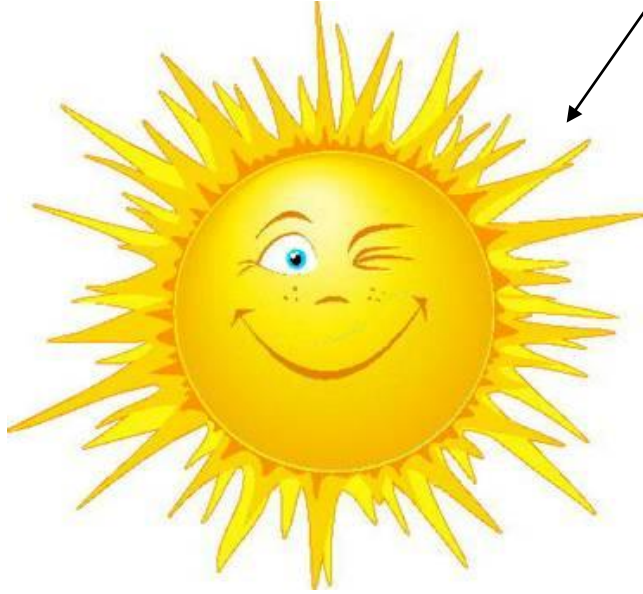


astronomía: estudio de los astros

astro: cuerpo (luminoso o no) aislado en el espacio



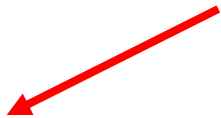
universo: conjunto de todos los astros más el espacio

ramas de la astronomía:

- **astronomía de posición:** estudia la posición de los astros y describe sus movimientos
- **mecánica celeste:** interpreta los movimientos de los astros
- **astrofísica:** estudia la composición, estructura física y la evolución de los astros
- **cosmología:** estudia el origen y la evolución del universo en su conjunto

comienzos de la astronomía

**el hombre descubre la regularidad en los
fenómenos celestes**



**la sucesión de los
días y las noches**

**la sucesión de
las estaciones**

comienza a tomar registros de lo que observa



nace la astronomía



puede predecir los fenómenos



**el cielo se convierte en el reloj y el calendario
para el hombre antiguo**

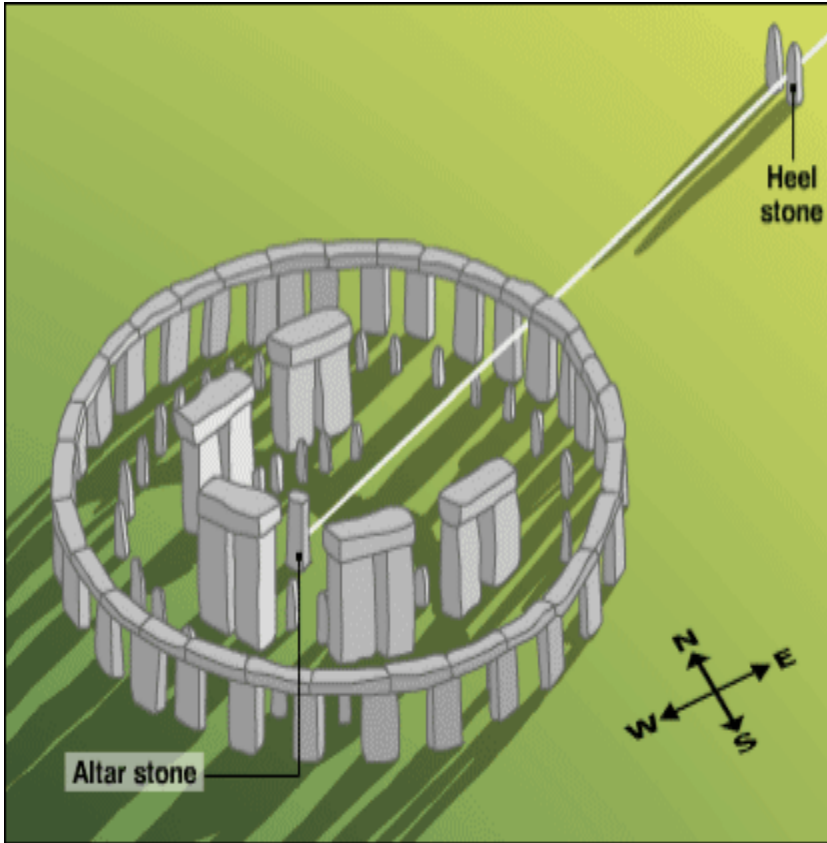
arqueoastronomía: disciplina que estudia los restos arqueológicos relacionados con el estudio de la astronomía

la arqueoastronomía evidenció el desarrollo de la astronomía por el hombre desde muy antiguo

