

## 2. Astronomía de Posición

- **Astronomía esférica:**
  - La esfera celeste. Precesión y nutación. Paralaje. Medidas del tiempo. Calendario. Estaciones
- **Constelaciones:**
  - División del cielo en constelaciones. El Zodíaco. Nombres de las estrellas y catálogos

# Proyección en la esfera celeste

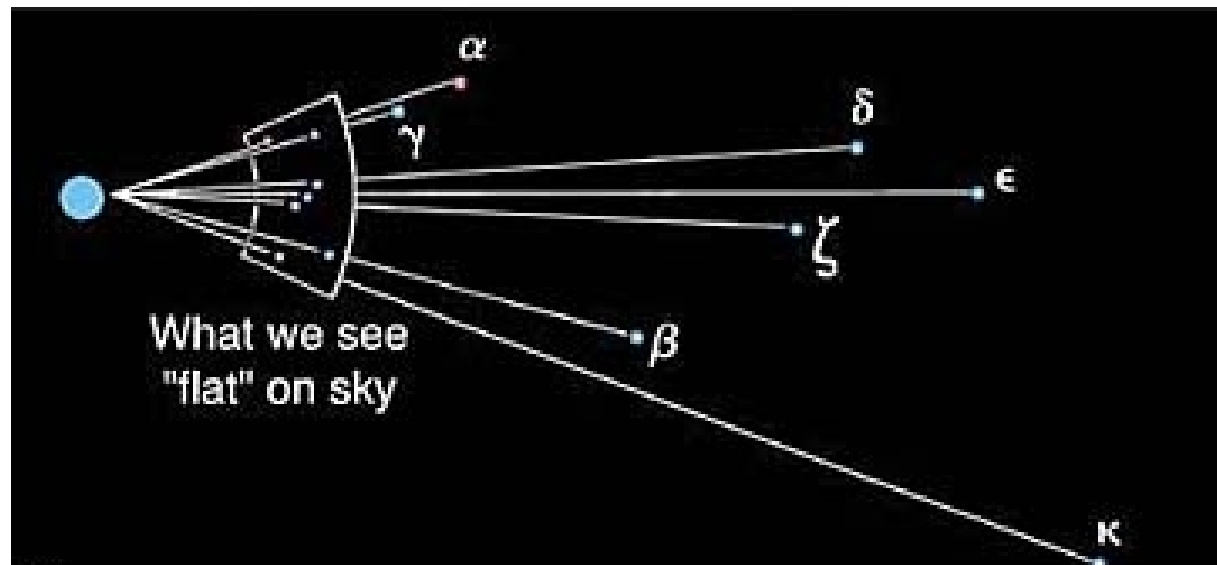


(a)



(b)

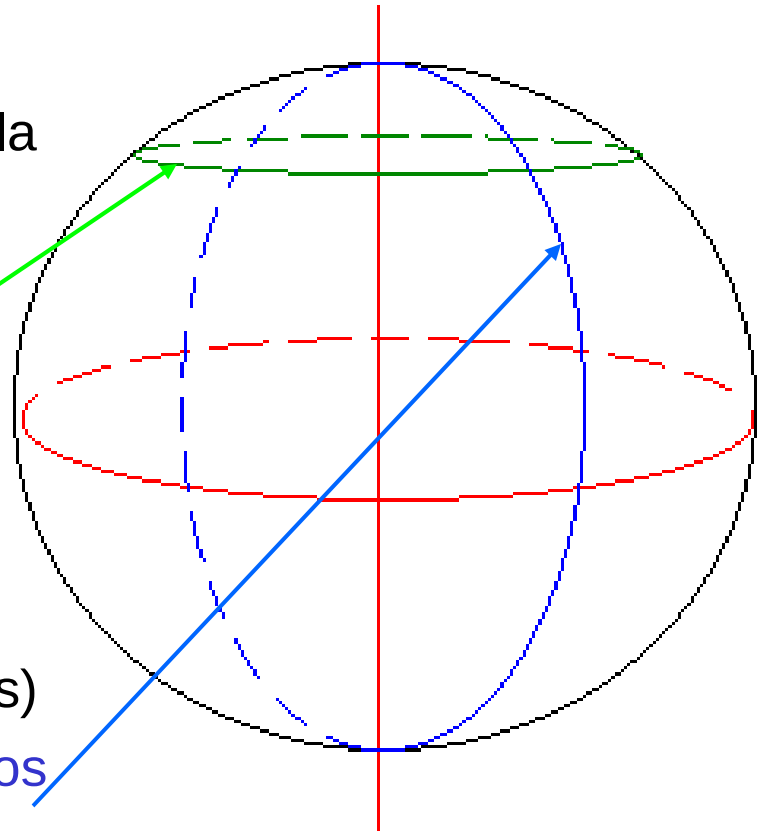
- Aunque hoy sabemos que los objetos astronómicos están distribuidos en tres dimensiones, sigue siendo cómodo describir sus posiciones en el cielo sobre la “esfera celeste” siendo su distancia a nosotros la tercera dimensión



(c)

# Trigonometría esférica

- Trata los ángulos y triángulos sobre la esfera
- Círculos máximos:
  - Circunferencias cuyo centro es el de la esfera
  - Un arco de  $cm_{\text{máx}}$  es la distancia mínima sobre la esfera
- Referencia:
  - Eje de rotación, plano ecuatorial
  - **Ecuador y Polos**
  - Círculos en planos  $\parallel$  Ecuador: **paralelos** (no son  $cm_{\text{máx}}$ , sino menores)
  - $cm_{\text{máx}}$  en planos  $\perp$  Ecuador: **meridianos**
  - Un plano/eje y un punto definen coordenadas

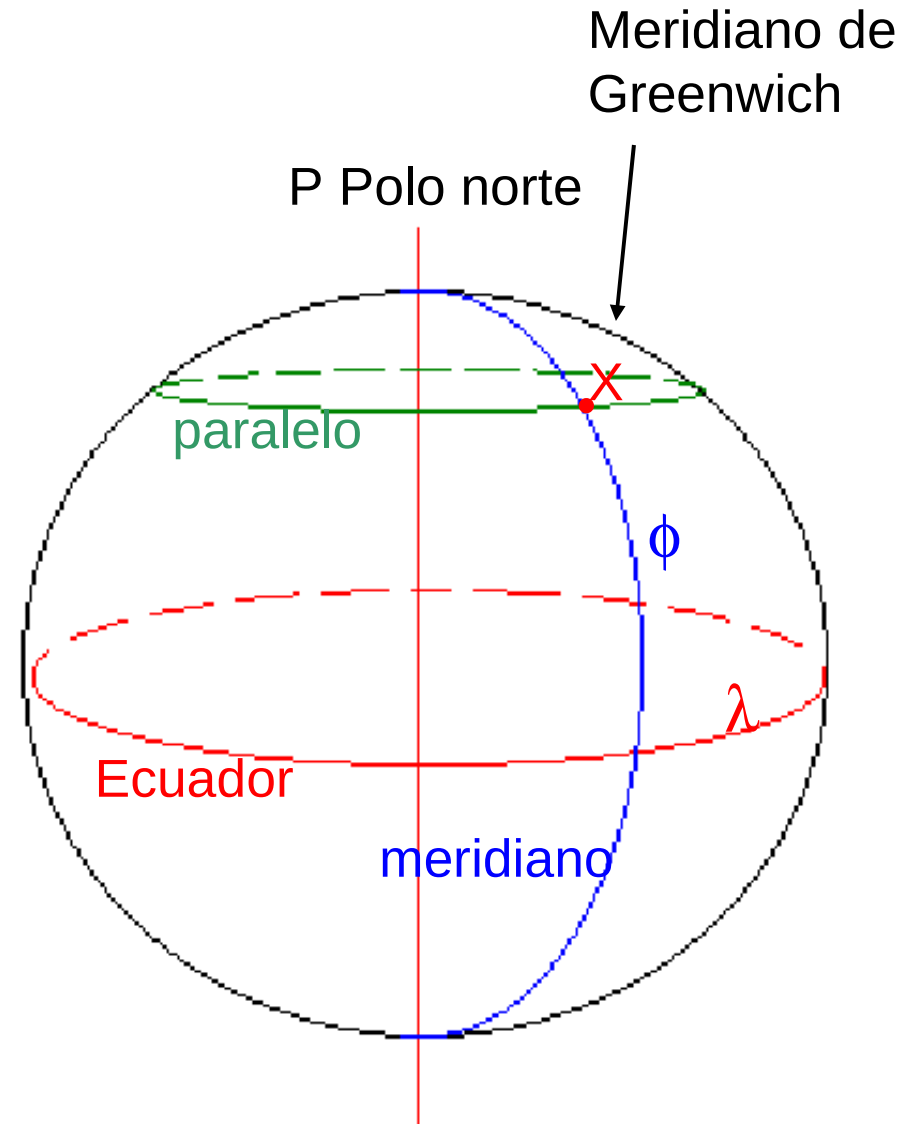
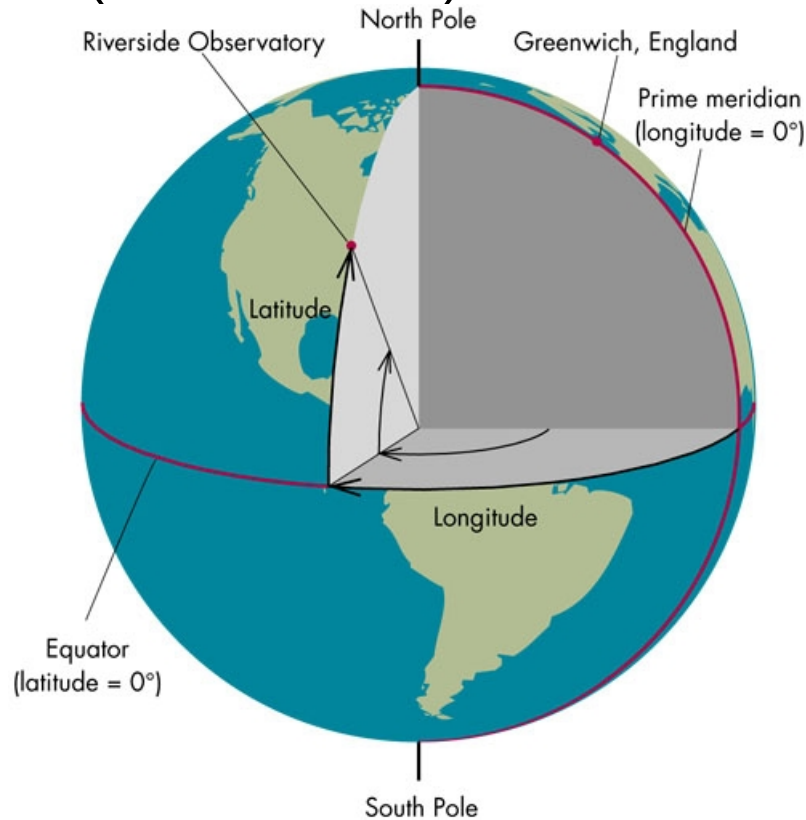


# Coordenadas Terrestres

- Coordenadas **X**:

$\phi$  **latitud**: altura sobre el ecuador ( $0^\circ$ - $90^\circ$  N o S)

$\lambda$  **longitud**: sobre el ecuador desde meridiano Greenwich ( $0^\circ$ - $180^\circ$  E u W)

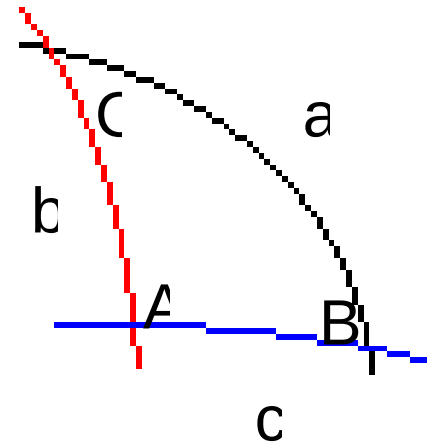


camino más corto entre dos puntos es un arco de cmáx

# Triángulos esféricos

- Formados por tres arcos de círculo máximo:

- $a+b>c$
- $A+B+C > 180^\circ$
- $A, B, C = 90^\circ$
- $A, B, C < 180^\circ$



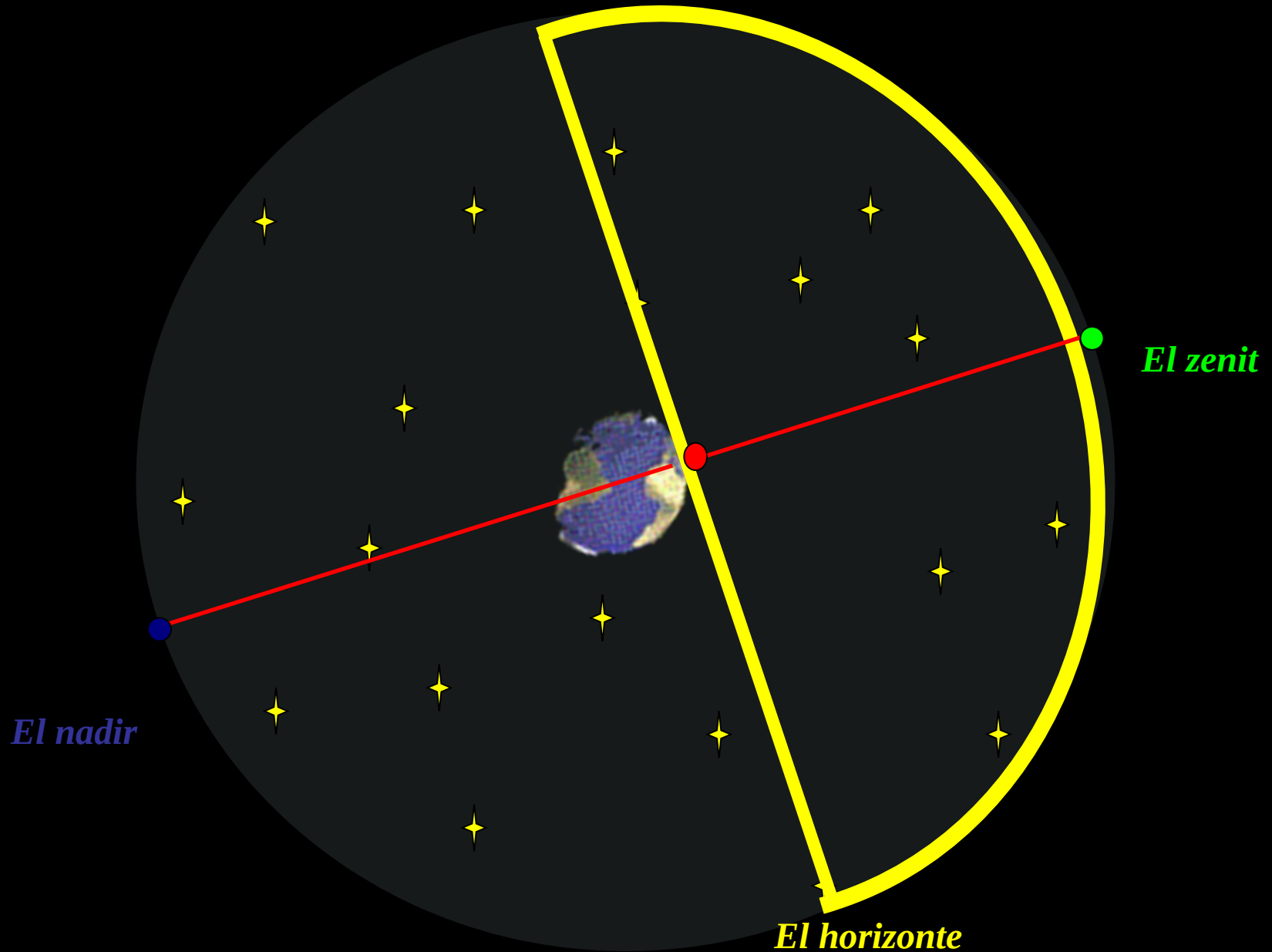
- Fórmulas similares a triángulos planos:

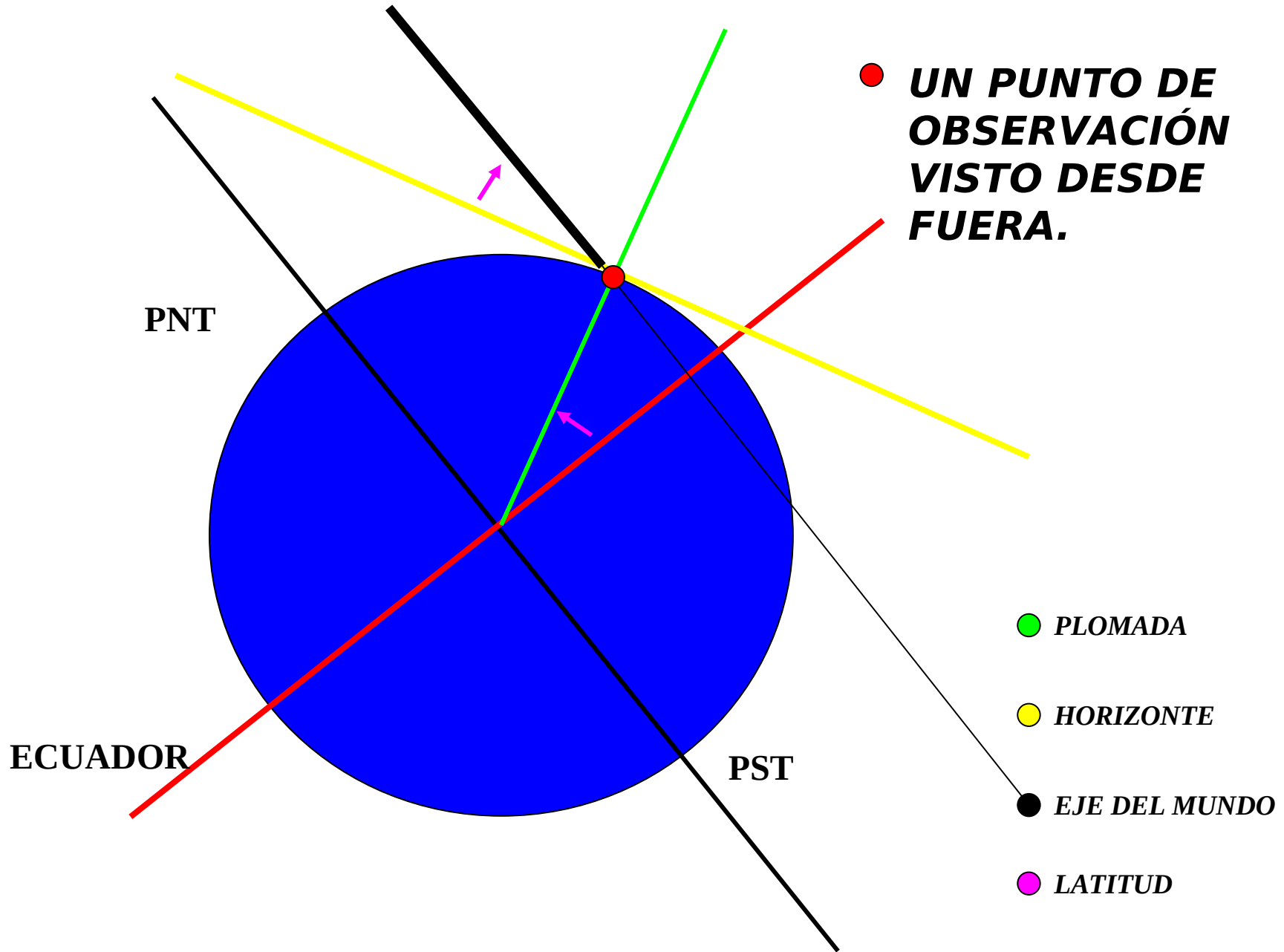
- seno:  $\text{sen } a / \text{sen } A = \text{sen } b / \text{sen } B = \text{sen } c / \text{sen } C$  (1)
- coseno:  $\cos a = \cos b \cos c + \text{sen } b \text{ sen } c \cos A$  (3)
- análoga a coseno:  $\text{sen } a \cos B = \cos b \text{ sen } c - \text{sen } b \cos c \cos A$  (6)
- cuatro partes:  $\cos a \cos C = \text{sen } a \cot b - \text{sen } c \cot B$  (6)

