**. El horizonte celeste o astronómico es el plano perpendicular a la vertical astronómica y que pasa por el centro de la esfera celeste. Los **círculos verticales** son los círculos máximos análogos a los meridianos celestes. Los **almicantarats** son los círculos no máximos paralelos al horizonte.

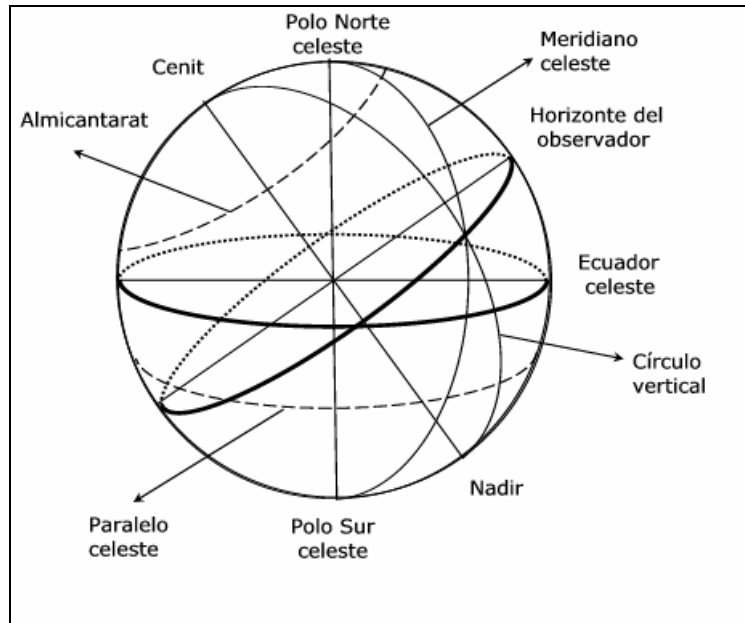


Figura 1.3. La esfera celeste

### 2.1. Unidades de medida.

Habiendo supuesto que el cielo es como una esfera resulta lógico el uso de medidas angulares para establecer la posición de los astros. Las unidades de arco de circunferencia usadas en astronomía son el radián, el grado y la hora.

El radián es el arco de circunferencia de longitud igual al radio. La circunferencia contiene un número exacto de radianes igual a  $2\pi$ . El grado es el resultado de la subdivisión de la circunferencia en 360 partes iguales. A su vez, el grado se divide en sesenta minutos, y el minuto en sesenta segundos, siendo las subdivisiones del segundo decimales.

Por otra parte la circunferencia se divide, además, en 24 partes denominadas horas, cada hora se divide en sesenta minutos y cada minuto en sesenta segundos, siendo las divisiones del segundo decimales.

$$\begin{aligned} 1^\circ &= \pi/180 \text{ rad} = 1^h/15 = 4^m \\ 1' &= \pi/10800 \text{ rad} = 4^m/60 = 4^s \\ 1'' &= \pi/648000 \text{ rad} = 4^s/60 \end{aligned}$$

Como hemos supuesto que todos los astros están situados sobre una superficie esférica, mediante un par de valores angulares podremos fijar su posición. Lo primero que debemos hacer es situar nuestra posición en la Tierra, lo que hacemos mediante las coordenadas geográficas.

### 2.2. Coordenadas geográficas.

Determinan la posición del observador sobre la superficie terrestre. Aunque sabemos que la Tierra está achatada por los polos vamos a suponer, en primera aproximación, que es una esfera perfecta. Un punto cualquiera de la esfera terrestre queda determinado por dos **coordenadas geográficas**: la **longitud** y la **latitud**. Cualquier plano paralelo al del ecuador, comprendido entre los polos norte, N, y sur, S,

corta a la esfera en una circunferencia denominada **paralelo**. Las infinitas esferas que pasan por los polos N y S son los **meridianos** terrestres.

Por cada punto de la esfera pasan, pues, un meridiano y un paralelo, y son estas líneas las que definen las coordenadas geográficas sobre la superficie de la Tierra. Para ello es necesario adoptar un meridiano y un paralelo de origen. Como meridiano origen se toma el que pasa por el observatorio de Greenwich (conferencia de Washington, 1884) y como paralelo de referencia se adopta el ecuador. Se define entonces como **longitud geográfica**,  $\lambda$ , de un observador, el ángulo diedro entre el plano meridiano de Greenwich y el plano meridiano superior del lugar, que viene medido por el arco de circunferencia que ambos meridianos determinan sobre el ecuador. Los astrónomos cuentan la longitud en horas, minutos y segundos de  $0^h$  a  $12^h$ , positivamente hacia el oeste (longitud occidental) y negativamente hacia el este (longitud oriental).

La **latitud geográfica**,  $\phi$ , del observador es el ángulo que la vertical en el lugar, o dirección de la gravedad (hilo de la plomada), que indica el centro de la Tierra, forma con el ecuador. Puede valer desde  $0^\circ$  a  $90^\circ$  en ambos hemisferios, debiéndose especificar de cuál se trata, bien con la inicial N o S, bien mediante el signo + para el norte ó - para el sur. La latitud del ecuador es de  $0^\circ$ .