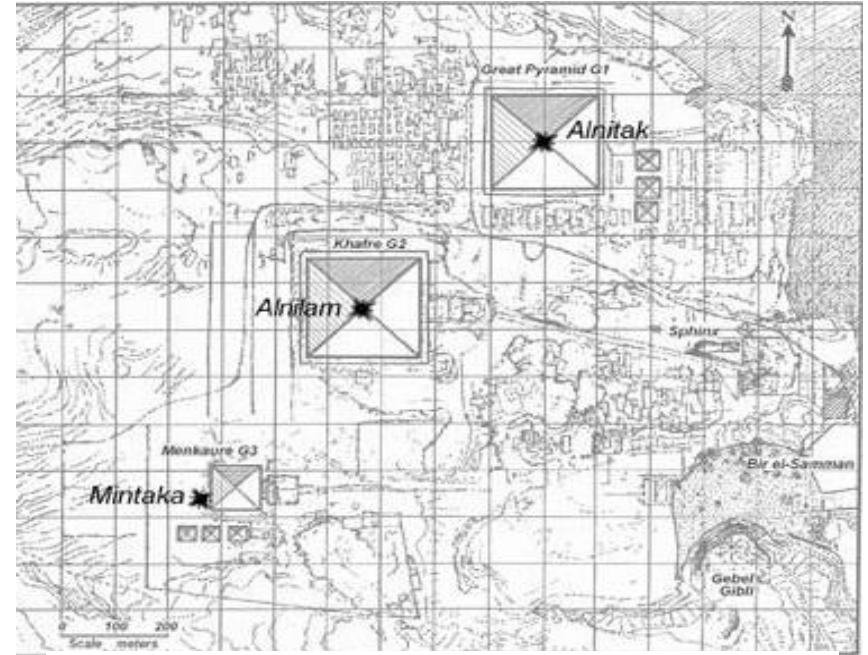


calendarios grabados en hueso (8000ac?)

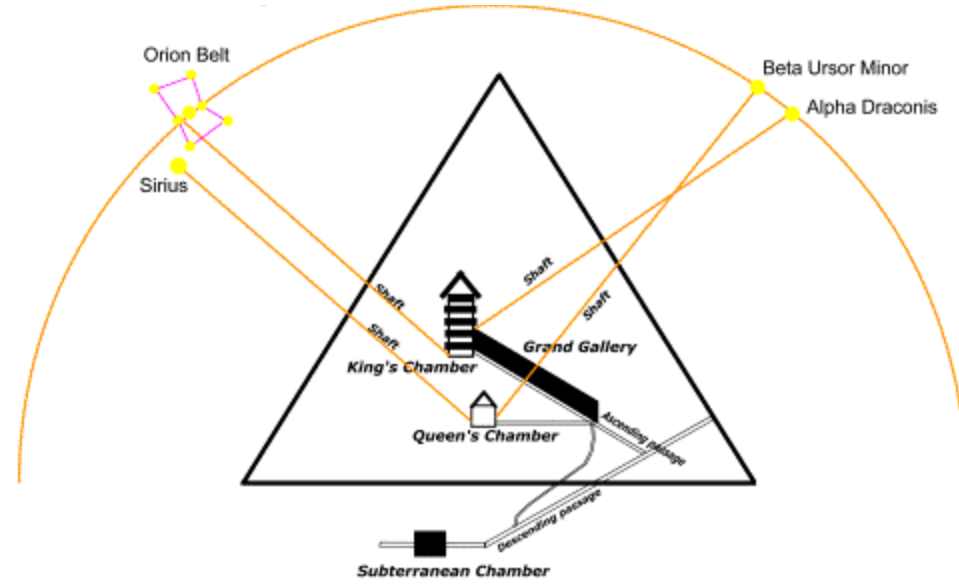
Stonehenge (3300ac, Wiltshire, Inglaterra)



Pirámides (2500ac, meseta de Gizeh, Egipto)



cielo en Gizeh en 2500ac



***Templo del Sol, ruinas de Palenque
(100ac, Chiapas, México)***



***el 21 de junio
(solsticio de verano)
el sol naciente entra
por una ventana en la
fachada del edificio***

Hiparco (Nicea, 130ac): catálogo con 850 estrellas

***Tolomeo (Grecia, 130dc): catálogo con 1022 estrellas
(Almagesto), probablemente basado en el de Hiparco.***

sólo posiciones de los astros!!