# La esfera celeste

- Superficie imaginaria de radio arbitrario y cuyo centro lo ocupa el observador
- Rotación de E a W con un período de un día: movimiento aparente (diurno) en torno a eje paralelo al terrestre que pasa por observador (eje del mundo)
- Ver presentación “Fundamentos astronómicos del reloj de sol”

..... si observamos el cielo desde cualquier punto de la superficie de La Tierra en un momento dado, sólo podremos percibir la mitad del mismo, es decir, la mitad de la esfera celeste..... **NUESTRA (PERSONAL) BÓVEDA CELESTE.**





● **UN PUNTO DE OBSERVACIÓN VISTO DESDE FUERA.**

● **PLOMADA**

● **HORIZONTE**

● **EJE DEL MUNDO**

● **LATITUD**

**ECUADOR**

**PNT**

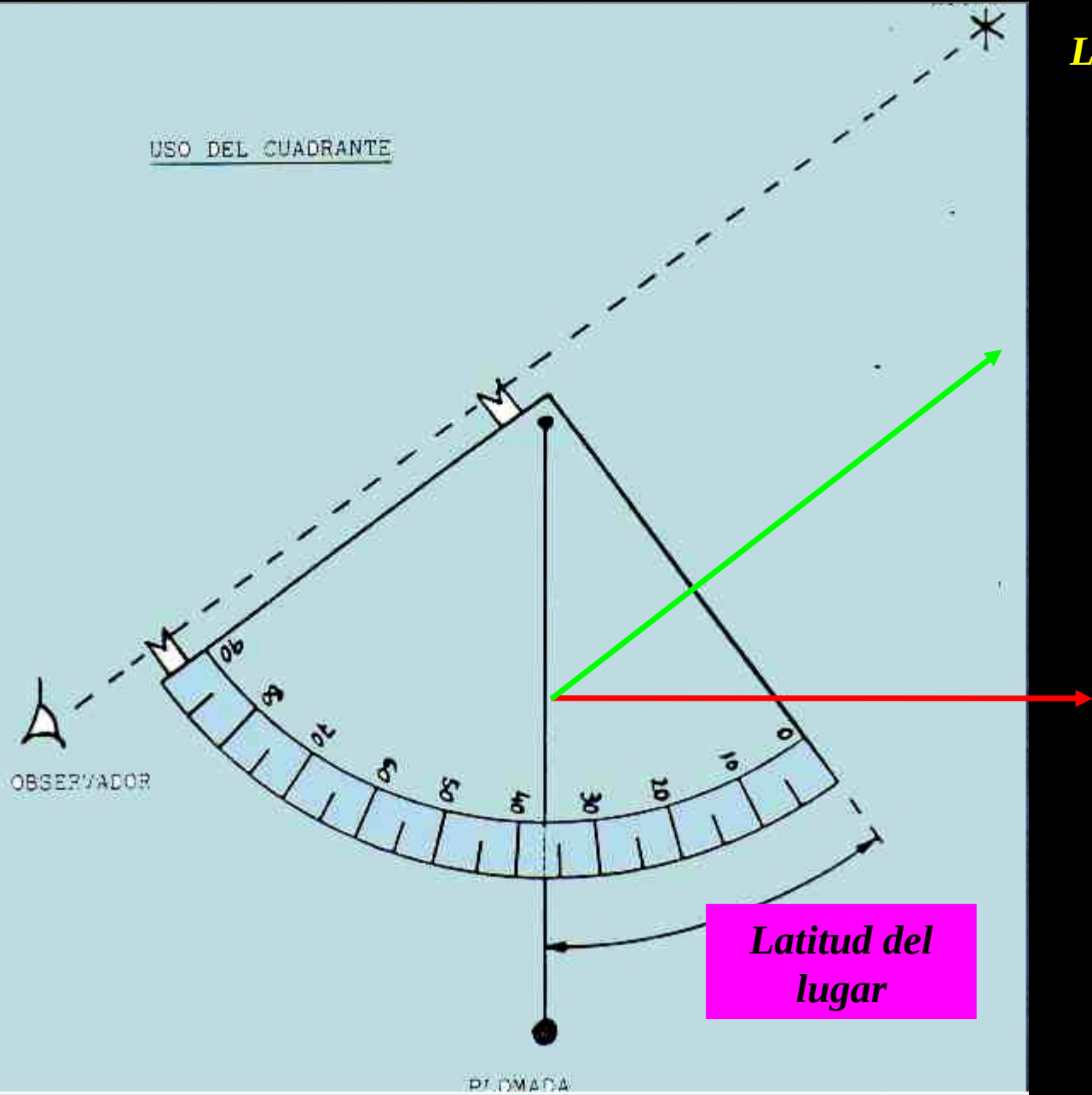
**PST**





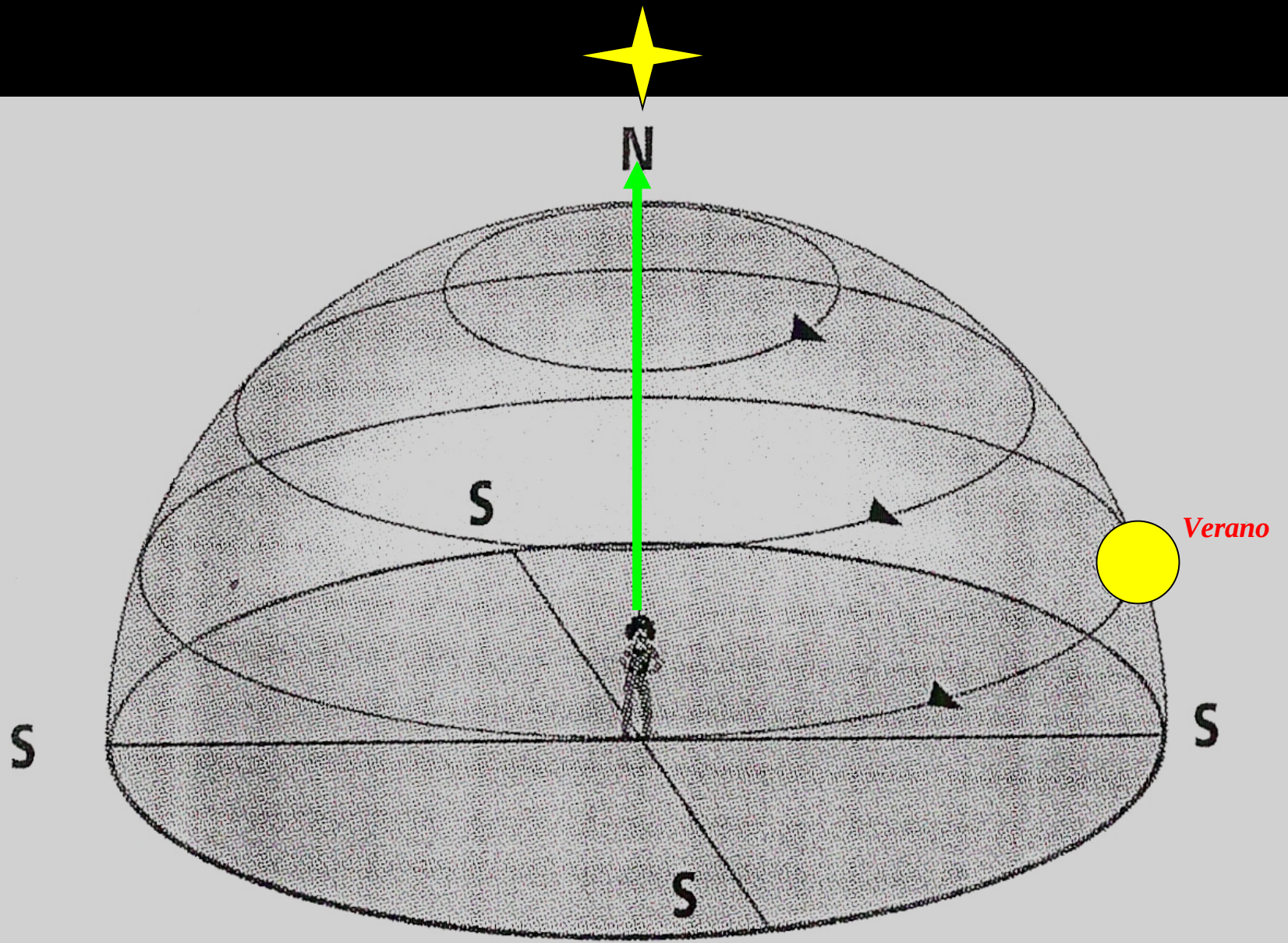
**La polar**

USO DEL CUADRANTE

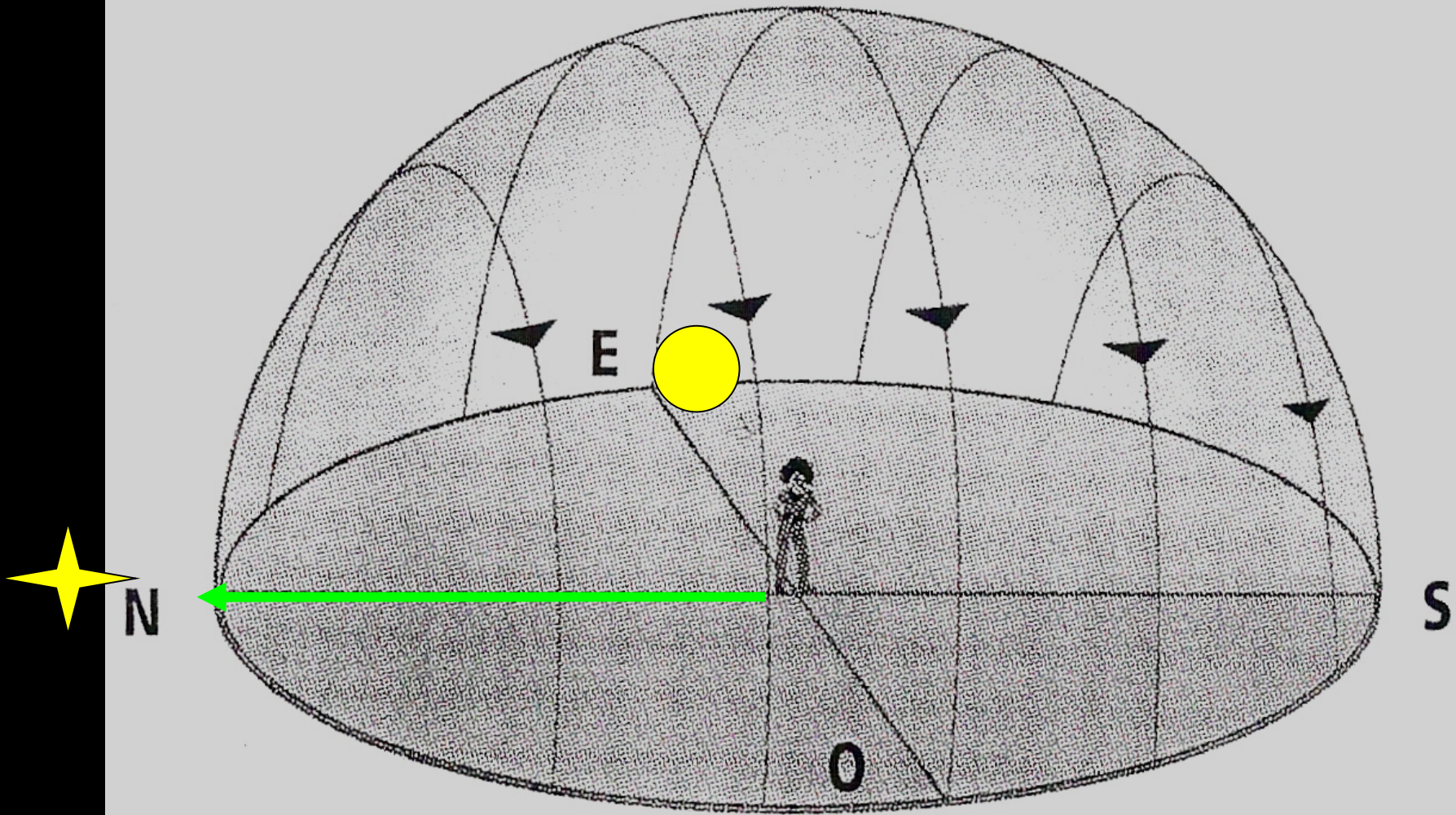


**Latitud del lugar**

PLUMADA



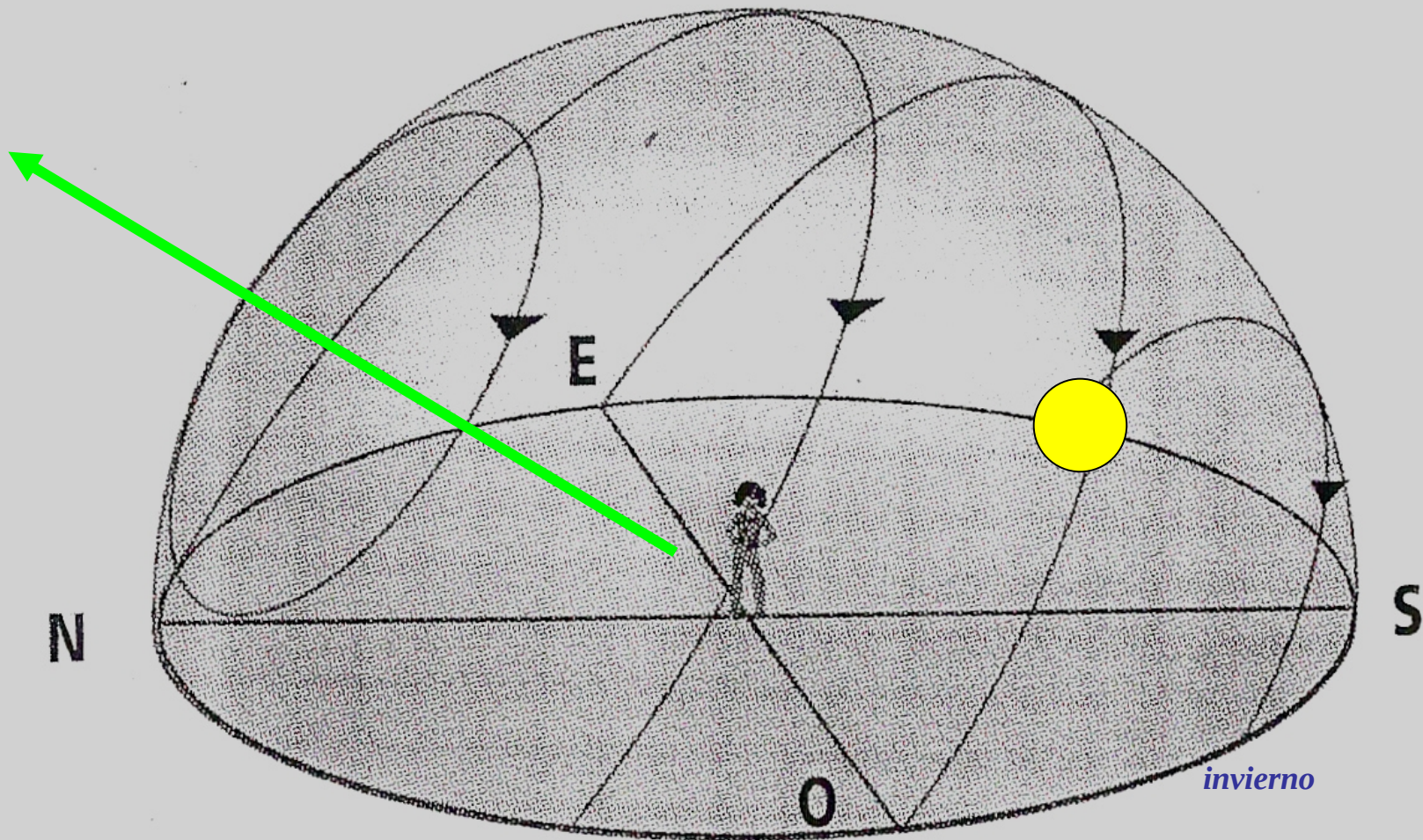
En el polo norte (90°N)



*Primavera /  
otoño*

En el ecuador (0°)