El plano perpendicular a la vertical real (plomada) en un punto A se denomina **horizonte geográfico** en ese punto, cuya prolongación es el **horizonte celeste**. La intersección de éste con el plano que contiene el meridiano del observador es una recta llamada **meridiana**, orientada en la dirección de los polos N y S. La perpendicular a la meridiana, en el mismo plano del horizonte, señala la dirección Este-Oeste y se llama **primer vertical**. Quedan así determinadas, sobre el plano horizontal, cuatro direcciones o sentidos: Norte, Sur, Este y Oeste. Son los cuatro puntos cardinales.

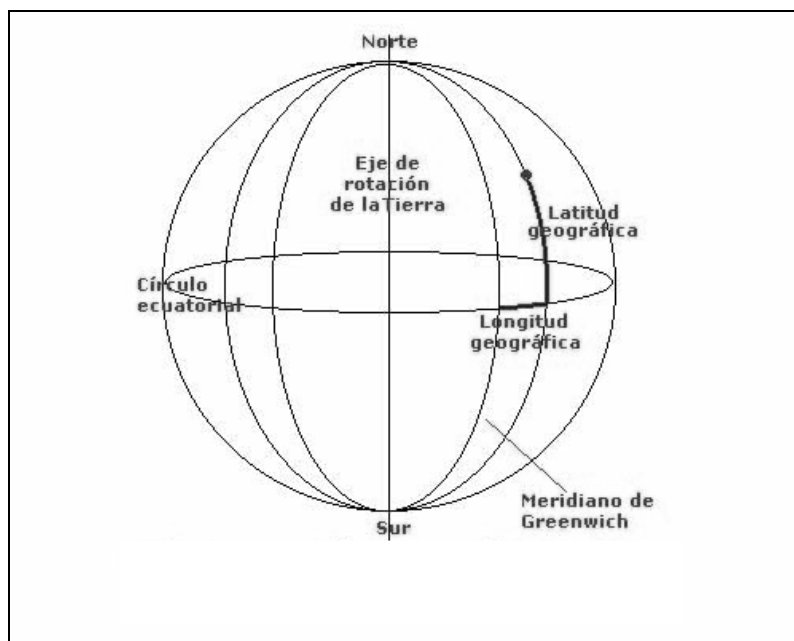


Figura 1.4. Sistema de coordenadas geográficas

### 3. Sistemas de coordenadas.

Los sistemas utilizados habitualmente para indicar la posición de un astro sobre la esfera celeste son: las coordenadas horizontales, horarias, ecuatoriales, eclípticas y galácticas. En el primero de los sistemas, la referencia se toma con respecto a la Tierra. Es la más intuitiva, pero el valor de las coordenadas cambia continuamente a lo largo de la observación y depende de la posición del observador en la Tierra. Los dos sistemas de coordenadas siguientes se refieren a la esfera celeste y son los utilizados para fijar la posición de los astros de modo que cualquier observador, en cualquier punto de la Tierra, pueda utilizarlas fácilmente dado que el sistema de coordenadas se va a desplazar con el fondo estrellado. El sistema de coordenadas eclípticas es especialmente adecuado para describir las posiciones de los planetas y el Sistema Solar en general. Por último, el sistema de coordenadas galácticas resulta útil para describir las posiciones de objetos muy lejanos fuera de nuestra galaxia.

#### 3.1. Coordenadas horizontales.

Proporcionan, en principio, el modo más fácil para situar un astro en la esfera celeste, aunque presentan el inconveniente de estar ligadas a la posición del observador. Son:  $\mathcal{A}$  = acimut y  $a$  = altura. El **plano fundamental** de referencia en estas coordenadas es el horizonte del observador y el **eje fundamental** es el que pasa por el cenit y el nadir. Los círculos máximos que unen estos puntos son los verticales y los círculos secundarios paralelos al horizonte del observador son los almicerantant.

El **acimut**,  $\mathcal{A}$ , de un astro es el arco del horizonte celeste comprendido entre el punto cardinal Sur y el punto donde el vertical que pasa por el astro corta al horizonte, tomado de este a oeste de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

La **altura**,  $a$ , del astro es el arco del vertical que pasa por el astro. Se cuenta a partir del horizonte de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , positivamente hacia el cenit y negativamente hacia el nadir. Al ángulo complementario se le llama distancia cenital,  $c$ . De acuerdo con estas definiciones, la altura del polo celeste (aproximadamente la de la estrella polar) es **numéricamente igual**, a la latitud astronómica del lugar de observación (ver figura 1.5 ).