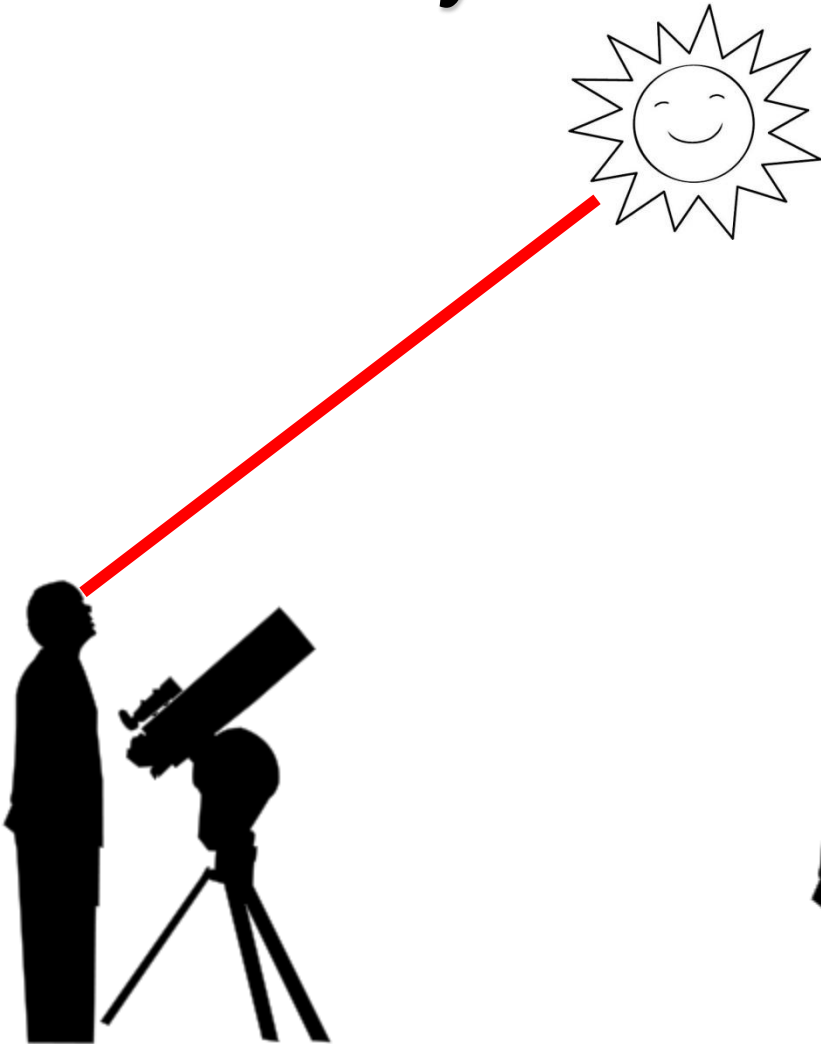
***en una esfera con centro en el observador donde
aparentemente están ubicados los astros***