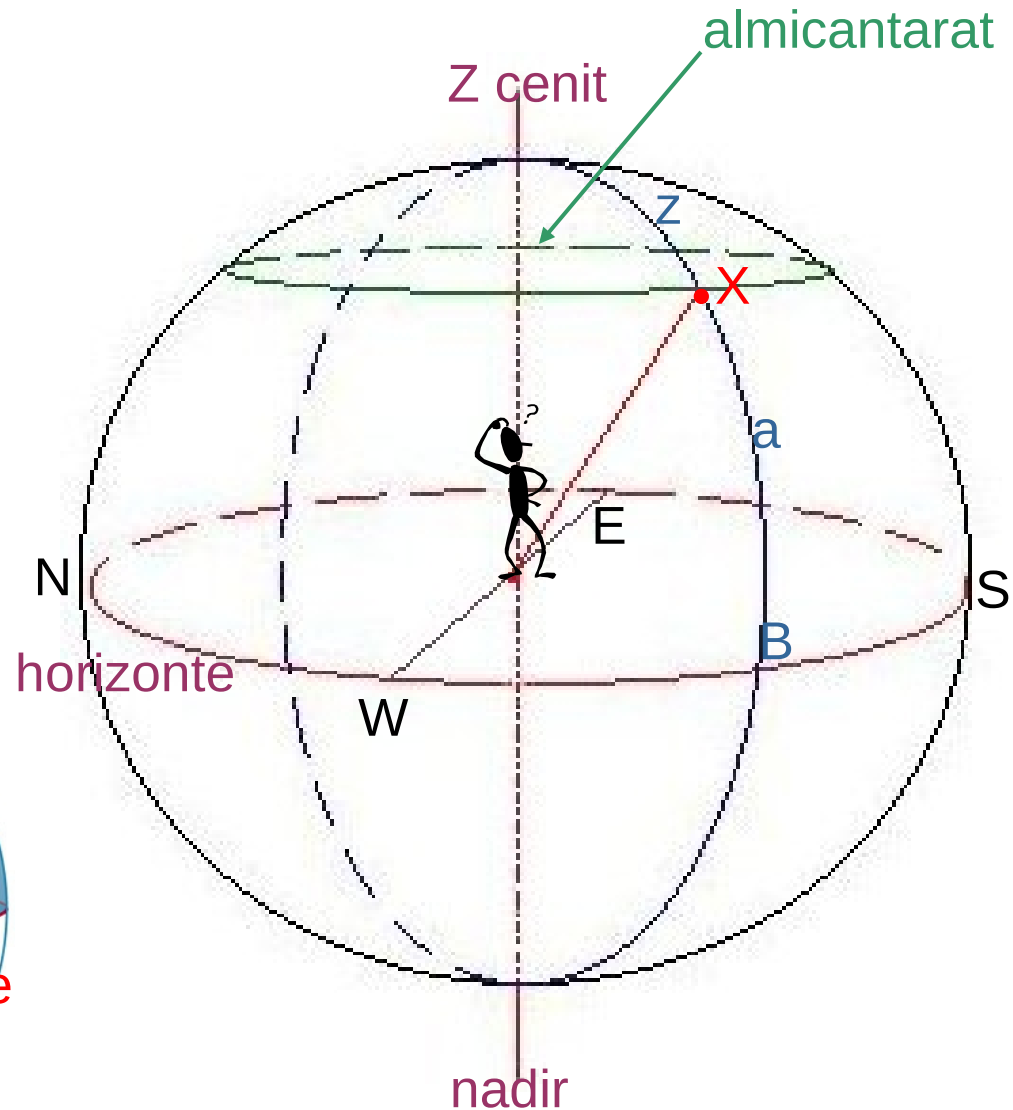
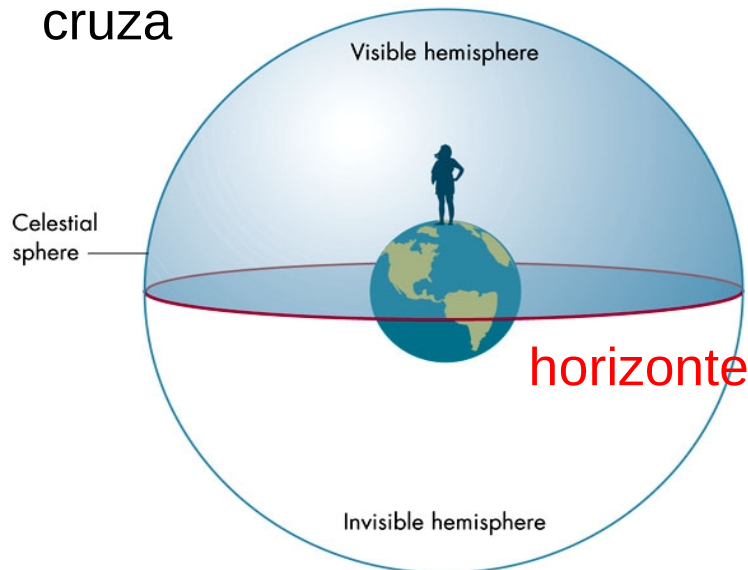
**.- desde MURCIA.....**



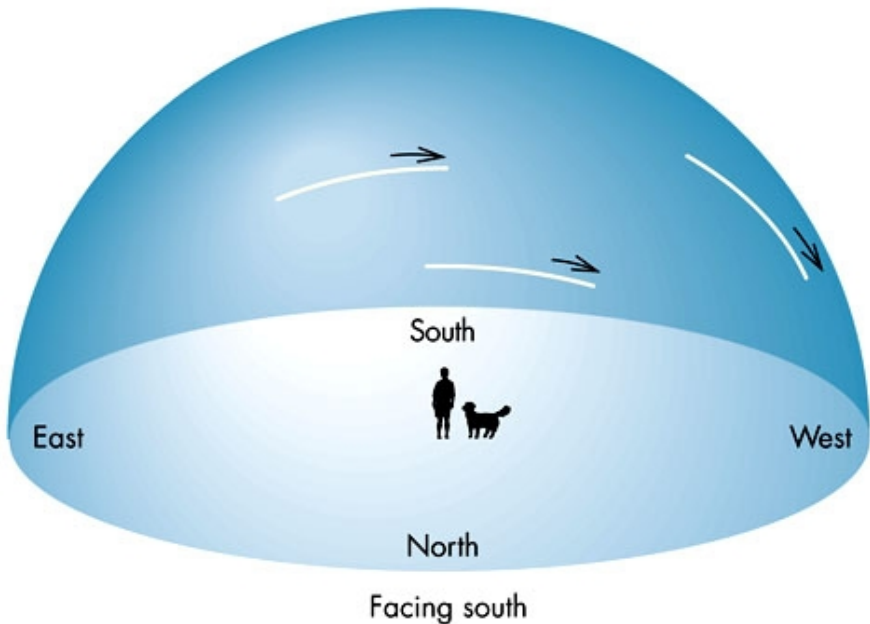
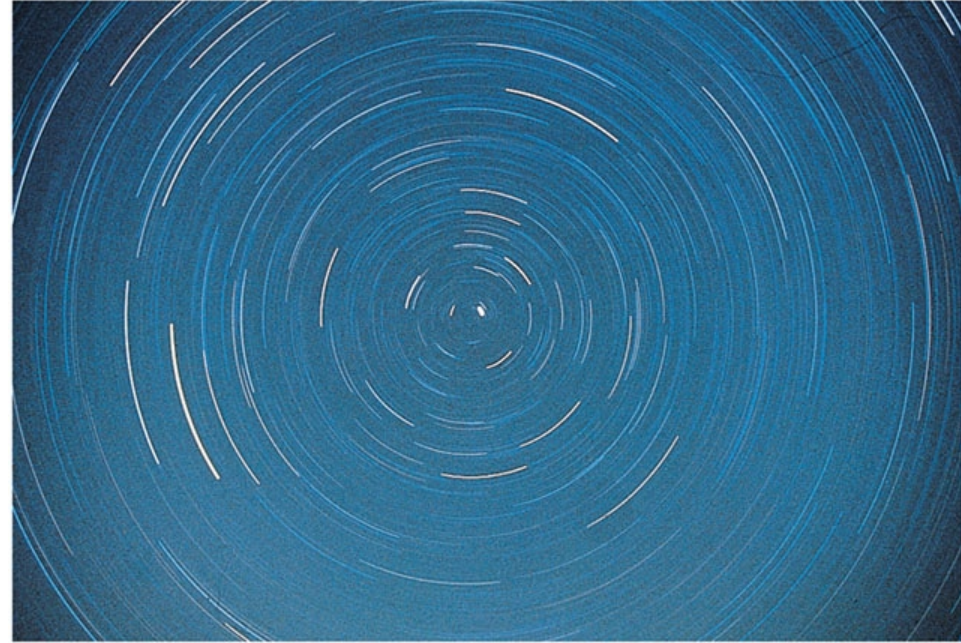
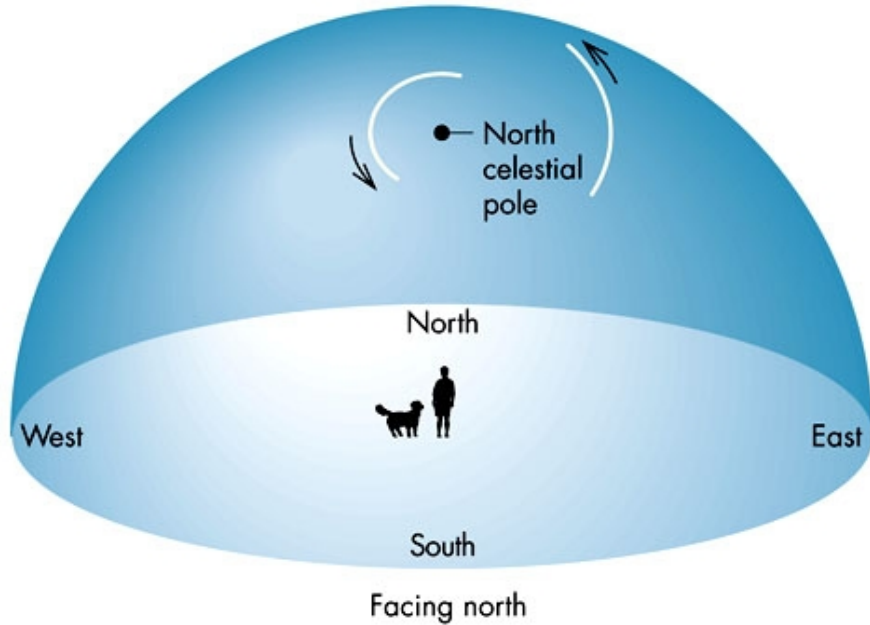
**En latitudes boreales medias (40°N)**

# Coordenadas horizontales

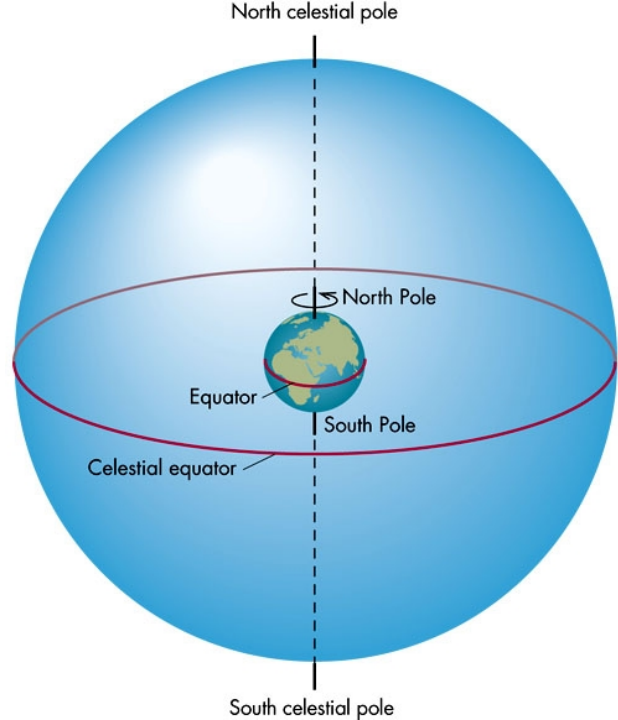
- Coordenadas **X**:
  - **a altitud**: altura sobre el horizonte BX ( $-90^\circ$  a  $90^\circ$ )  
 $z=90-a$  ángulo cenital
  - **A acimut**: NESB sobre horizonte ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ )
- Círculo NZS: meridiano del observador
  - Estrella culmina cuando lo cruza



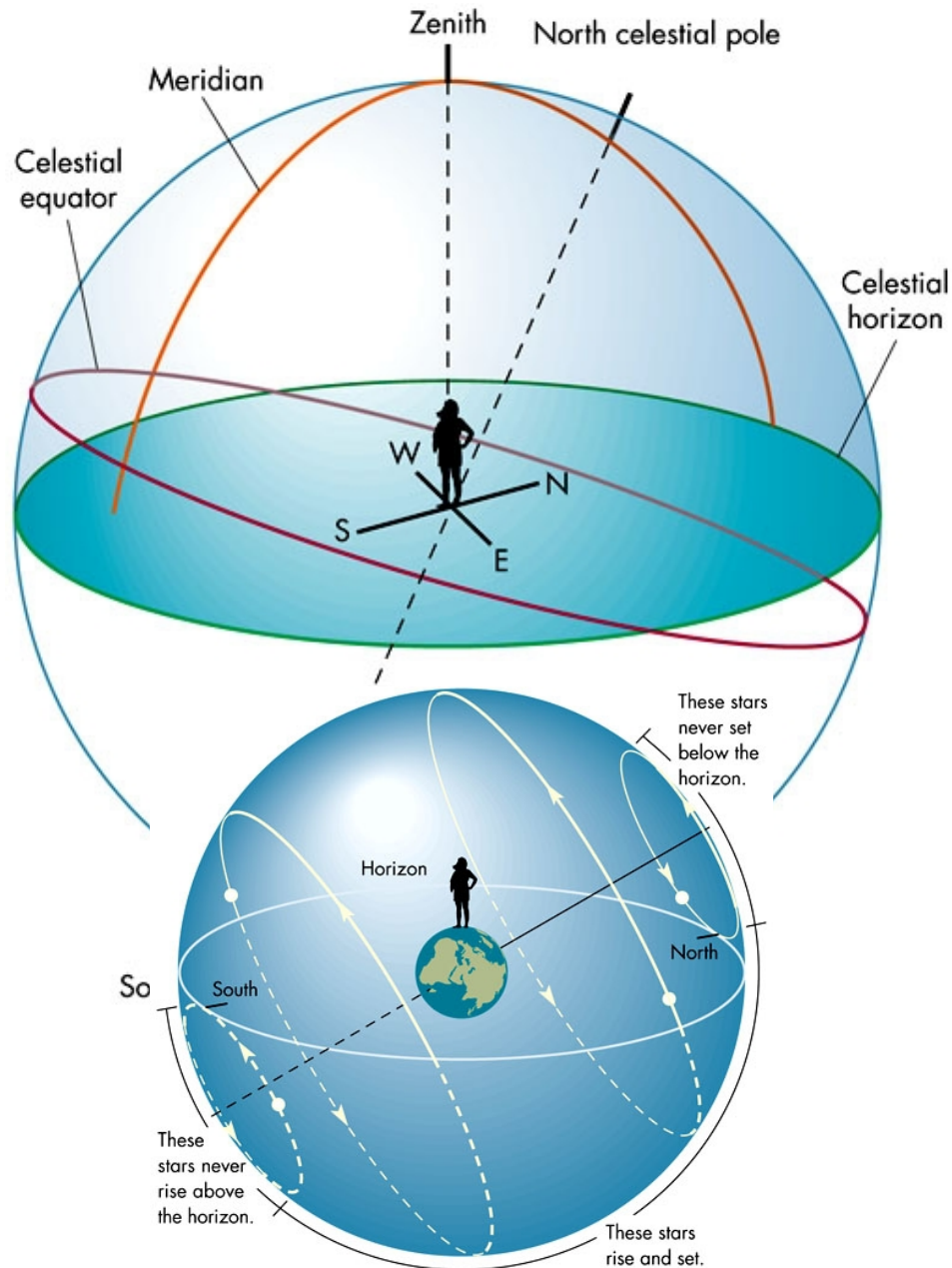
# Coordenadas alto-acimutales: problemas



- Trayectoria estrellas complicada
- Sistema depende del observador

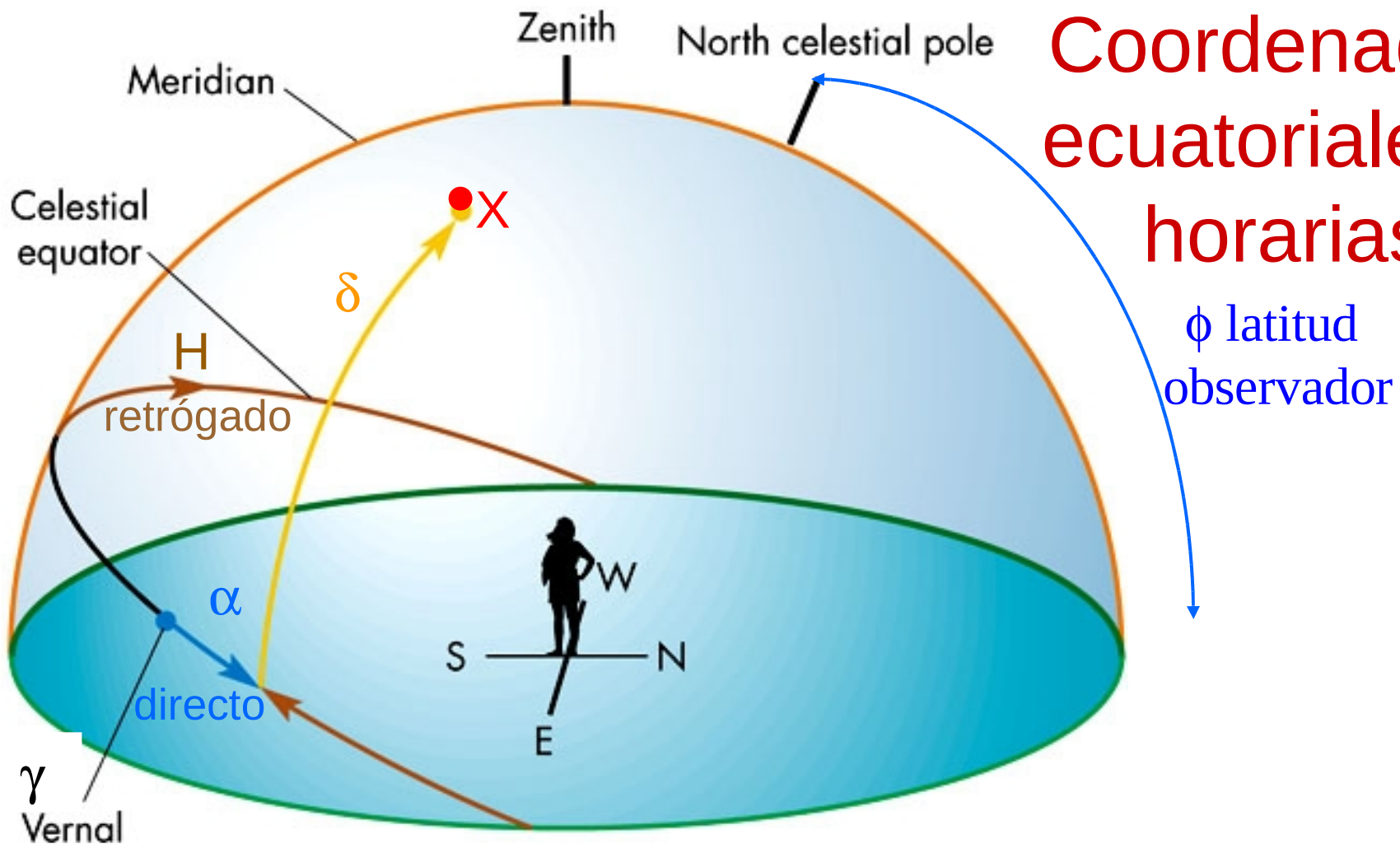


# Coord. ecuatoriales



- Proyección del Ecuador y los Polos terrestres sobre la esfera celeste
- Descripción “natural” del firmamento
- Objetos se mueven por “paralelos” (de declinación)