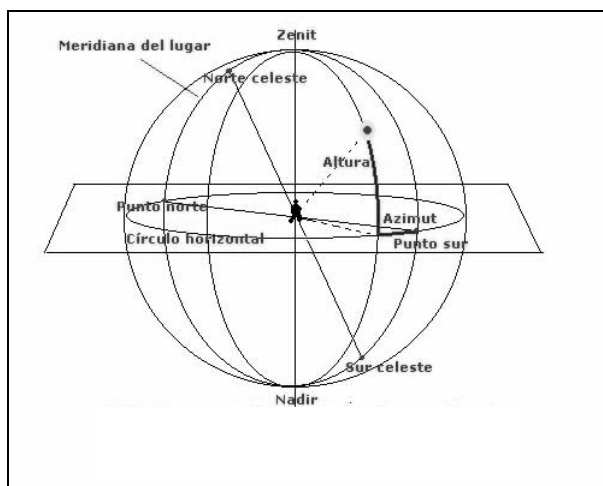


Figura 1.5. Sistema de coordenadas horizontales

### 3.2. Coordenadas horarias.

Son:  $\mathcal{H}$  = ángulo horario y  $\delta$  = declinación. El **plano fundamental** de referencia es el ecuador celeste, que define como **eje fundamental** el eje polar que pasa por los polos celestes norte, N y sur, S. Los círculos máximos que unen estos puntos son los meridianos celestes, también llamados círculos horarios, y los círculos no máximos paralelos al ecuador celeste, los paralelos celestes.

El **ángulo horario**,  $\mathcal{H}$ , de un astro es el ángulo, medido sobre el ecuador, desde el meridiano del observador hacia el oeste y hasta el meridiano que pasa por la posición del astro.

La **declinación**,  $\delta$ , es el ángulo, medido sobre el círculo horario, que pasa por la posición de la estrella, a partir del ecuador celeste. Puede valer entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , positivamente hacia el polo N y negativamente hacia el polo S. El ángulo complementario de la declinación es la distancia polar,  $\mathcal{P}$ .

La declinación de un astro es una cantidad constante. Sin embargo, a consecuencia del movimiento diurno, el astro recorre su paralelo celeste con movimiento uniforme. El ángulo horario,  $\mathcal{H}$ , varía con el tiempo, siendo  $0^\circ$  cuando la estrella cruza el meridiano del observador alcanzando su altura máxima.

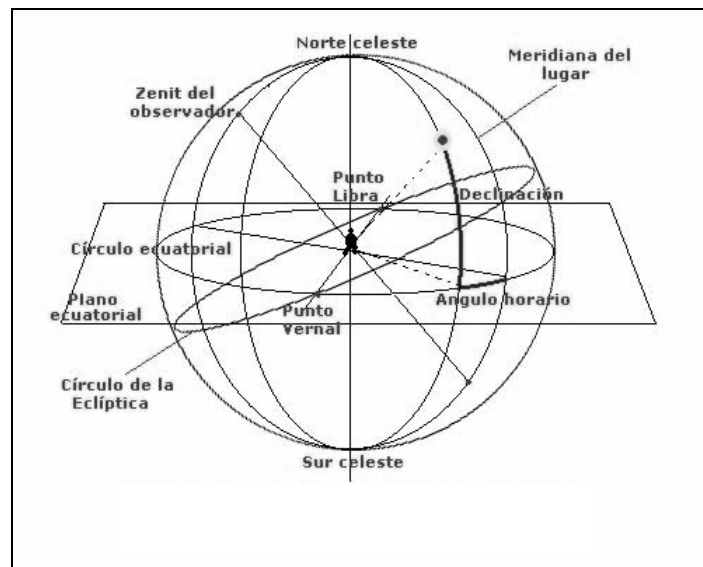


Figura 1.6. Sistema de coordenadas horarias

### 3.3. Coordenadas ecuatoriales.

Son:  $\delta$  = declinación y  $\alpha$  = ascensión recta. Al igual que en el sistema de coordenadas horarias, el plano fundamental de referencia es el ecuador celeste y el eje fundamental es el eje N-S.

La **declinación** ya se ha definido y la **ascensión recta** se mide sobre el ecuador celeste, de 0 a 24 horas a partir de un punto fijo y hacia el este. El punto fijo,  $\gamma$ , es el **punto Aries** o **punto Vernal**: uno de los puntos de corte entre el ecuador celeste y la **eclíptica** como se denomina a la trayectoria aparente que describe el Sol en su movimiento sobre el fondo del cielo a lo largo del año.

En este sistema de referencia, las dos coordenadas que definen la posición del

astro permanecen fijas, por lo que constituyen un sistema de referencia que, en primera aproximación, no depende del tiempo. Por este motivo, estas son las coordenadas que figuran en los catálogos de objetos astronómicos.