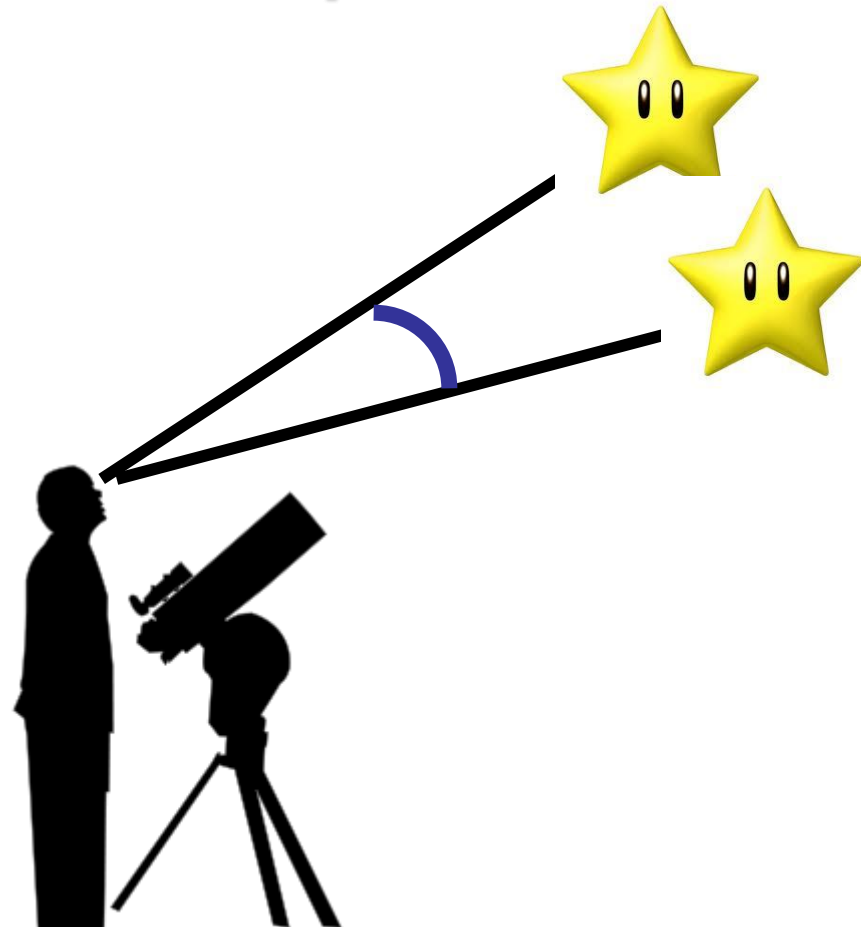
esfera celeste

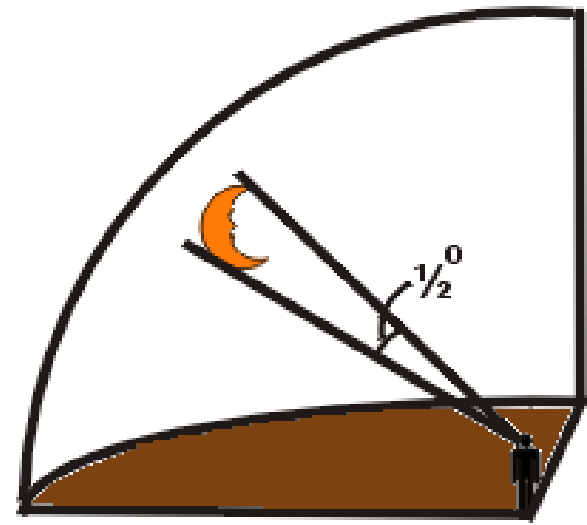
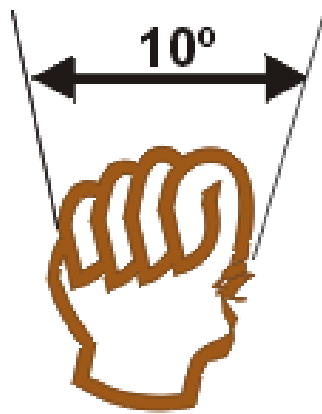
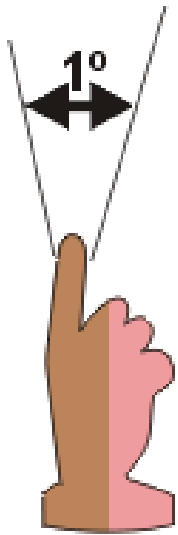
***todos los astros están ubicados en la cara interna de
la esfera celeste a la misma distancia del observador***