# Coordenadas ecuatoriales y horarias

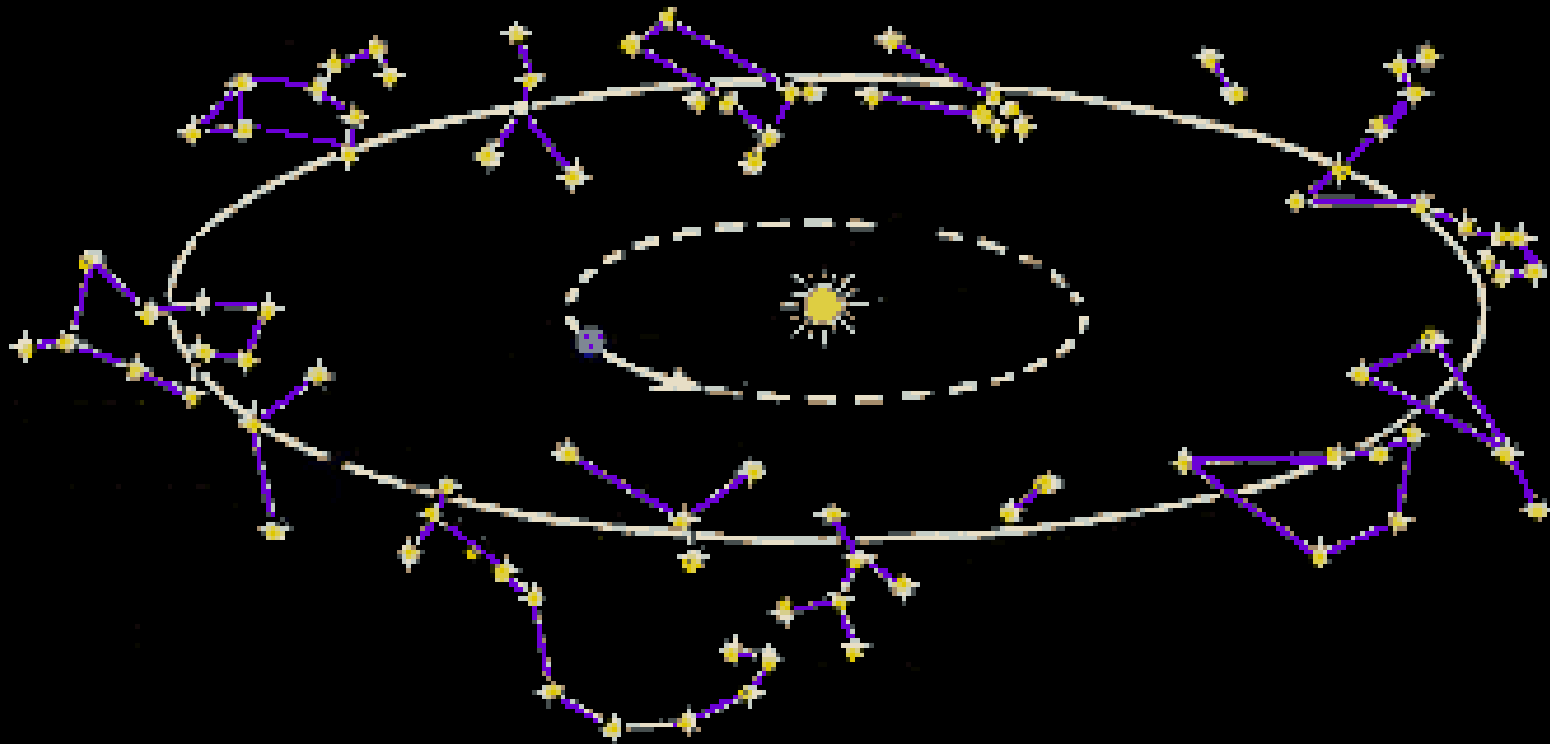


- **Coordenadas X:**

- **declinación  $\delta$**  ( $-90^\circ$  a  $90^\circ$ ) altura desde el ecuador,  $\phi \Phi = \delta$  cénit
- **ángulo horario H** ( $0^h$  a  $24^h$ ) desde el meridiano: tiempo que ha pasado desde que la estrella culminó
- **ascensión recta  $\alpha$**  ( $0^h$  a  $24^h$ ) desde un punto fijo:  $\gamma$  equinoccio vernal



# Plano eclíptico



*Ecuador celeste*

*PNC*

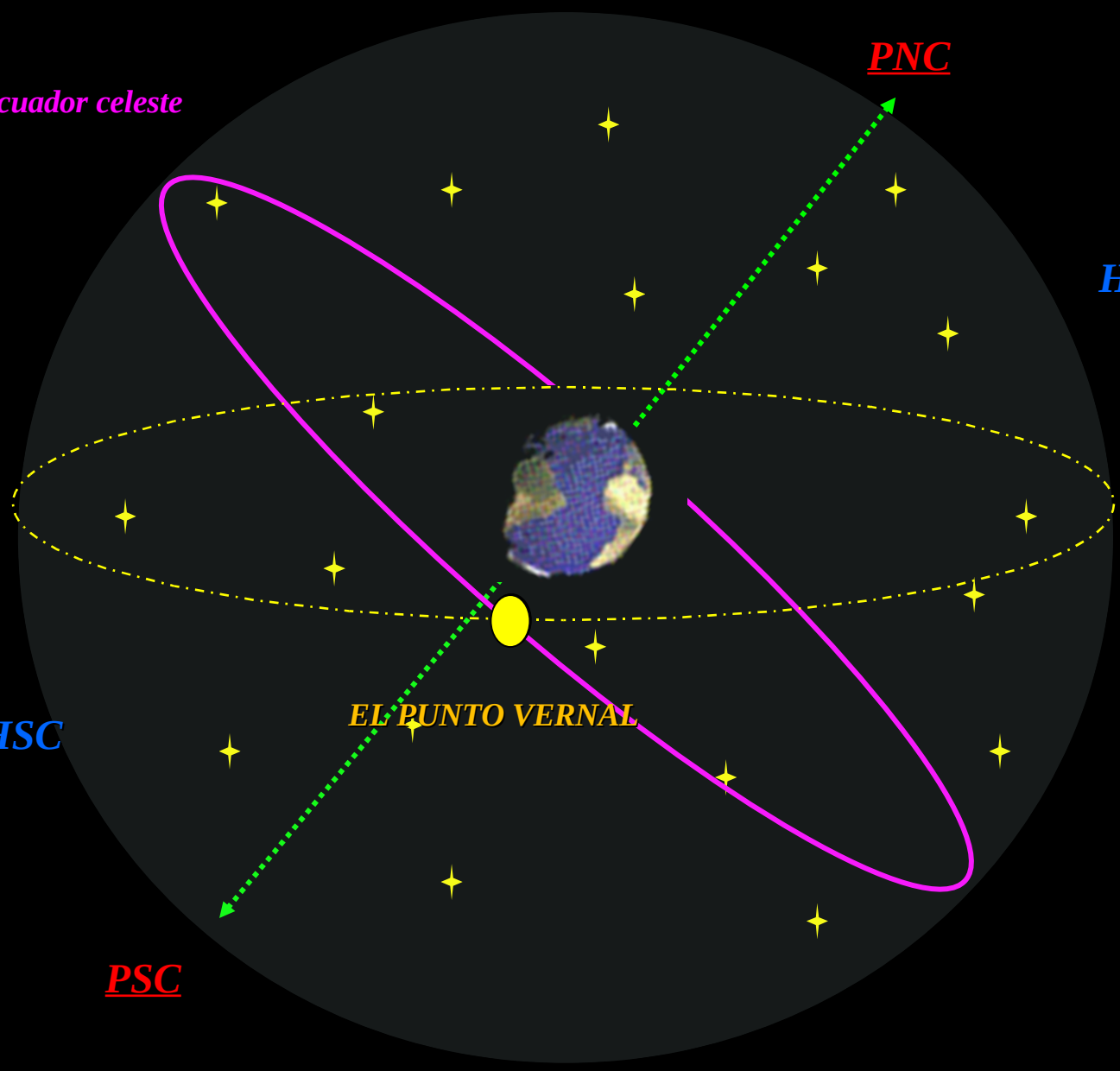
*HNC*

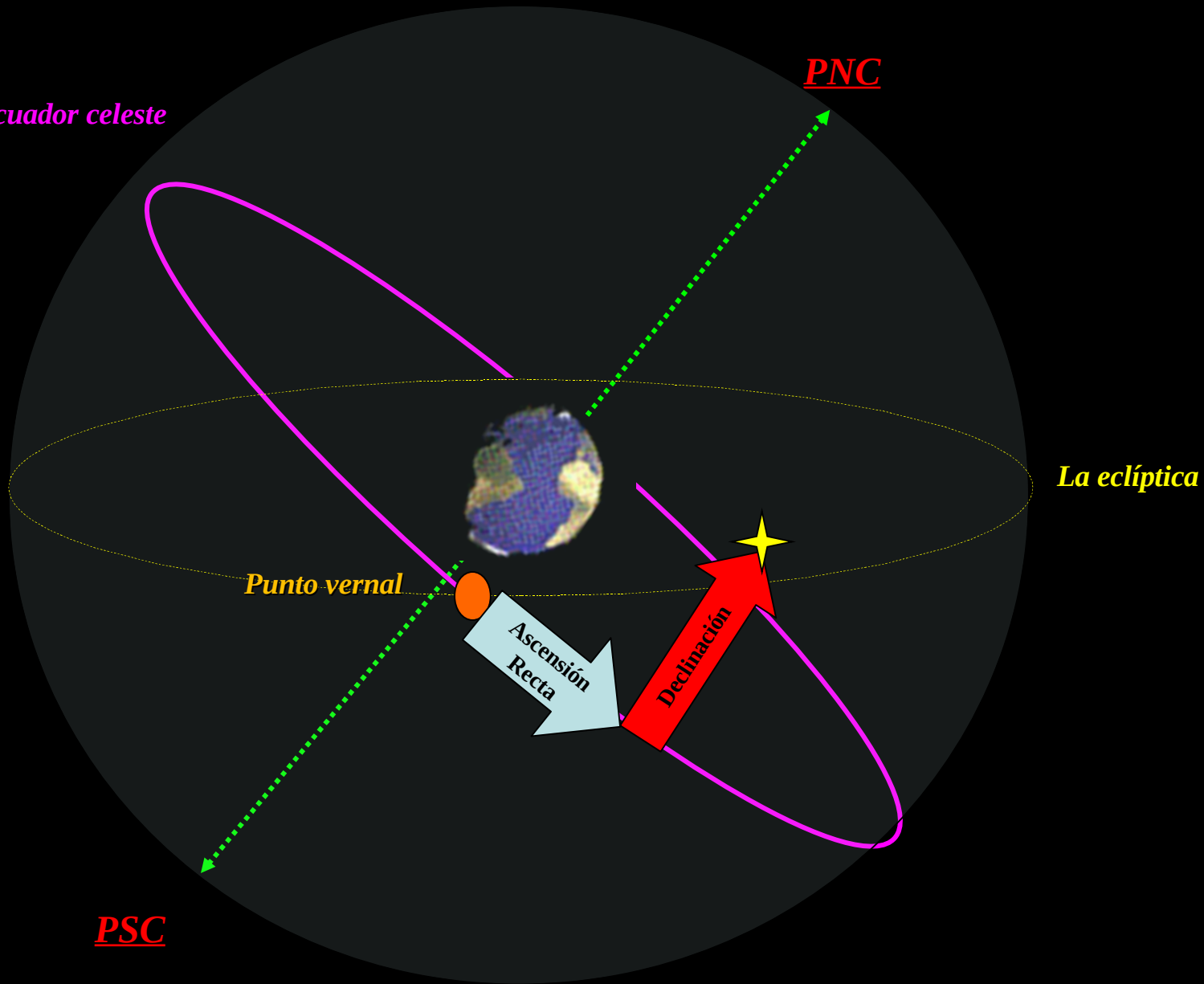
*La eclíptica*

*HSC*

*EL PUNTO VERNAL*

*PSC*





*Ecuador celeste*

PNC

*La eclíptica*

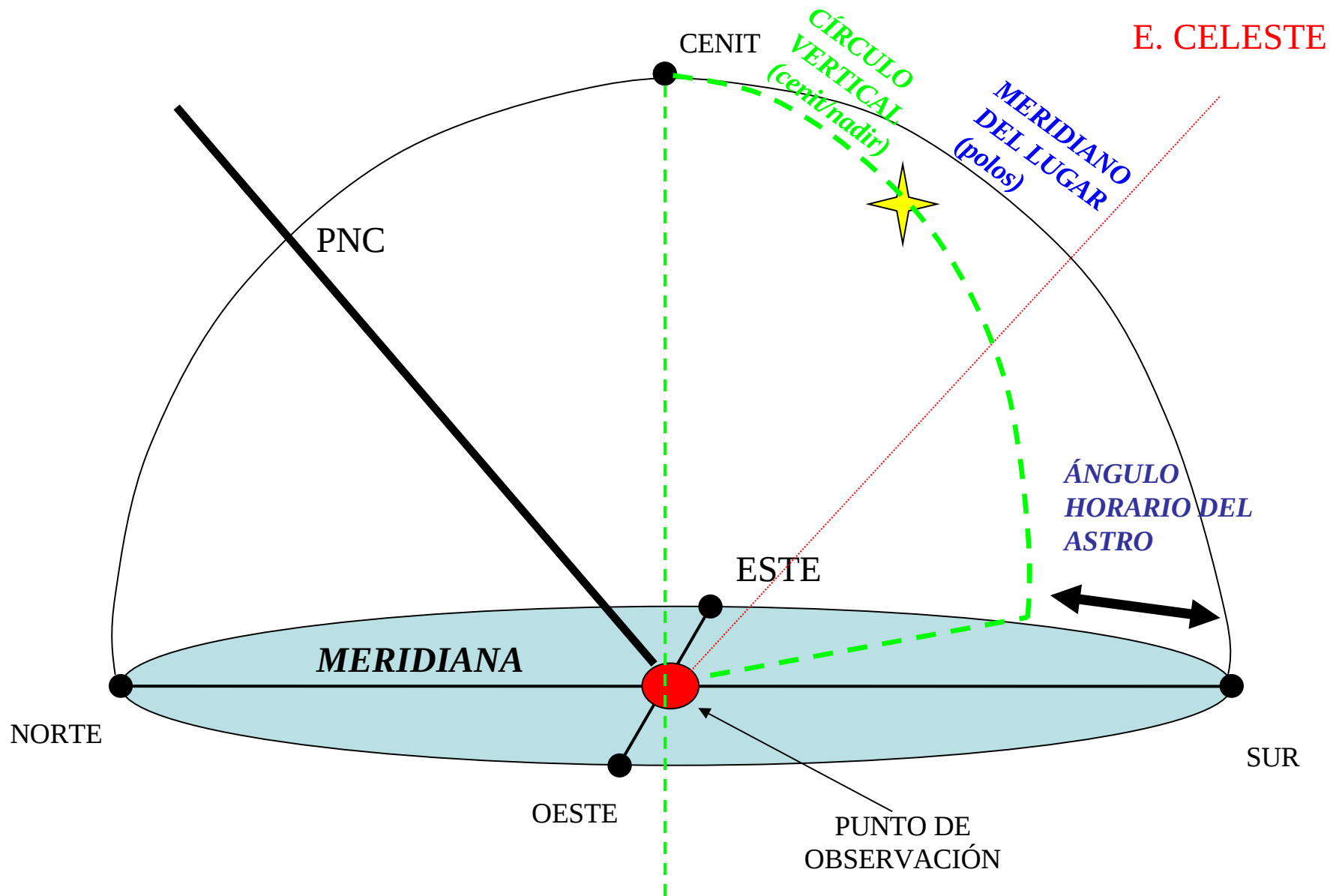
*Punto vernal*

Ascensión  
Recta

Declinación

PSC

# NUESTRO PUNTO DE OBSERVACIÓN.-



# Coordenadas eclípticas, galácticas y transformaciones

- Coordenadas eclípticas  $X$ :
  - **Latitud eclíptica**  $\beta$  ( $-90^\circ$  a  $90^\circ$ ) altura desde la eclíptica
  - **longitud eclíptica**  $\lambda$  ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ) desde  $\gamma$  equinoccio vernal, sentido contrario al diurno de los astros ( $\lambda_S = 90^\circ$  en solsticio verano)
- Coordenadas galácticas (latitud galáctica  $b_{||}$ , longitud galáctica  $l_{||}$ ): basadas en el centro galáctico (Sagitario)
- Ecuaciones matriciales de transformación:

Transformaciones entre sist. de referencia (rotaciones e inversiones):  $(x' y' z') = (R) (x y z)$

Inversión de ejes:  $R_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ ;  $R_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ ; ...

Rotación de ángulo  $a$ :  $R_x(a) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & \sin a \\ 0 & -\sin a & \cos a \end{pmatrix}$

$R_y(a) = \begin{pmatrix} \cos a & 0 & \sin a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin a & 0 & \cos a \end{pmatrix}$

$R_z(a) = \begin{pmatrix} \cos a & \sin a & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Convenio signo: levógiros (sentido horario=positivo), dextrógiros (sentido horario=negativo).