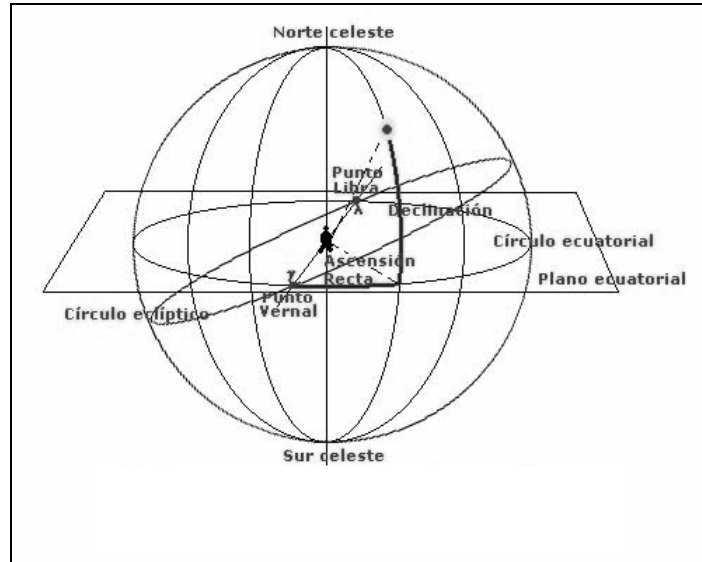


Figura 1.7. Sistema de coordenadas ecuatoriales

### 3.4. Coordenadas eclípticas.

Son:  $\lambda$  = longitud eclíptica y  $\beta$  = latitud eclíptica. El plano fundamental de referencia es el plano de la eclíptica y el eje fundamental es el que une los polos N y S de la eclíptica que se denotan con las letras K y K', respectivamente.

La **longitud eclíptica**,  $\lambda$ , se mide sobre la eclíptica, a partir del punto Aries,  $\gamma$ , en dirección hacia el este y hasta el meridiano del objeto.

La **latitud eclíptica**,  $\beta$ , se mide sobre el meridiano del objeto, positiva hacia el polo norte de la eclíptica y negativa hacia el polo sur.

Este sistema de coordenadas es adecuado para estudiar la posición del Sol y para describir los movimientos planetarios.

### 3.5. Coordenadas galácticas.

Son:  $l^{\text{II}}$  = longitud galáctica y  $b^{\text{II}}$  = latitud galáctica. El plano fundamental de referencia es el ecuador galáctico, que forma un ángulo de  $62,6^\circ$  con respecto al ecuador celeste y el eje fundamental es el que une los polos N y S galácticos, que se designan con las letras G y G', respectivamente.



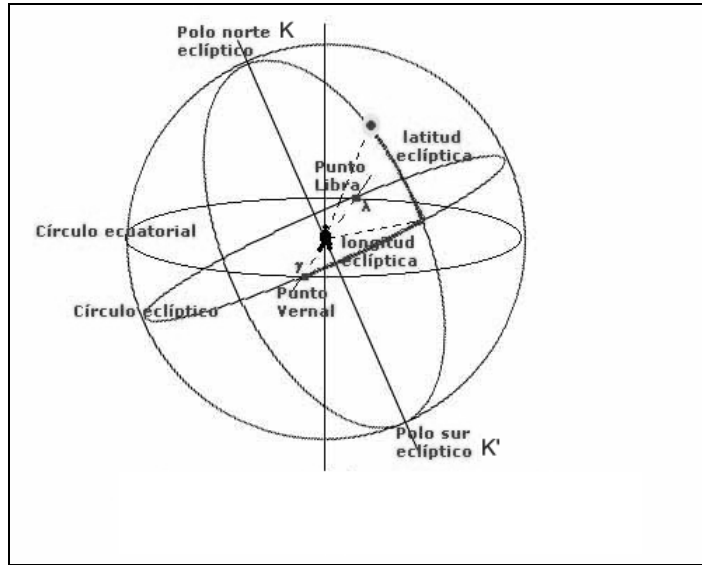


Figura 1.8. Sistema de coordenadas eclípticas

La longitud galáctica,  $l^{\text{II}}$ , es el ángulo, medido sobre el ecuador galáctico, desde un punto de referencia, L, hasta el círculo máximo que pasa por el objeto en sentido de ascensión recta creciente. Se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . La latitud galáctica,  $b^{\text{II}}$ , se mide desde el ecuador galáctico sobre el círculo máximo que pasa por el objeto, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , positivo hacia G y negativo hacia  $G'$ .

De acuerdo con la Unión Astronómica Internacional, el punto de referencia, L, indica la dirección del centro galáctico y forma un ángulo sobre el ecuador galáctico de  $123^\circ$  con respecto al círculo máximo que pasa por los polos celestes y galácticos.

Estas coordenadas resultan útiles para estudiar las posiciones de objetos en la galaxia y de otras galaxias.

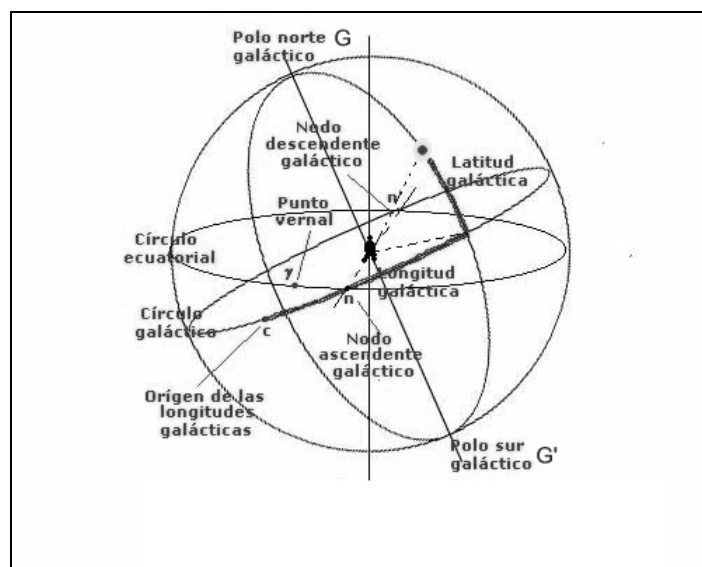


Figura 1.9. Sistema de coordenadas galácticas

Las posiciones de los objetos se encuentran habitualmente en catálogos astronómicos en coordenadas ecuatoriales dado que es el sistema de referencia más absoluto. Es posible pasar de un sistema de coordenadas a otro utilizando las fórmulas de Bessel de trigonometría esférica (ver Apéndice Matemático). Hoy en día estos algoritmos están incluidos en programas astrométricos de uso común.