visual a un astro: línea recta que une el observador y el astro

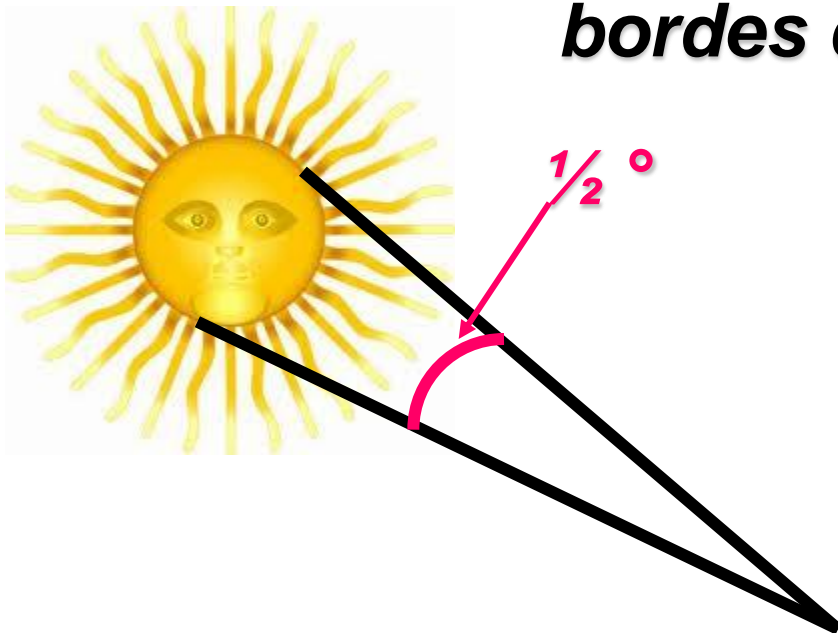


distancia angular entre dos astros: ángulo formado por las visuales dirigidas a los respectivos astros

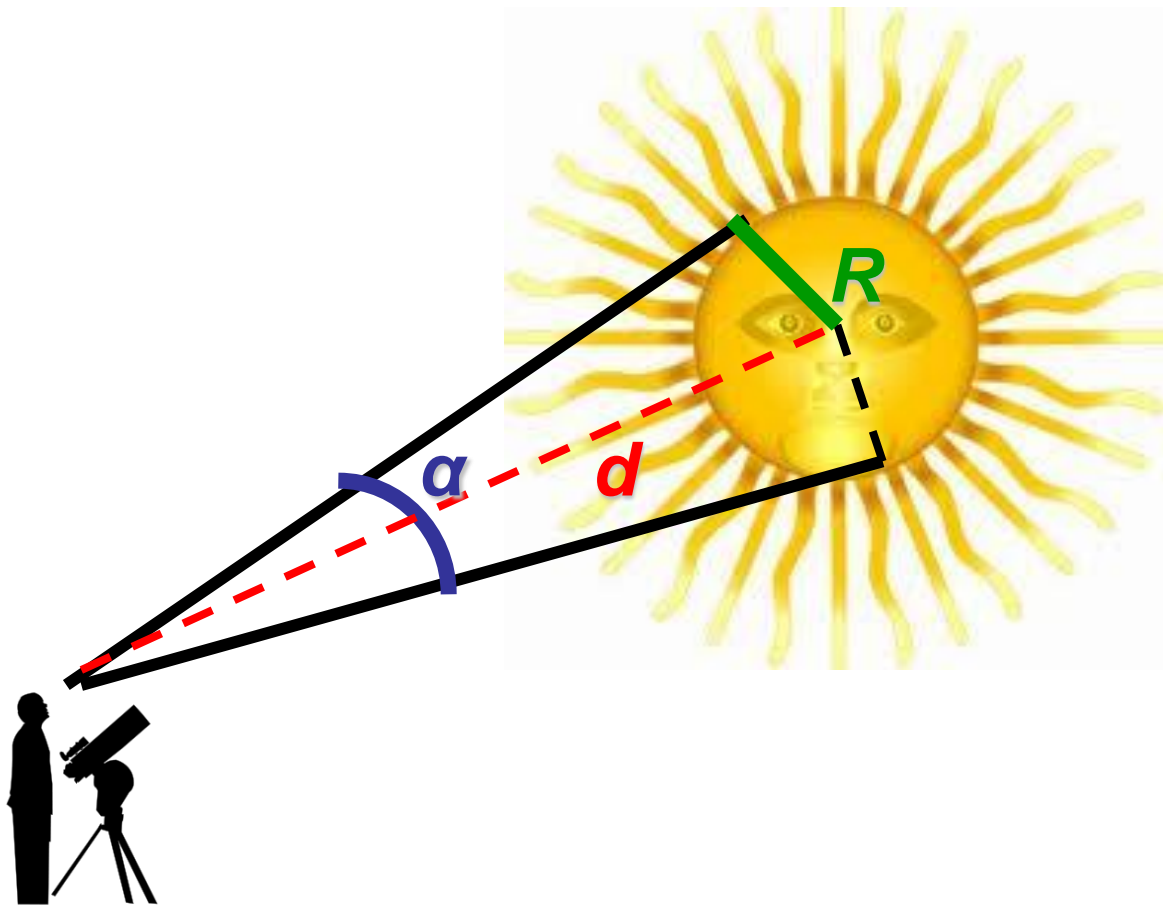




diámetro angular o diámetro aparente de un astro:
ángulo entre las visuales dirigidas tangentes a los
bordes de un astro