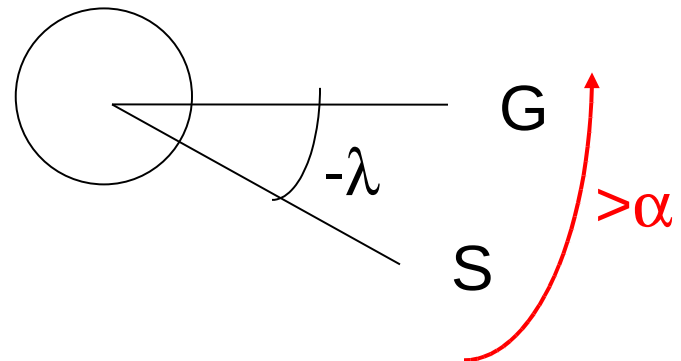
Horizontales>Horarias:  $R_y(\phi-90)$

Horarias>Ecuatoriales:  $R_z(-TS)$   $R_y$

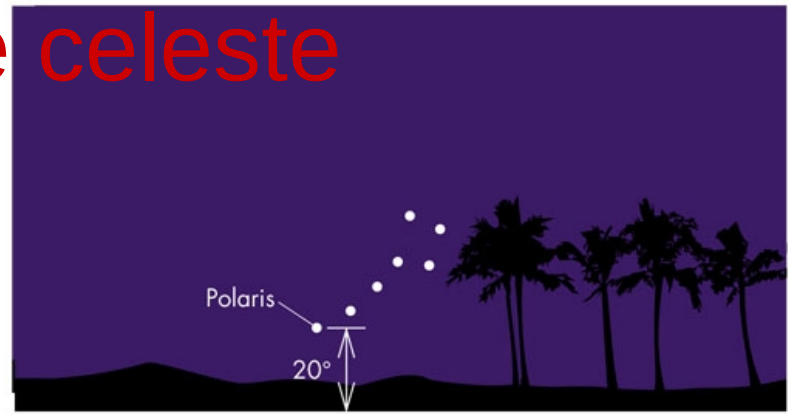
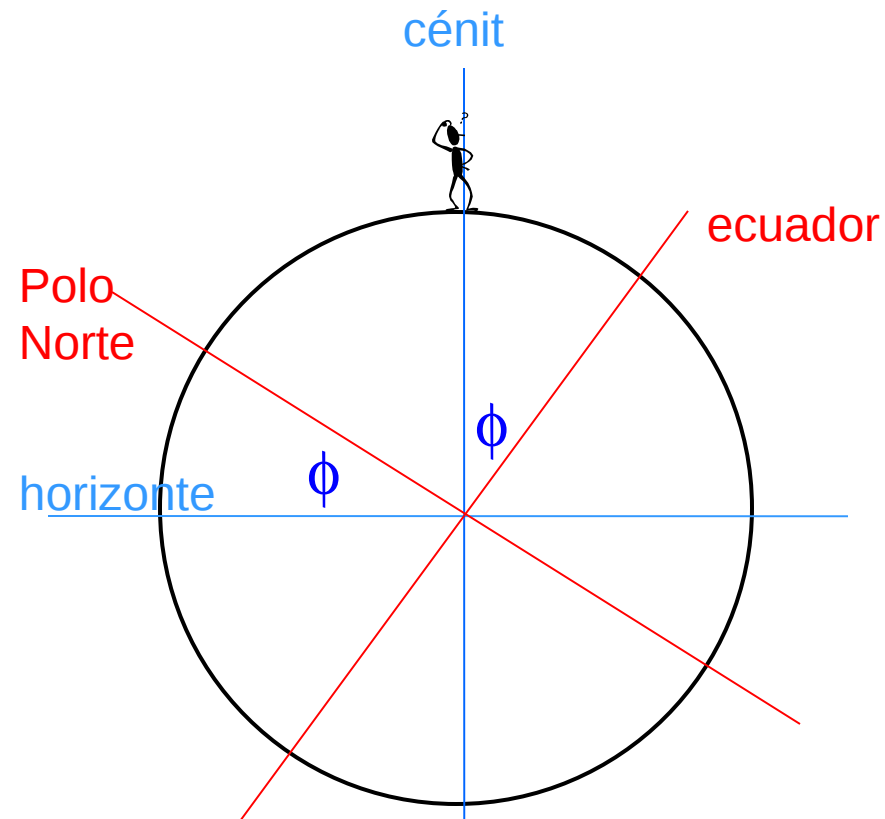
Ecuatoriales>Eclípticas:  $R_x(\epsilon)$

# Tiempo sidéreo

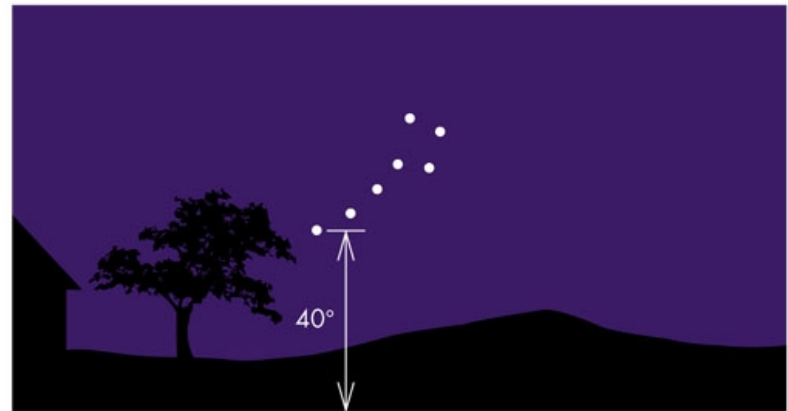
- $\Theta \equiv TS$  Ángulo horario del punto vernal
- Tiempo sidéreo local  $TSL \equiv \Theta(\lambda) = H + \alpha$  en unidades de tiempo  
[movto. directo: antihorario visto desde PN solar;  $W \rightarrow S \rightarrow E$  en esfera celeste]
- Para un objeto en el meridiano del observador  $H=0 \rightarrow TSL=\alpha$   
 $\alpha_{mer}$  el TSL es la AR de objetos que en ese momento estén cruzando el meridiano (culminando)  
TSL crece durante la noche: un astro de mayor  $\alpha$  culmina más tarde
- Respecto de Greenwich:  $TSL = TSG + \lambda$



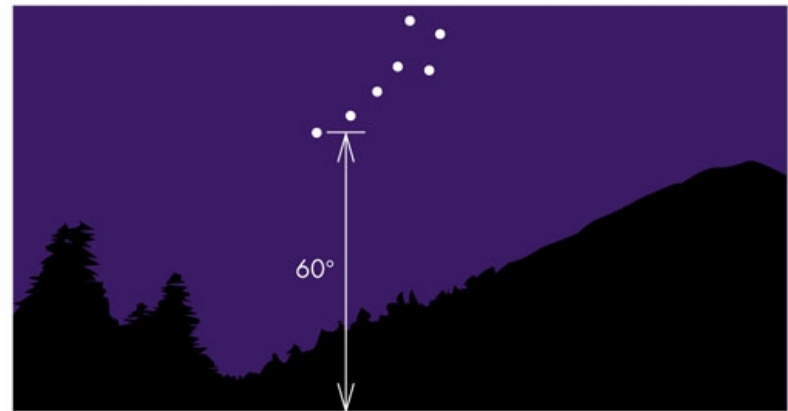
# Altura del Polo Norte celeste



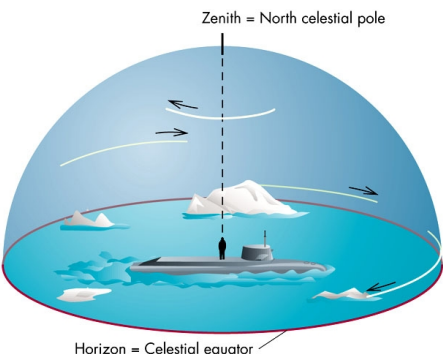
20° N Latitude



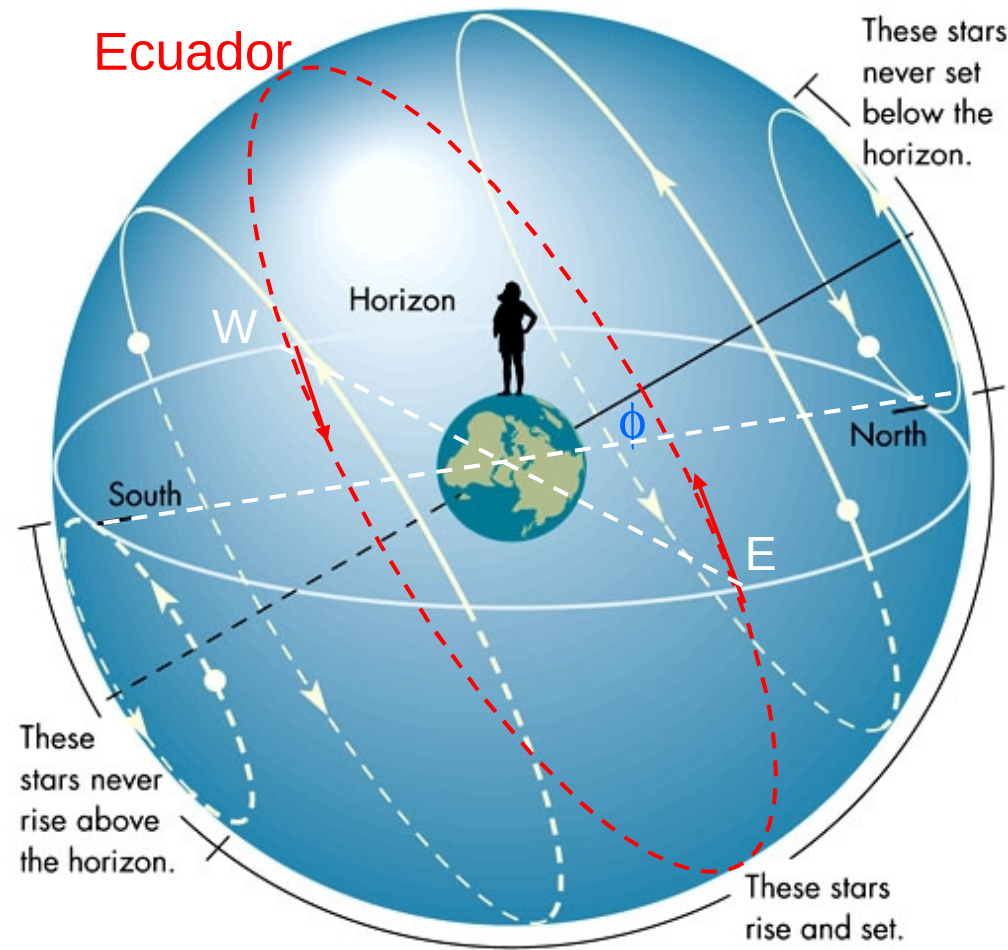
40° N Latitude



60° N Latitude



# Estrellas circumpolares



- Tiempo que está un objeto por encima del horizonte depende de  $\delta$ :

$$\delta=0: t_{\text{visible}}=12\text{h} \text{ Ecuador}$$

$$\delta>0: t_{\text{visible}}>12\text{h}$$

$$\delta<0: t_{\text{visible}}<12\text{h}$$

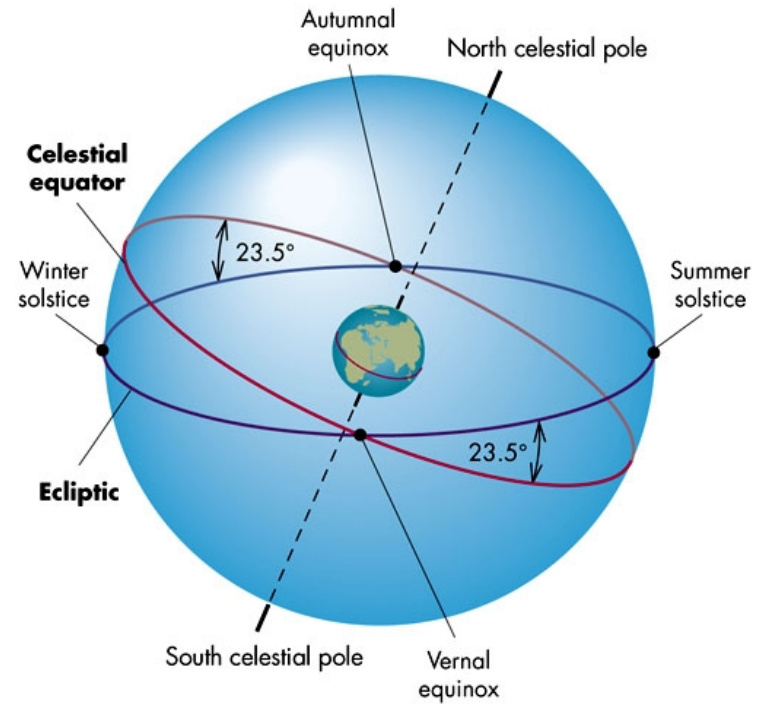
$$\text{si } \delta>90-\phi: t_{\text{visible}}=24\text{h}$$

- nunca se ponen
- se pueden observar toda la noche (bajos sobre el horizonte)
- El Sol tiene distintas  $\delta$  a lo largo del año  $\rightarrow$  los días tendrán duraciones distintas



# La eclíptica

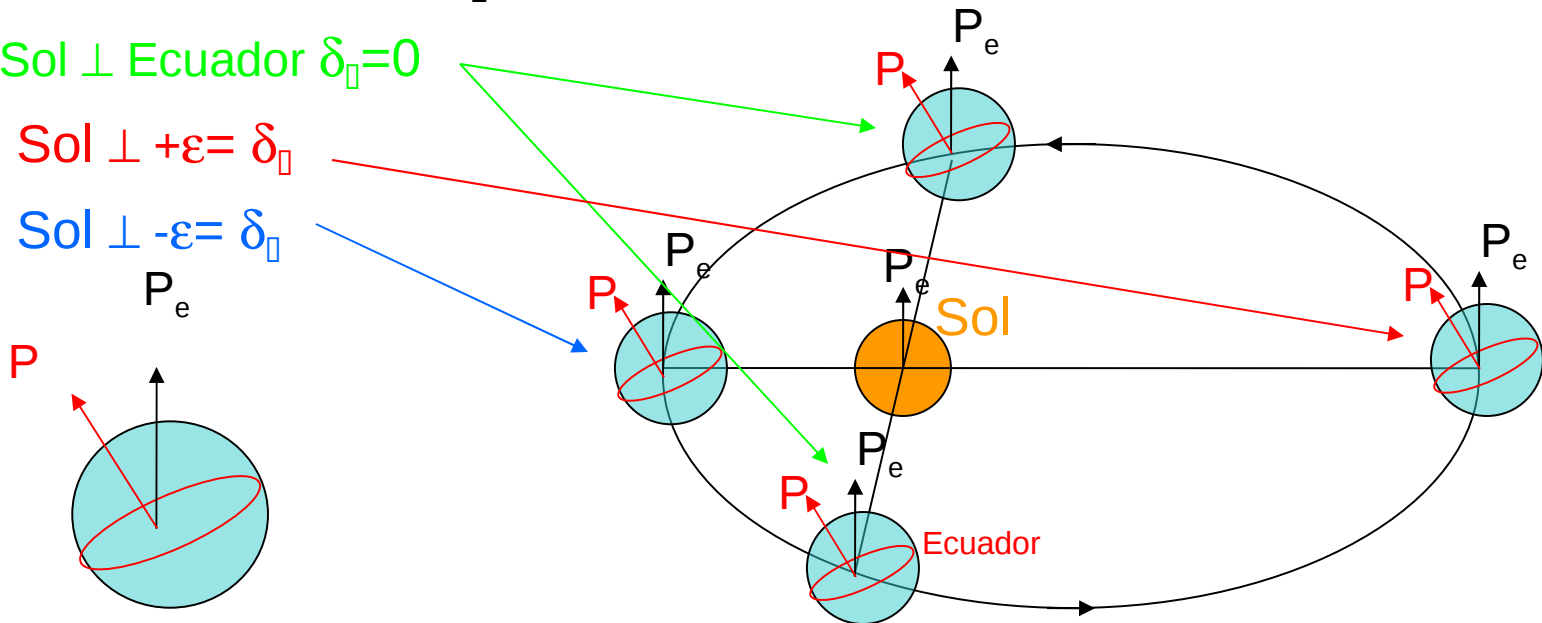
- La Tierra alrededor del Sol en plano eclíptica → Sol en eclíptica
- Ángulo entre ecuador y eclíptica  $\varepsilon=23^{\circ}26'29''$  *oblicuidad de la eclíptica*
- Eje rotación Tierra  $\parallel$  →  $\delta_{\square}$  cambia:



– Rayos Sol  $\perp$  Ecuador  $\delta_{\square}=0$

– Rayos Sol  $\perp +\varepsilon = \delta_{\square}$

– Rayos Sol  $\perp -\varepsilon = \delta_{\square}$



# Movimiento Sol y estaciones

- 21 Marzo: sol en punto **Aries**  
 $\alpha_{\odot}=0$   $\delta_{\odot}=0$ , día=noche  
 – Equinoccio de Primavera

**Primavera**

- 21 Junio: punto **Cáncer**  
 $\alpha_{\odot}=6^h$   $\delta_{\odot}=+\epsilon$ , día más largo  
 – Solsticio de Verano