<b>RESUMEN DE SISTEMAS DE COORDENADAS</b>		
<u>Sistema</u>	<u>Plano de Referencia</u>	<u>Coordenadas</u>
Geográfico	Ecuador terrestre	$-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ, -12^h \leq \lambda \leq 12^h$
Horizontal	Horizonte celeste	$-90^\circ \leq a \leq 90^\circ, 0^\circ \leq \mathcal{A} \leq 360^\circ$
Horario	Ecuador celeste	$-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ, 0^h \leq \mathcal{H} \leq 24^h$
Ecuatorial	Ecuador celeste	$-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ, 0^h \leq \alpha \leq 24^h$
Eclíptico	Plano de la eclíptica	$-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ, 0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$
Galáctico	Plano de la galaxia	$-90^\circ \leq b^{\text{II}} \leq 90^\circ, 0^\circ \leq l^{\text{II}} \leq 360^\circ$

#### 4. Movimiento diurno de los astros: ortos, ocasos y culminaciones.

Un observador que mire el cielo verá, en su sistema de referencia asociado, cómo cualquier objeto sale por el este, aumenta su altura hasta transitar cruzando el meridiano del observador, momento que se conoce como **culminación**, disminuye su altura y se pone por el oeste. Los puntos de salida y puesta de los astros se denominan **orto** y **ocaso**.

Una estrella que se encuentre sobre el ecuador celeste ( $\delta = 0$ ) sale por el punto E y se pone por el punto O, permaneciendo  $12^h$  sobre el ecuador celeste y  $12^h$  bajo él.

Una estrella de declinación positiva ( $\delta > 0$ ) pasa más de  $12^h$  sobre el ecuador celeste y se pone por un punto situado al NO.

Una estrella de declinación negativa ( $\delta < 0$ ) pasa menos de  $12^h$  sobre el ecuador celeste y se pone por un punto situado al SO.

Hay estrellas cuyo paralelo de declinación se encuentra siempre por encima del horizonte del observador. Estas estrellas se denominan **circumpolares** y transitan por el meridiano dos veces, por lo que presentan una **culminación superior** y una **inferior**.

Para un observador situado en el polo norte terrestre, todas las estrellas del hemisferio norte celeste son circumpolares. Sin embargo, para un observador situado en el ecuador terrestre, el plano del horizonte contiene la línea de los polos y por tanto no hay ninguna estrella circumpolar. Para un observador situado en el polo sur terrestre, todas las estrellas del hemisferio sur celeste son circumpolares.

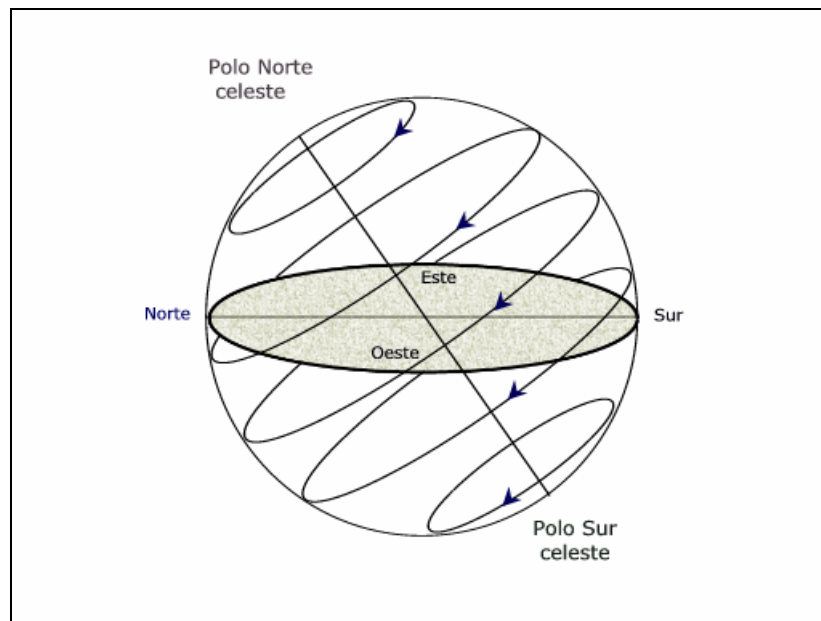


Figura 1.10. Orto y ocaso de las estrellas

## 5. Medida del tiempo.

La relación de las coordenadas del astro (posición) en función de la variable tiempo, se denota en lenguaje astronómico con el nombre genérico de **efemérides** del astro.