**Verano día>noche**

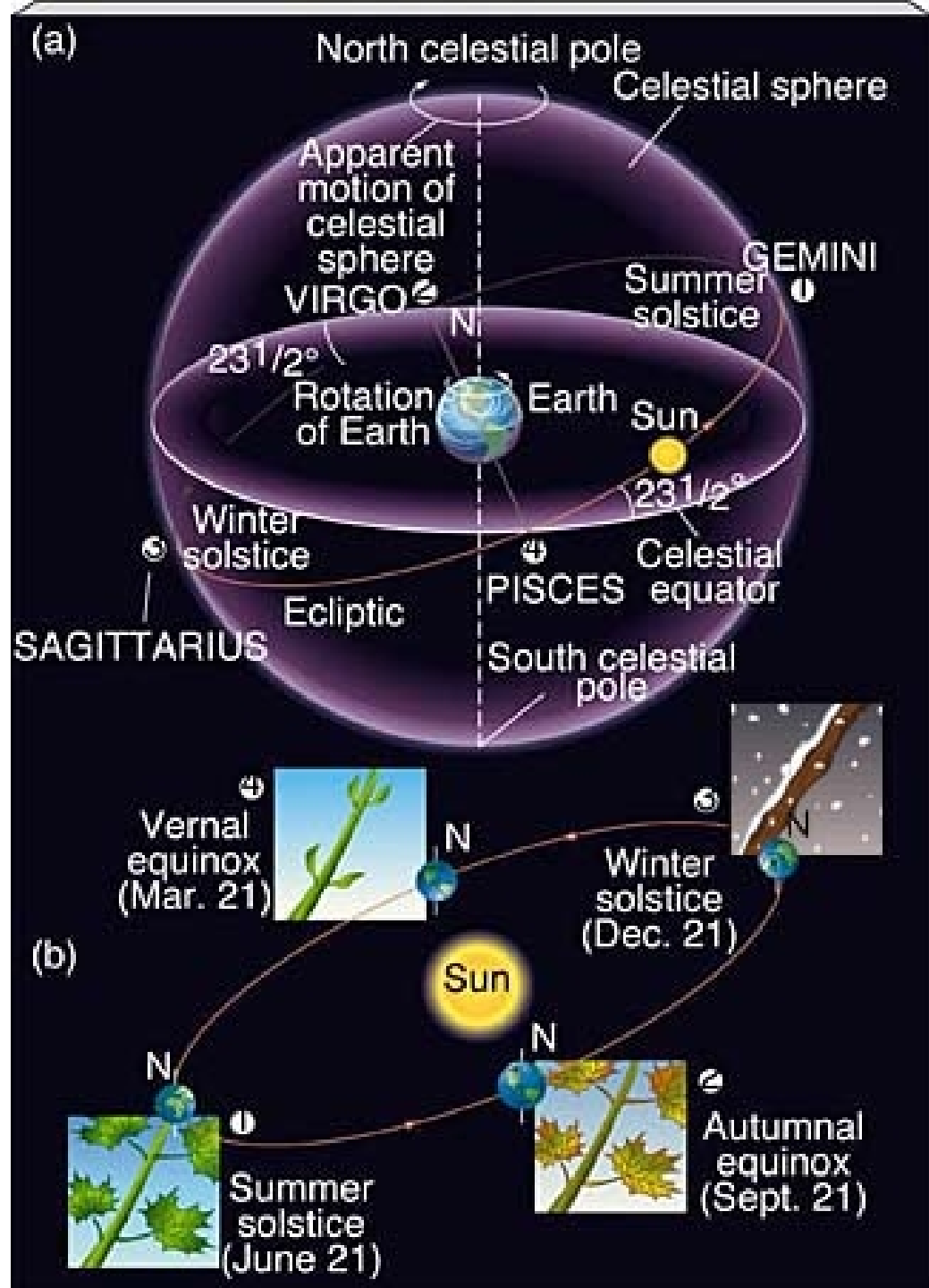
- 21 Septiembre: punto **Libra**  
 $\alpha_{\odot}=12^h$   $\delta_{\odot}=0$ , día=noche  
 – Equinoccio de Otoño

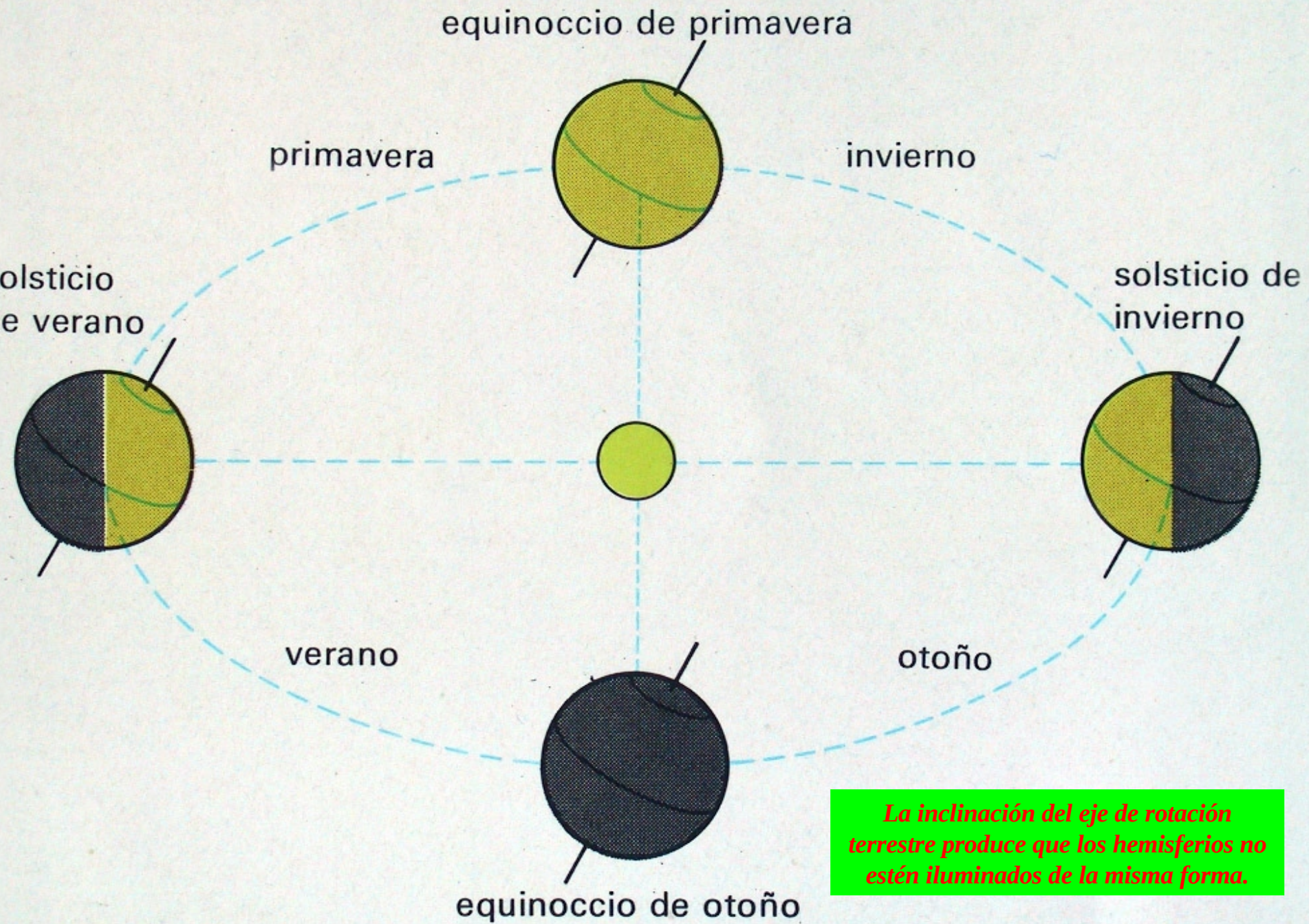
**Otoño**

- 21 Diciembre: punto **Capricornio**  
 $\alpha_{\odot}=18^h$   $\delta_{\odot}=-\epsilon$ , día más corto  
 – Solsticio de Invierno

**Invierno día<noche**

línea de solsticios y l. de equinoccios





## El Sol, La Tierra y la Esfera Celeste.

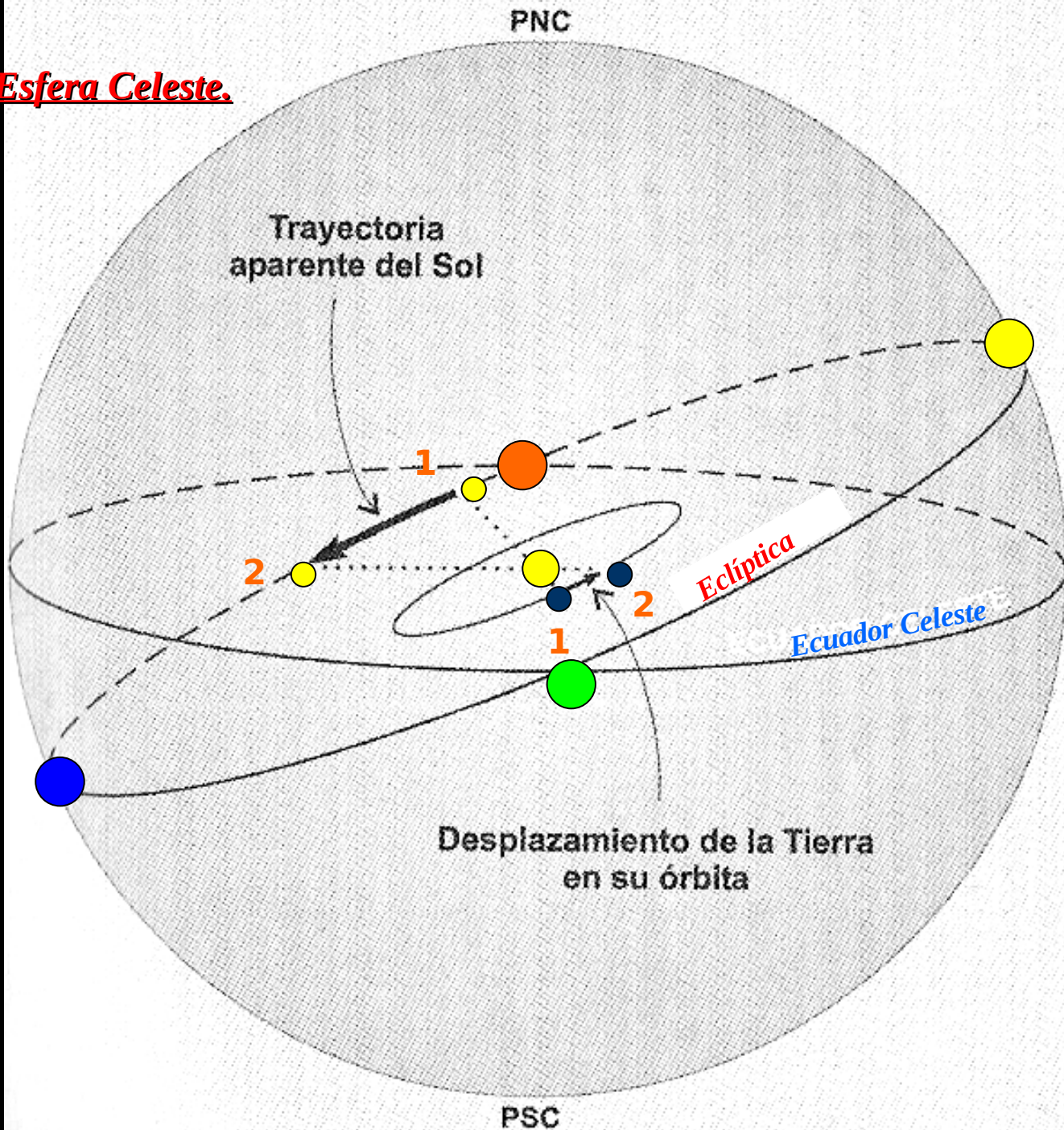
-Solsticio de verano  
21-22 de junio.

-Equinoccio de  
otoño 22-23 de  
septiembre.

-Solsticio de  
invierno. 21-22 de  
diciembre.

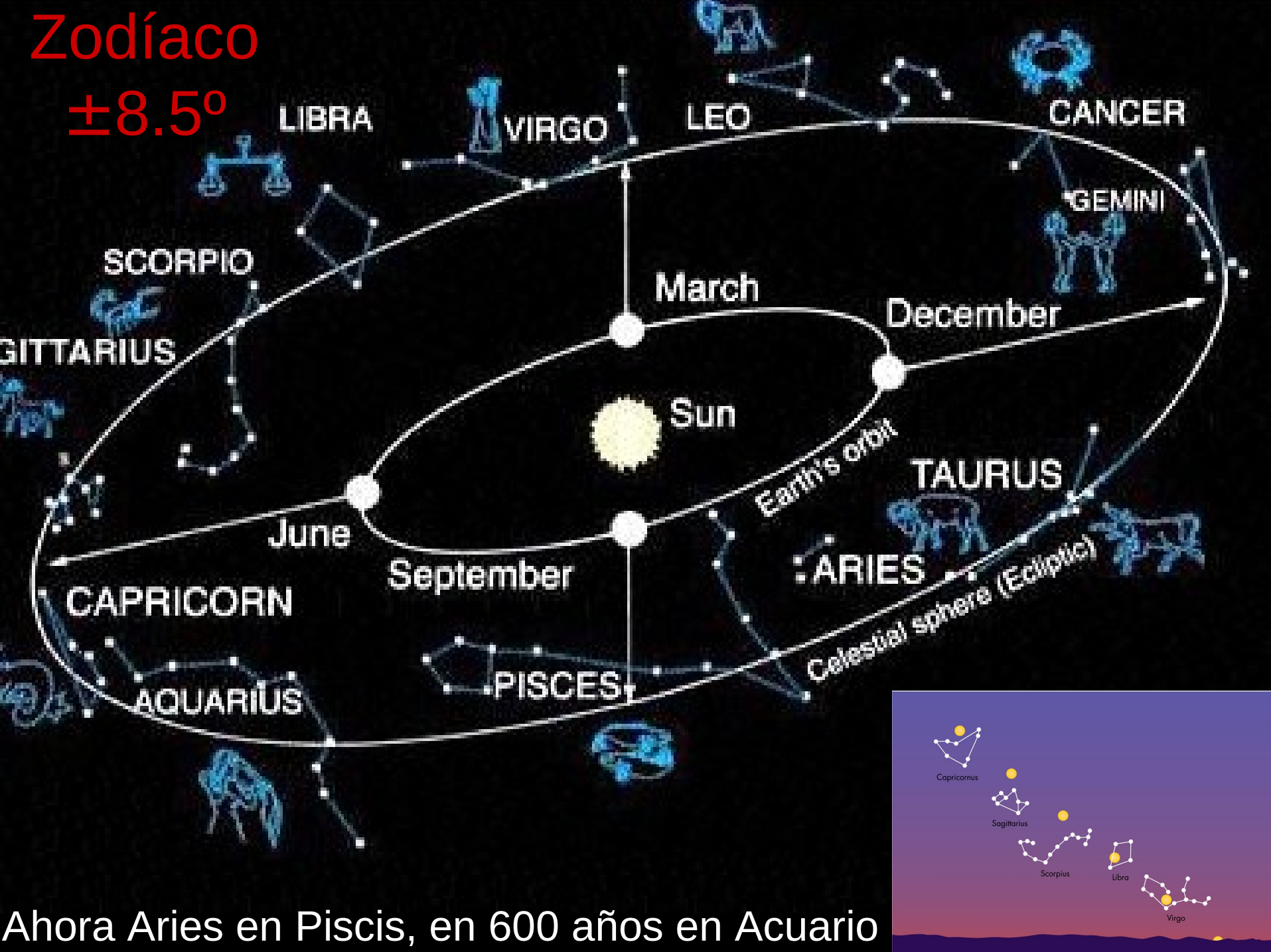
-Equinoccio de  
primavera 21-22 de  
marzo.

**PUNTO VERNAL**

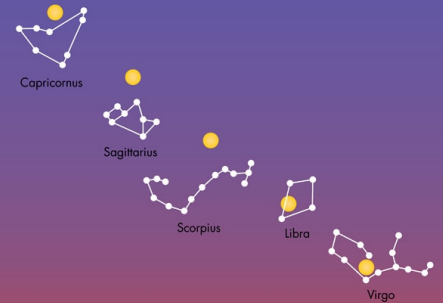


# Zodiaco

$\pm 8.5^\circ$

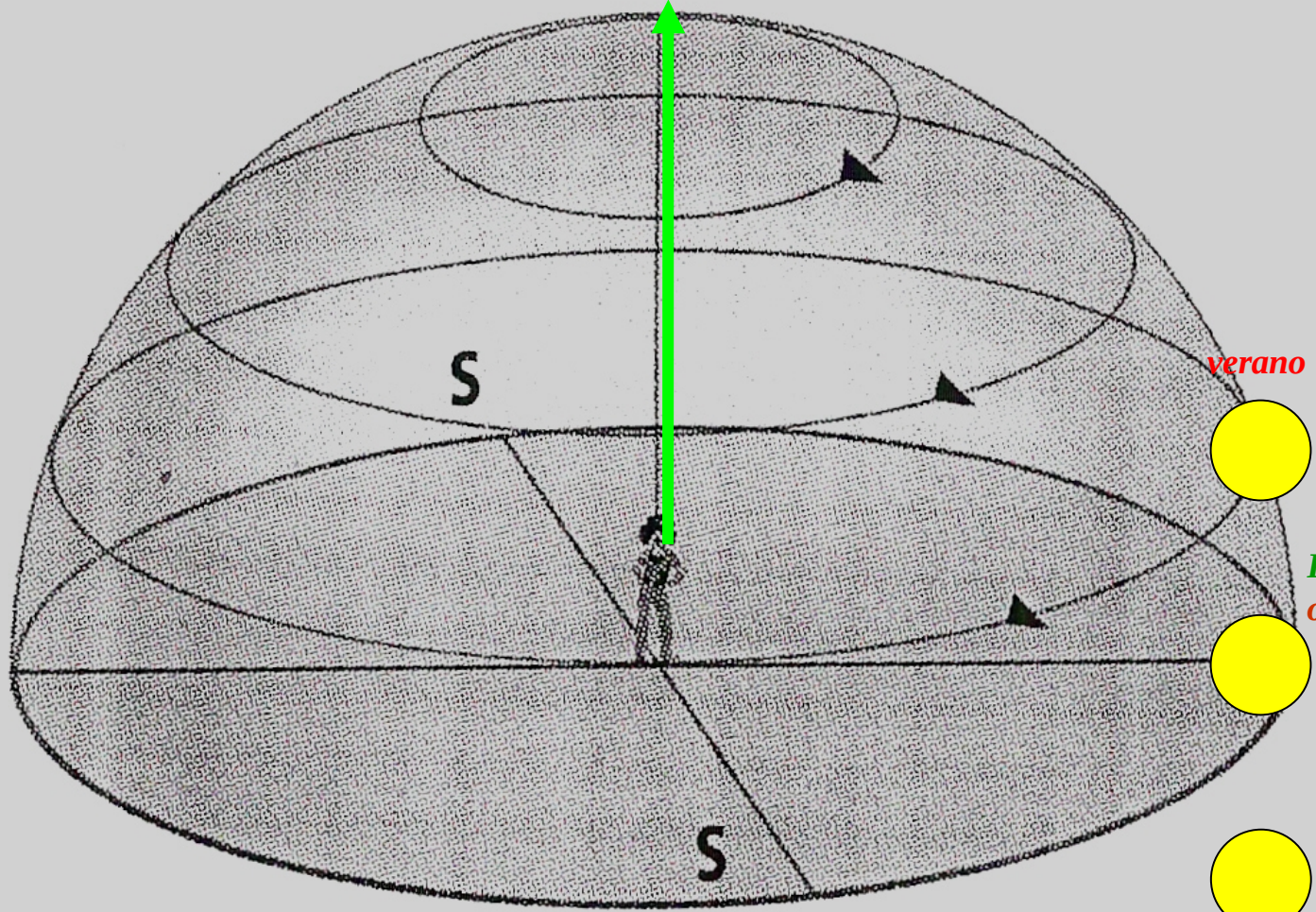


Ahora Aries en Piscis, en 600 años en Acuario





N

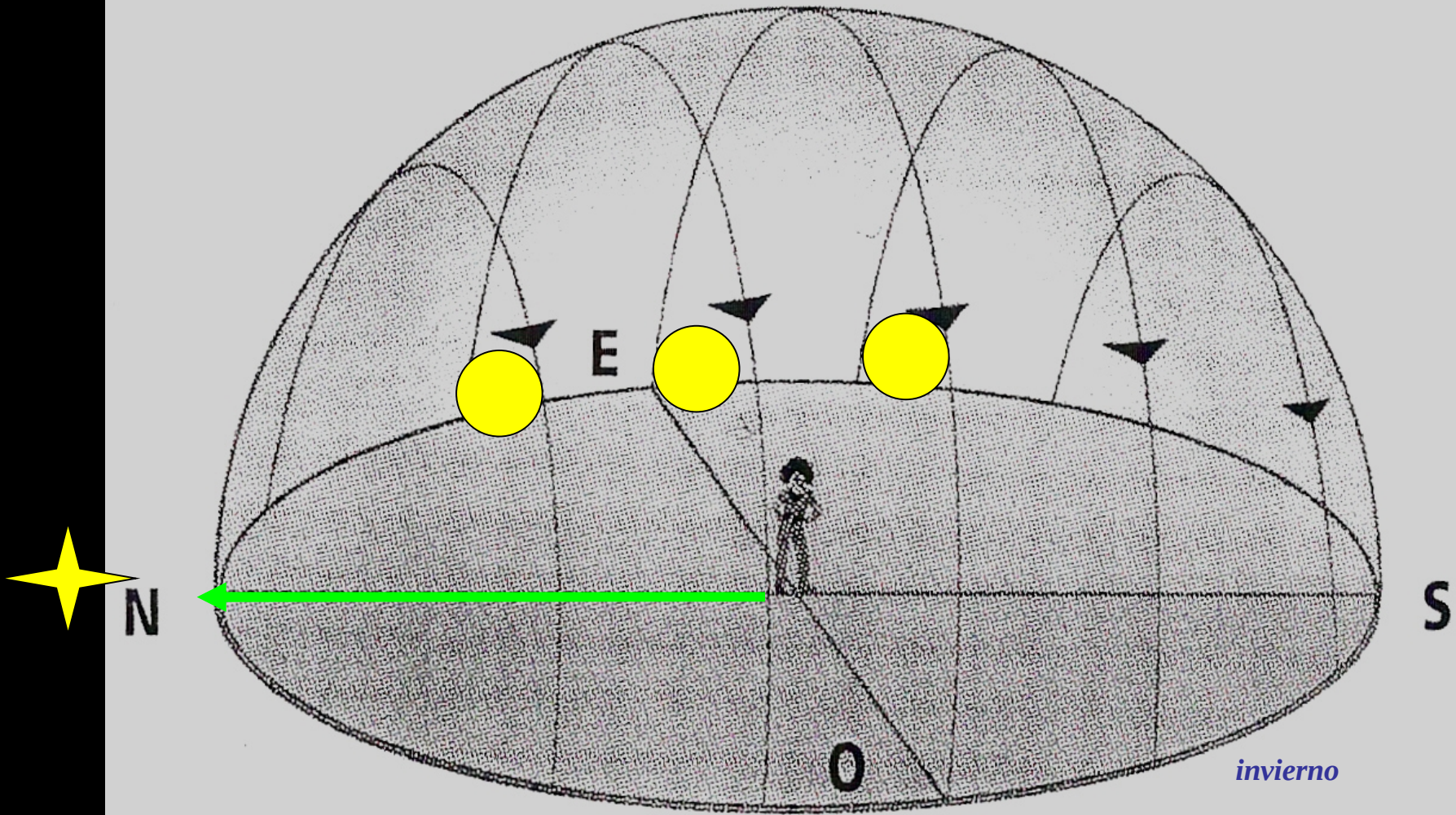


verano

Primavera /  
otoño

invierno

En el polo norte (90°N)



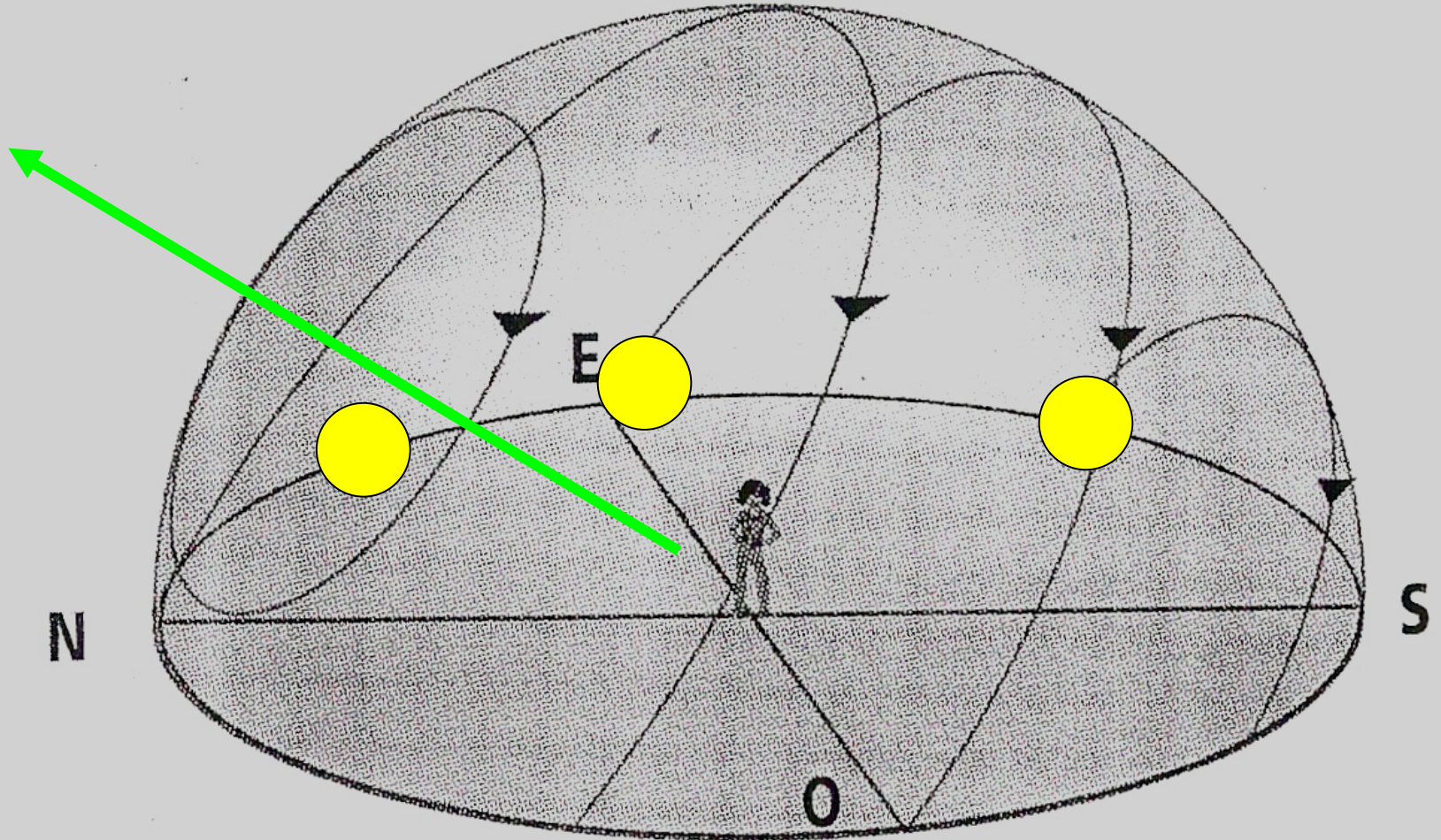
*verano*

*Primavera / otoño*

*invierno*

**En el ecuador (0°)**

**.- desde MURCIA.....**



*verano*

*Primavera /*

*invierno*

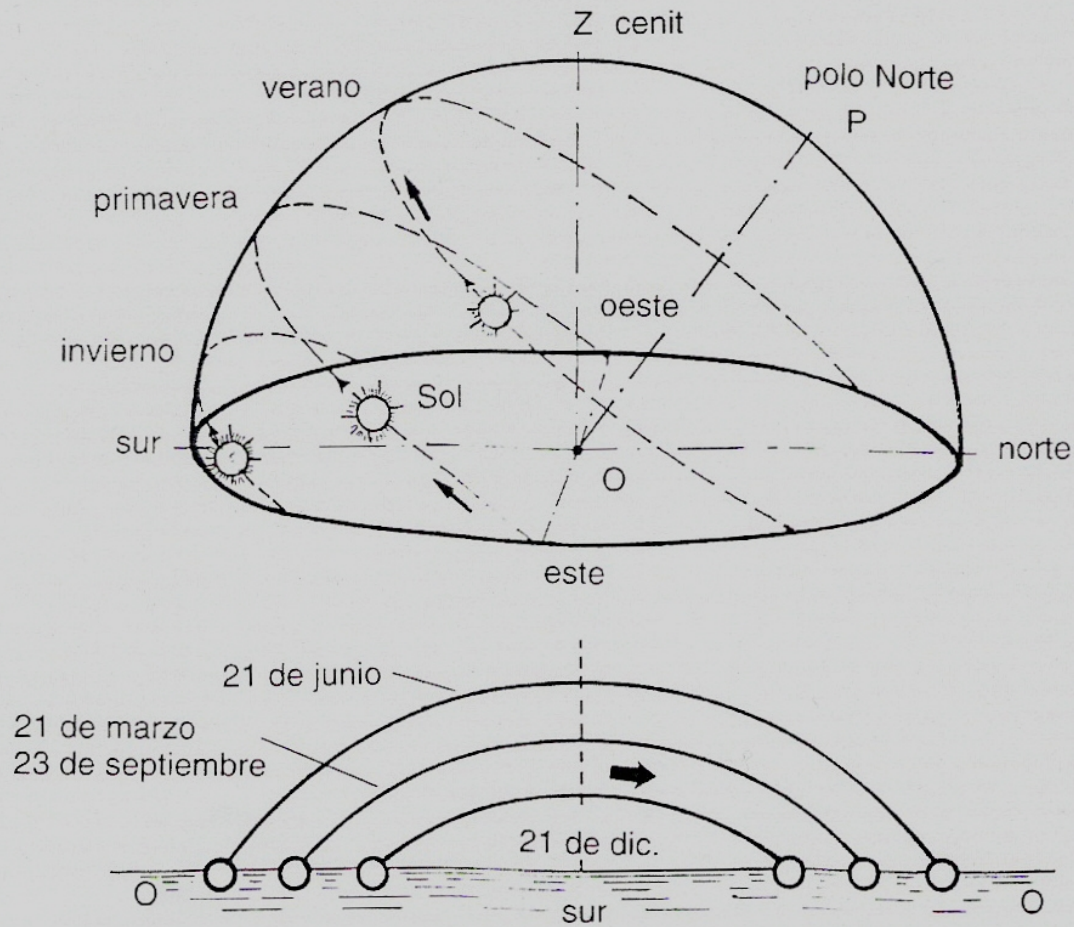
*otoño*

**En latitudes boreales medias (40°N)**



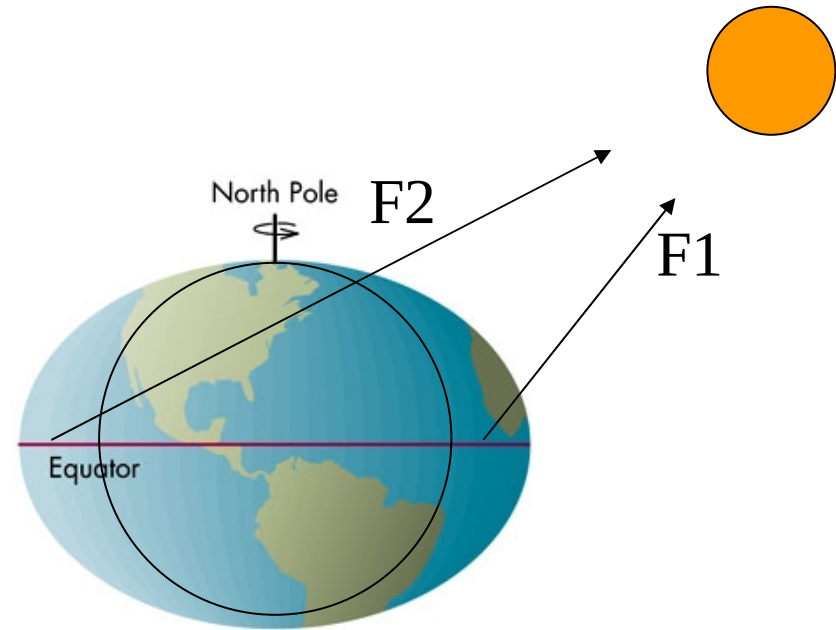
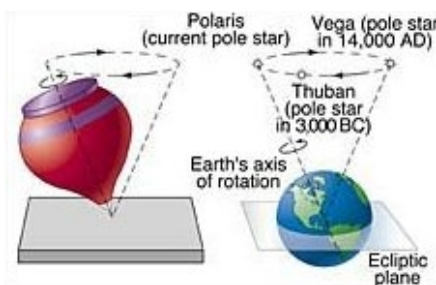
# EL SOL EN LOS EQUINOCIOS Y SOLSTICIOS

## MOVIMIENTO DIURNO DEL SOL VISTO POR UN OBSERVADOR

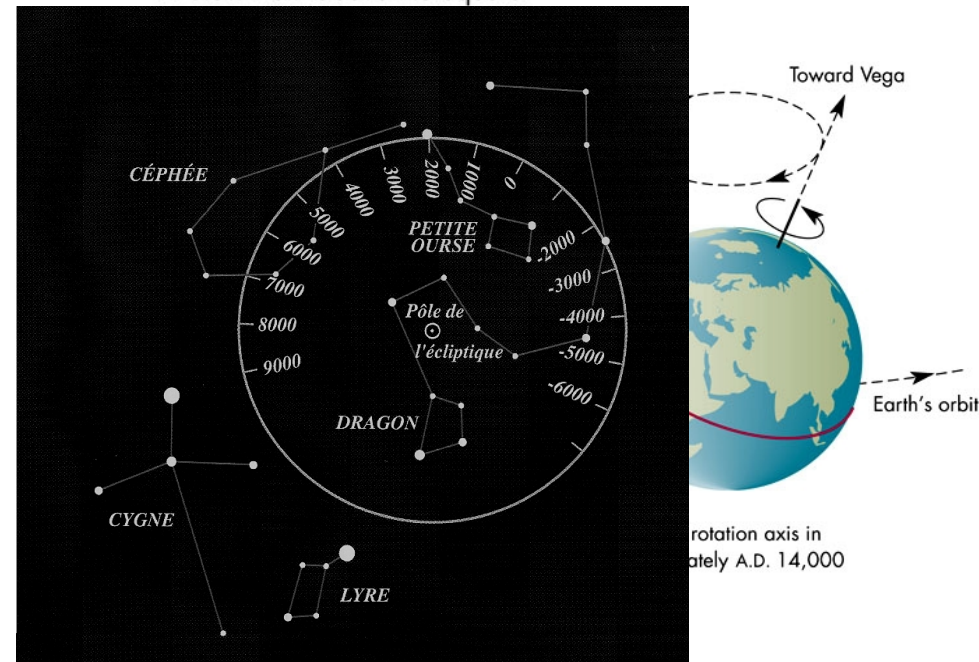


# Precesión

- La Tierra es achatada
- $F_1 > F_2$  la atracción solar ejerce un par que tiende a hacer girar el eje de rotación del geode para que el plano del ecuador coincida con el de la órbita. Pero el momento angular de la Tierra por su rotación hace que el efecto del par sea el de hacer girar el eje terrestre alrededor de un eje perpendicular a la órbita (bamboleo del eje Polar en torno a eje eclíptica).
- $P = 25781$  años o  $50'' .27/\text{año}$
- Ahora a  $1^\circ$  de estrella polar, en 12000 años Vega
- Cambia coords. ecuatoriales (épocas)

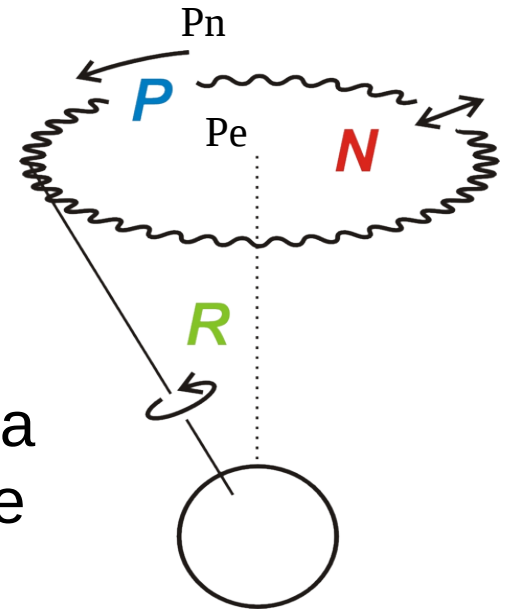


**B** View from above the equator



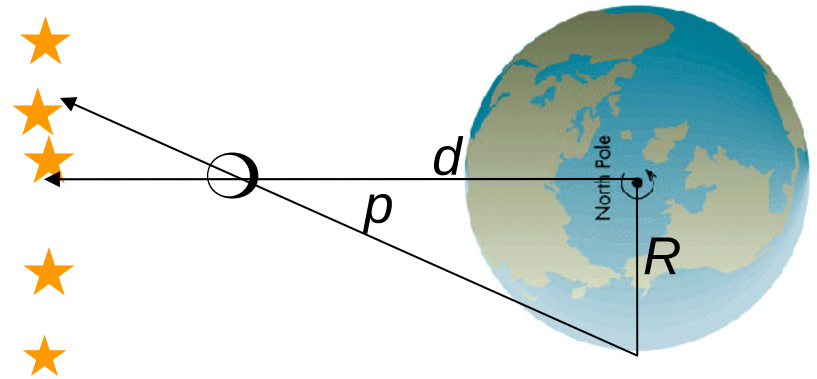
# Nutación

La atracción de la Luna y el Sol cambian constantemente debido a los cambios en las distancias que los separan de la Tierra así como en las direcciones en las que se hallan. Esto provoca pequeñas oscilaciones del eje de rotación de la Tierra, que pueden describirse como un elipse superpuesta a la precesión ( $a=18''.42$ ,  $b=13''.72$ ) que se recorre con un periodo de 18.6 años.