La medida del tiempo y del día ha sido de gran importancia para la humanidad. Aunque podríamos utilizar para medir el día dos tránsitos consecutivos de cualquier estrella por el meridiano del lugar, mediríamos días ligeramente distintos al escoger estrellas distintas, dado que éstas tienen un movimiento propio. Para obviar esta dificultad, se escoge como referencia el punto Aries,  $\gamma$ , y se define en función de él el **día sidéreo**. Comienza el día sidéreo cuando el punto Aries pasa por el meridiano del observador

La definición que hemos dado de día sidéreo supone implícitamente la constancia de la posición del punto Aries. Sin embargo, debido a los efectos de precesión y nutación (ver sección 6), la posición del punto Aries no es fija y, del mismo modo, el ecuador celeste no es un círculo máximo fijo. Para solucionar este problema, se introduce un punto Aries medio,  $\gamma^m$ , que define el **tiempo sidéreo medio**, TSM. La diferencia entre el tiempo sidéreo verdadero, definido anteriormente, (TSV) y el tiempo sidéreo medio (TSM) se conoce con el nombre de **Ecuación de los Equinoccios**:  

$$\text{TSV} = \text{TSM} + \text{EE}$$

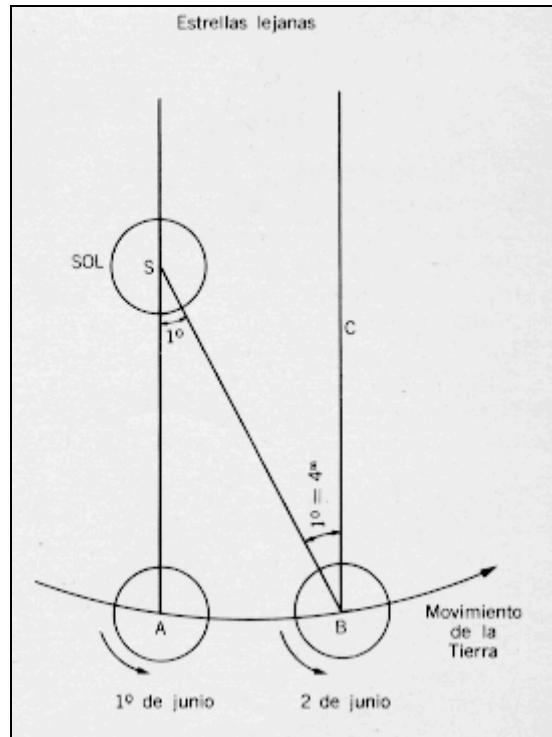


Figura 1.11. Día sidéreo

En términos de coordenadas astronómicas, el tiempo sidéreo medio, TSM, es el ángulo horario del punto Aries medio. Por lo tanto, para cualquier objeto se verifica:  $TSM = \alpha + H$  y cuando el objeto culmina, su ascensión recta iguala a su ángulo horario.

Pero para el hombre, la estrella más familiar es el Sol y los primeros instrumentos utilizados para medir las horas del día fueron relojes de Sol. A causa del movimiento diurno, el centro del Sol cruza periódicamente el meridiano superior de un lugar determinado a mediodía. El período de tiempo transcurrido entre dos culminaciones consecutivas del centro del Sol constituye el **día solar verdadero**. Los días solares verdaderos, sin embargo, resultan desiguales y varían irregularmente a lo largo del año debido a que: a) la órbita aparente del Sol alrededor de la Tierra es una elipse en la que ángulos iguales no son barridos por el radio vector en tiempos iguales; b) el camino del Sol en el cielo a lo largo del año, la eclíptica, está inclinado  $23,5^\circ$  con respecto al ecuador celeste. De esta forma, los relojes de Sol se ven afectados por la época del año y no van siempre a la misma velocidad (se atrasan y adelantan).

Para solucionar este problema, se introdujo un cuerpo ficticio: el **Sol Medio**, que se mueve sobre el ecuador celeste en la dirección de ascensión recta creciente con velocidad angular constante e igual a la velocidad angular media del Sol sobre la eclíptica. El tiempo transcurrido entre dos culminaciones sucesivas del Sol Medio por el meridiano del observador es el **día solar medio**, que tiene 24 horas solares medias. El día solar medio es ligeramente mayor que el día sidéreo medio y la relación entre ambos es 1,00274.

La relación entre las posiciones del Sol Verdadero y del Sol Medio en un instante dado se denomina **Ecuación del Tiempo**, ET:

$$ET = \alpha (\text{Sol Medio}) - \alpha (\text{Sol Verdadero})$$

y varía aproximadamente entre -14 y +16 minutos.