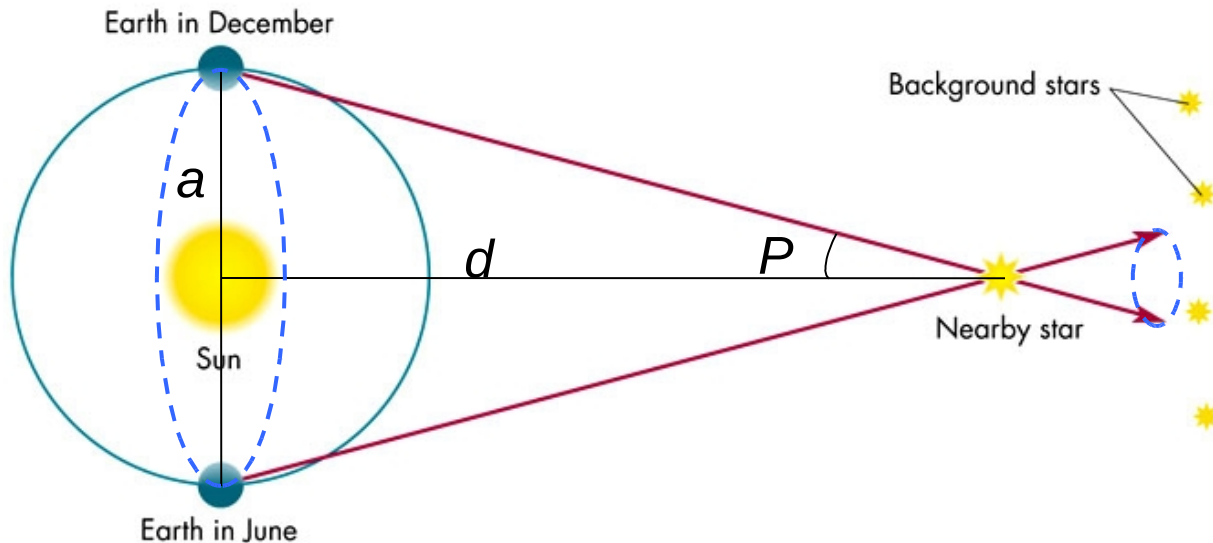
# Paralaje diurna

- Medida del ángulo formado cuando se mira un objeto desde dos puntos diferentes (línea base:  $R$ ,  $6h$ )
- Visión estereoscópica
- Paralaje diurna: objetos Sistema Solar  
 $\tan p = R/d$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{Luna } p=57'' \\ \text{Sol } p=8''.79 \end{array} \right.$
- Para medir objetos fuera del Sistema Solar necesitamos mayor línea base



# Paralaje anua

- Utiliza como línea base el diámetro de la órbita de la tierra (6 meses):  $\tan P = a/d$
- $a$  es 1 UA =  $1.49597870 \times 10^{11}$  m
- 1 parsec (pc):  $d$  tal que  $a$  subtende 1 segundo de arco  
 $1 \text{ pc} = 206\,265 \text{ UA} = 3.26 \text{ años luz} = 3.086 \times 10^{16} \text{ m}$
- $P < 1'' \rightarrow d = a/P$  ó  $d \text{ (pc)} = 1/P (")$
- Bessel (1838): 61 Cyg  $P = 0''.3$ . Próxima Centauri  $P = 0''.76$  (1.31 pc)
  - $d < 20 \text{ pc}$ : 900/1300 estrellas con paralaje preciso desde Tierra
  - *Hipparcos* ('90): 100 000  $d < 500 \text{ pc}$
  - *Gaia* (2012): 1% de las estrellas dentro de 5000 pc



June



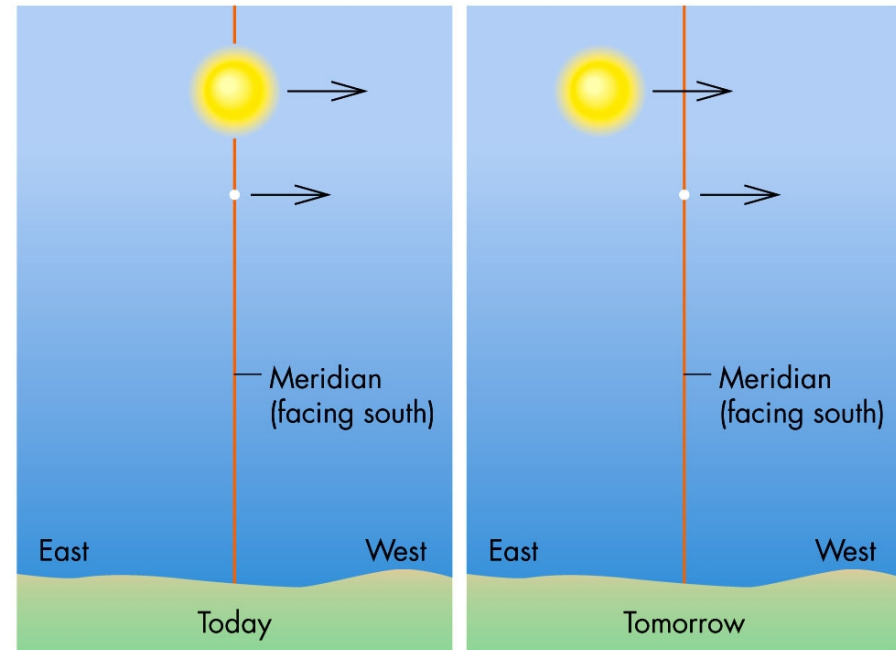
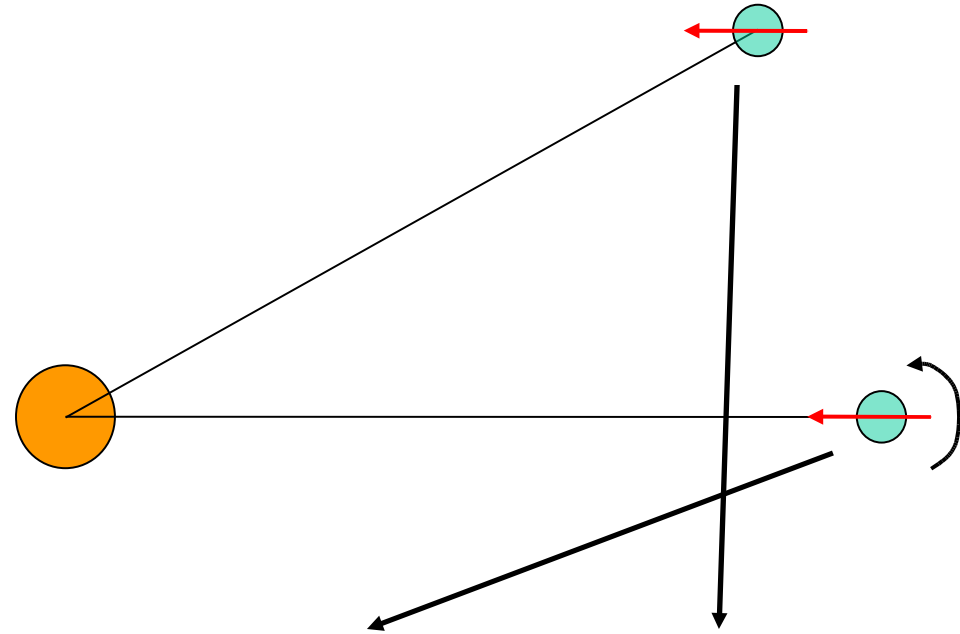
December

# Medida del tiempo

- **Día sideral**: intervalo de tiempo entre dos pasos de una estrella por el meridiano del observador
  - Duración:  $P_*$  = 23h 56m 4.10s (período de rotación terrestre)
- **Día sidéreo**: intervalo de tiempo entre dos pasos del punto de Aries por el meridiano del observador
  - Duración: 23h 56m 4.09s
- **Día solar verdadero**: intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos del centro del Sol por el meridiano

# Tiempo sidéreo

- 1 día sidéreo es el tiempo que tarda  $\gamma$  en cruzar dos veces el meridiano del observador
- 1 día solar verdadero es el tiempo que tarda el sol en cruzar dos veces el meridiano del observador
- 1 día solar > 1 día sidéreo  
365 días en  $360^\circ \rightarrow$  Tierra se mueve  $\sim 1^\circ/\text{día}$  o  $4^m/\text{día}$
- Cuando ha pasado un día sidéreo falta  $4^m$  para que pase un día solar



*¿ por qué gira el cielo.....?*



*La **ESFERA CELESTE** “parece” girar en torno nuestro, de Este a Oeste en 23 horas, 56 minutos (Medid el periodo de tiempo que tarda una estrella de una noche a la siguiente en ocupar el mismo lugar)...*

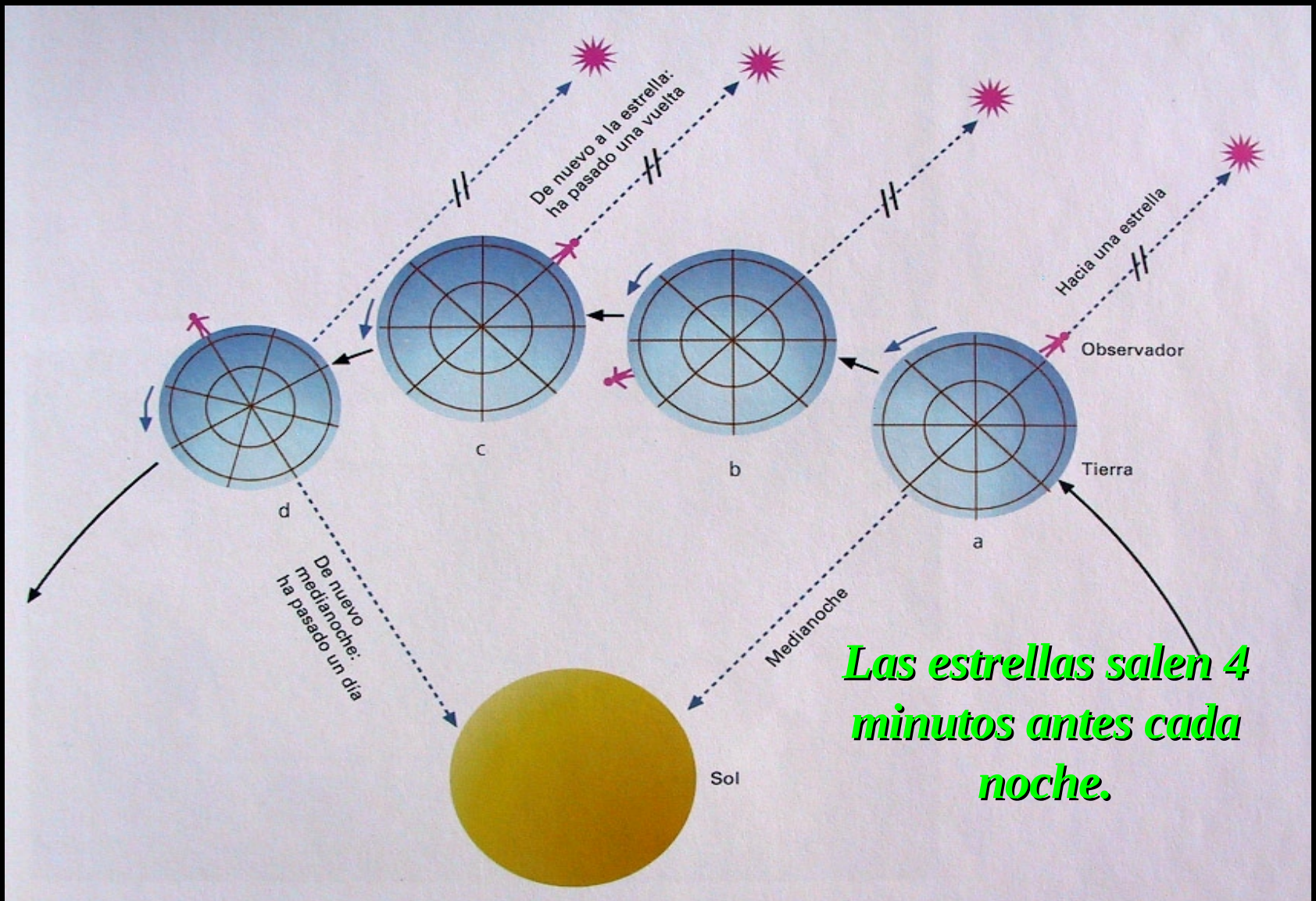
*...la razón de que las estrellas, “caminen” en el cielo de izquierda a derecha se debe a que nuestro planeta gira, de oeste a este, en ese mismo periodo de tiempo con respecto a ellas...*

*.....Estamos comprobando los efectos de **LA ROTACIÓN TERRESTRE**.*

*Y uno de los principales **CICLOS DEL CIELO**.....*



# Los ciclos del cielo: **LA ROTACIÓN.- EL DÍA**



**Día sidéreo: 23h56m.**

**Día Solar 24h.**

# Tiempo solar medio

- $P_*$  bastante constante pero incómodo
- $P_s$  conveniente (rige día/noche) pero no regular:
  - Órbita Tierra elipse: velocidad no uniforme
  - Sol se mueve sobre Eclíptica, no sobre Ecuador, luego su Ascensión Recta (y H) no varía de manera uniforme
- **Sol medio**: se mueve sobre el Ecuador con velocidad constante y mismo período que sol verdadero
  - Intervalo entre dos pasos del Sol por punto Aries:  
1 año trópico = 365.2422 días = 365d 5h 48m 46s
- **Tiempo medio**:  $T_M = H_M + 12h$  (centro del sol)
- Sobre el meridiano de Greenwich: tiempo de Greenwich, tiempo Universal (**UT**) o **GMT** (*Greenwich Mean Time*:  $T_0$ )
  - En Reino Unido tiempo=UT en invierno, +1 en verano
  - $T_M = T_0 + \lambda$
- **Huso horario**: división superficie Tierra en 24 zonas de  $15^\circ$ 
  - divisiones políticas cambian esto un poco
  - Línea de cambio de fecha (+1 si hacia W, -1 si hacia E)
- **Ecuación del tiempo**  $ET = T_S - T_M$  con  $T_S = H_S + 12h$  (solar verdadero)  
 $ET = H_S - H_M = \alpha_S - \alpha_M$

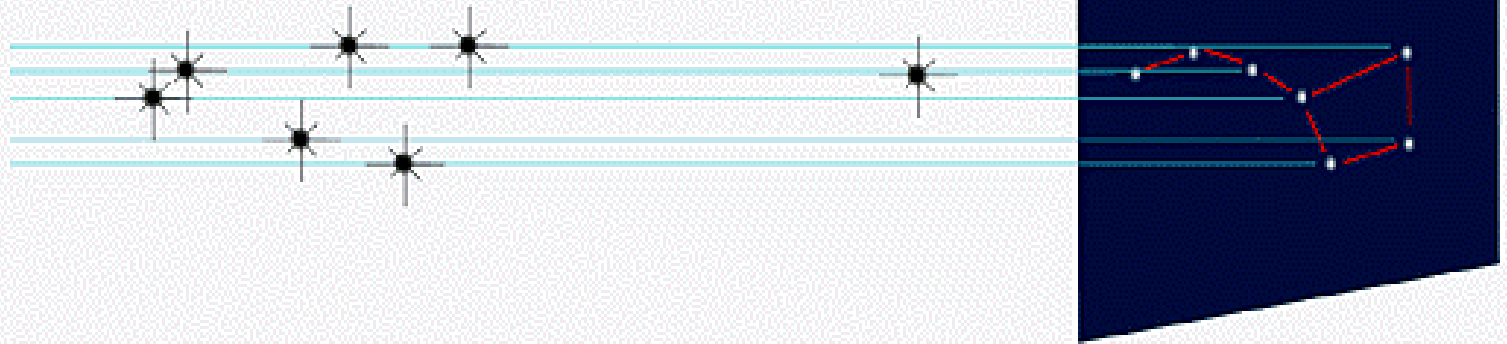
# Calendarios

- **Calendario**: sistema de medida de intervalos largos de tiempo
  - Basados en acontecimientos periódicos: Sol, Luna...
- Calendario Solar basado en año Trópico=365.2422 días  $\neq Z$
- **Calendario Juliano** (46 a.C.): ciclos de 4 años:  
 $(3 \times 365 + 1 \times 366) / 4 = 365.25$ , 366 días **años bisiestos**
- Con el tiempo serias diferencias con las fechas
  - día de Pascua: primer Domingo después de la primera Luna llena de Primavera
- **Calendario Gregoriano** (1582): ciclos de 400 años:  
 $(303 \times 365 + 97 \times 366) / 400 = 365.2425$ 
  - bisiesto si /4, pero no si /100 salvo que /400
  - se perdieron del 5 al 14 de Octubre de 1582 (diez días)
  - Sólo se pierde un día cada 3333 años

# Constelaciones

- Figuras con las estrellas más brillantes:
  - Griegos 48 (origen Mesopotamia)
  - s. XVII: constelaciones más débiles
  - s. XVIII: constelaciones Sur (Telescopio, Microscopio...)
- Hoy hay 88 constelaciones: 28N, 48S y 12 Zodíaco
  - ~70 desde Europa total o parcialmente
- IAU (1928): fronteras con paralelos y meridianos
- Abreviaturas: UMa, Ori, CMa, CVn...





*Las estrellas que conforman una constelación no tienen, generalmente, ninguna relación “intima” en el espacio ....  
Simplemente es cuestión de perspectiva ... nuestra esfera no tiene profundidad,.... observamos en dos dimensiones.*

*... y, las constelaciones rara vez se asemejan al animal, héroe u objeto al que representan ..... Hay excepciones.*

# Nombres de las estrellas y catálogos

- 130 más brillantes nombre propio:
  - Romanos: Sirio (más brillante), Cástor, Póllux (Gemelos)
  - Griegos: Capella
  - Árabes: Vega, Betelgeuse, Aldebaran, Algol, Rigel
- 6000 con ojo desnudo, se necesita sistema mejor:
  - posición en constelación
  - J. Bayer (1603): letra y genitivo nombre por brillo:  $\alpha$  CMa (Sirio)...
  - J. Flamsteed (1729): # y genitivo (W a E, y N a S): 9 CMa
- s. XIX y XX catálogos: nombre catálogo y número
  - *Bonner Durchmusterung* (BD, 1862-1883): 324 189 estrellas  
BD<Dec> # (BD-16 1591)
  - H. Draper (HD, 1918-1924): 225 300 estrellas  
HD # (HD 48915)
  - Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO, 1960): 258 997 estrellas  
SAO # (SAO 151881)
  - Moderno: código catálogo y posición (1RXS J064509.3-164241)
- Una estrella puede aparecer en más de un catálogo
- Catálogos fotográficos y digitales