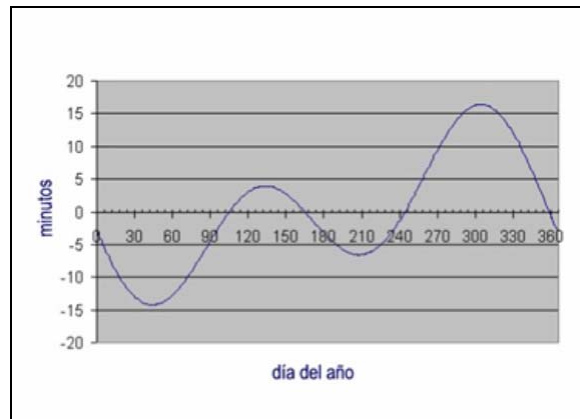


Figura 1.12. Ecuación del tiempo

Los tiempos así definidos se refieren a la posición del observador. Pero una escala común de tiempo requiere la definición de un meridiano de referencia. Dicho meridiano es el que pasa por Greenwich. El paso del Sol Medio por el meridiano de Greenwich define el mediodía medio en ese lugar. Debido a los inconvenientes que supone que el cambio de día se produzca en medio de la actividad cotidiana, en 1925 se decidió sumar al tiempo solar medio de Greenwich 12h de modo que el cambio de día ocurrirá a medianoche, definiéndose así el Tiempo Civil.

Las medidas de tiempo más importante utilizadas hoy son, por tanto, las siguientes:

a) **Tiempo Civil Local**, TCL, que es, por definición, el tiempo solar medio local (TSML) aumentado en doce horas. Se empieza a contar, por consiguiente, a medianoche, instante en el que cambia la fecha del día. En un mismo meridiano se tiene por definición:

$$TCL = TSML + 12^h$$

Así, por ejemplo, las 17 h de tiempo solar medio del 9 de marzo corresponden a las 5 h de tiempo civil del 10 de marzo referidas al mismo meridiano local.

b) **Tiempo Universal**, TU, que es el tiempo civil referido al meridiano de Greenwich y, como todo tiempo civil, comienza a contarse desde la medianoche.

### 5.1. Calendario.

Nuestro calendario tiene su origen en el calendario romano que se basaba en las fases lunares.

Posteriormente se adoptó el calendario Juliano (propuesto por Julio César) basado en el año sidéreo (con respecto a una estrella). Este año tenía una duración de 365 días y 6 horas, por lo que cada año tenía 365 días y cada cuatro (año bisiesto) se añadía un día más.

En el s. XVII el Papa Gregorio XIII impulsó la creación de un calendario basado en las estaciones, es decir, en el año trópico (el punto de referencia era el punto Aries). Este año es 11 minutos menor que el Juliano y origina menos desfases, por lo que poco a poco ha sido adoptado por todos los países. Cada año tiene 365 días y cada cuatro años (año bisiesto) se añade un día más. Pero no son bisiestos los años divisibles por 100 y sí lo son los divisibles por 400. De esta forma, los años 1600 y 2000 han sido bisiestos, pero el 2100 no lo será.

## 5.2. Fecha Juliana.

Jose Scaliger propuso en 1582, contar ininterrumpidamente los días con un período que fuera múltiplo de los calendarios utilizados comúnmente en su época y, por otra parte, resultara suficientemente extenso para abarcar los acontecimientos históricos desde la antigüedad. Encontró un período de 7980 años, que denominó periodo **juliano** en honor de su padre. Estableció una escala continua de tiempo fijando como instante origen del periodo juliano el mediodía medio en Greenwich del 1 de enero del año 4713 a.C. a partir del cual se van contando los días solares en una sucesión continua. En Astronomía esta escala es de gran importancia práctica para datar fenómenos astronómicos extendidos a largos periodos de tiempo

La fecha juliana de un evento es el número del día juliano en que ocurre seguido de la fracción decimal de día transcurrida desde el mediodía precedente hasta el instante considerado.

## 6. Precesión y nutación de la tierra.

La fuerza gravitatoria del Sol y de la Luna actúan sobre la Tierra, que es más abultada en el ecuador que en los polos, intentando hacerla girar verticalmente. Por otra parte, la gravedad trata de hacer caer a la Tierra y, como resultado, el eje de la Tierra precesa, moviéndose como una peonza.

**La precesión de los equinoccios** fue descubierta por Hiparco en el 125 a.C. Al comparar longitudes y latitudes estelares concluyó que  $\beta$  era constante, pero  $\lambda$  aumentaba 50" cada año. El hecho de que  $\beta$  fuera constante lo interpretó como indicación de que el plano de la eclíptica permanecía fijo. El hecho de que  $\lambda$  aumentase lo interpretó como signo de que el punto Aries se movía de forma retrógrada 50" cada año. Es decir, el ecuador celeste y el polo norte celeste, precesan. El movimiento del PNC tiene lugar sobre un pequeño círculo de radio  $\epsilon$  cuyo polo es K.

Al movimiento retrógrado del punto Aries se le denomina "precesión de los equinoccios". Una revolución completa del punto Aries tiene lugar cada 25920 años.

Las coordenadas ecuatoriales, ascensión recta y declinación de una estrella, que se miden con referencia al ecuador celeste, deben cambiar a causa de la precesión. Los catálogos estelares dan las coordenadas de las estrellas con respecto a un ecuador y un equinoccio vernal determinado, normalmente correspondientes al comienzo del año 1950 ó 2000 y calculan las modificaciones correspondientes a la época de observación.

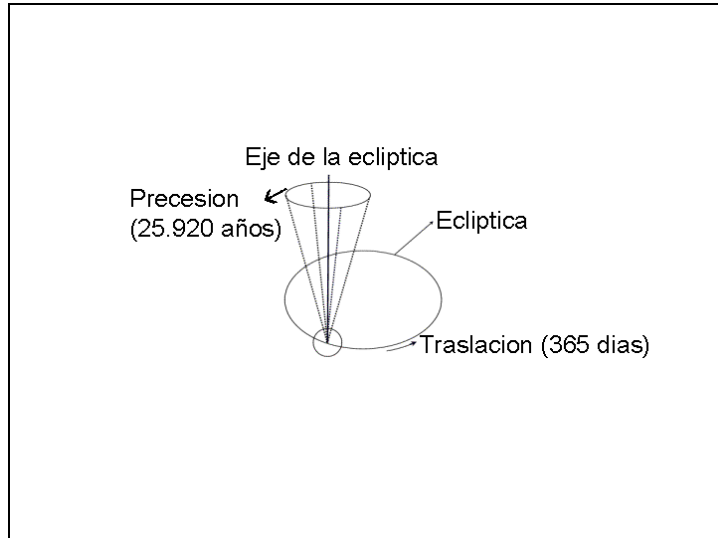


Figura 1.13. Precesión del eje terrestre

Una de las consecuencias de la precesión, es el cambio de la posición de la estrella polar ya que, a medida que el polo celeste va desplazándose por el cielo, se sitúa en las cercanías de una u otra estrella. Dentro de unos 12000 años, el polo se habrá separado de la Polar y estará cerca de Vega.

Newton, alrededor de 2000 años después de su descubrimiento, mostró que la precesión de los equinoccios se debe a la atracción gravitatoria del Sol y la Luna sobre la Tierra, que no es totalmente fásica y está rotando. Como tanto la Luna como el Sol se mueven aparentemente sobre órbitas inclinadas con respecto al ecuador celeste, la atracción ejercida por ellos no pasa a través del centro, C.

Ambos efectos combinados reciben el nombre de **precesión Luni-Solar**. Además de este efecto, hay que considerar el de los demás objetos del Sistema Solar. Si consideramos el ecuador fijo, este efecto se traduce en un movimiento del polo de la eclíptica, K.

Los efectos de precesión Luni-Solar y precesión planetaria se conocen bajo el término de **precesión general**.

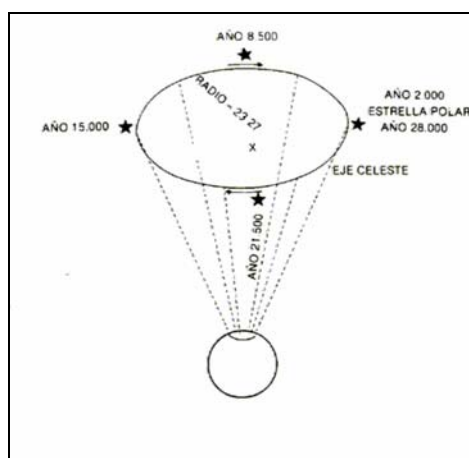


Figura 1.14. Desplazamiento del Polo Norte celeste en el cielo.

La nutación fue descubierta por Bradley alrededor del año 1730 como cambios en la declinación de las estrellas con un período de 18,6 años y que se deben a variaciones del polo celeste con respecto a su posición media. Estas variaciones son ocasionadas por la atracción de la Luna sobre el ecuador celeste. Las perturbaciones nutacionales son relativamente pequeñas, de sólo segundos de arco.

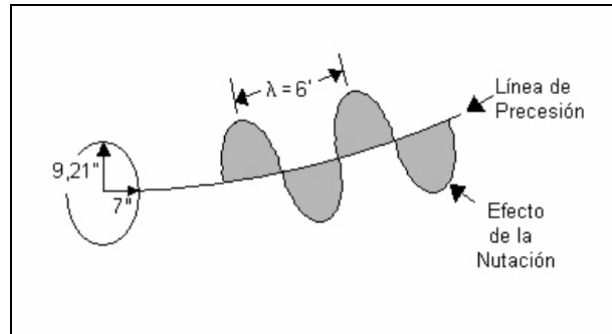


Figura 1.15. Movimiento de nutación de la Tierra

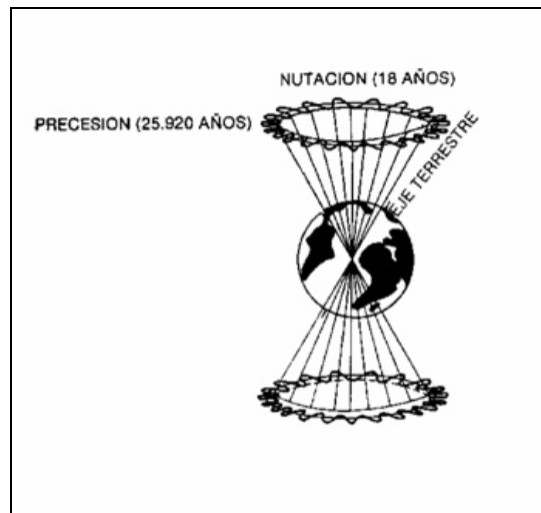


Figura 1.16. Movimientos de precesión y de nutación combinados