el diámetro angular
de la luna y el diámetro
angular del sol son
aproximadamente iguales



$$\text{sen}(\alpha/2) = R/d$$

el diámetro angular de un astro depende del diámetro lineal y de la distancia a la cual se encuentra el astro

el sol es aproximadamente 400 veces mas grande que la luna pero se encuentra 400 veces mas lejos

diámetro angular $\neq 0$ \Rightarrow objeto extenso

diámetro angular $= 0$ \Rightarrow objeto puntual

las estrellas

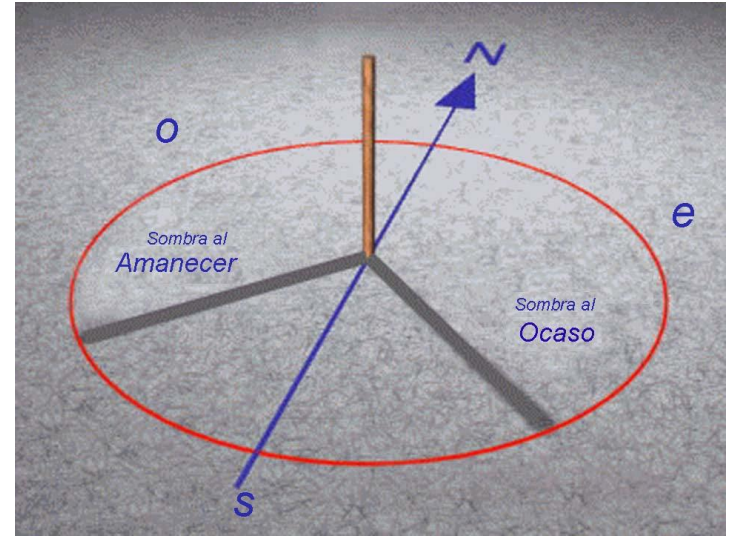
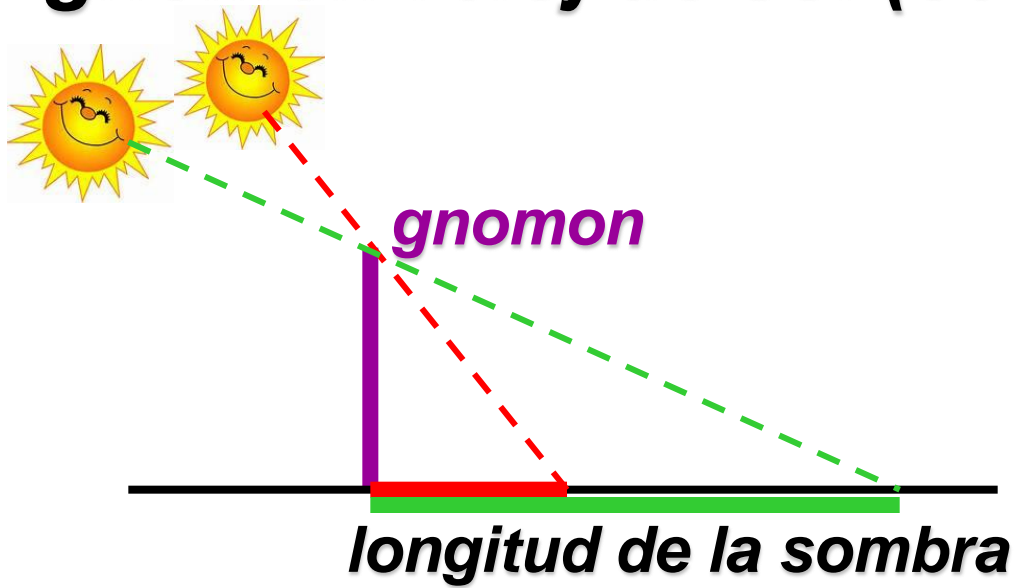
- no tienen diámetro aparente!***
- mantienen por muchos años la misma distancia angular entre ellas \rightarrow constelaciones***

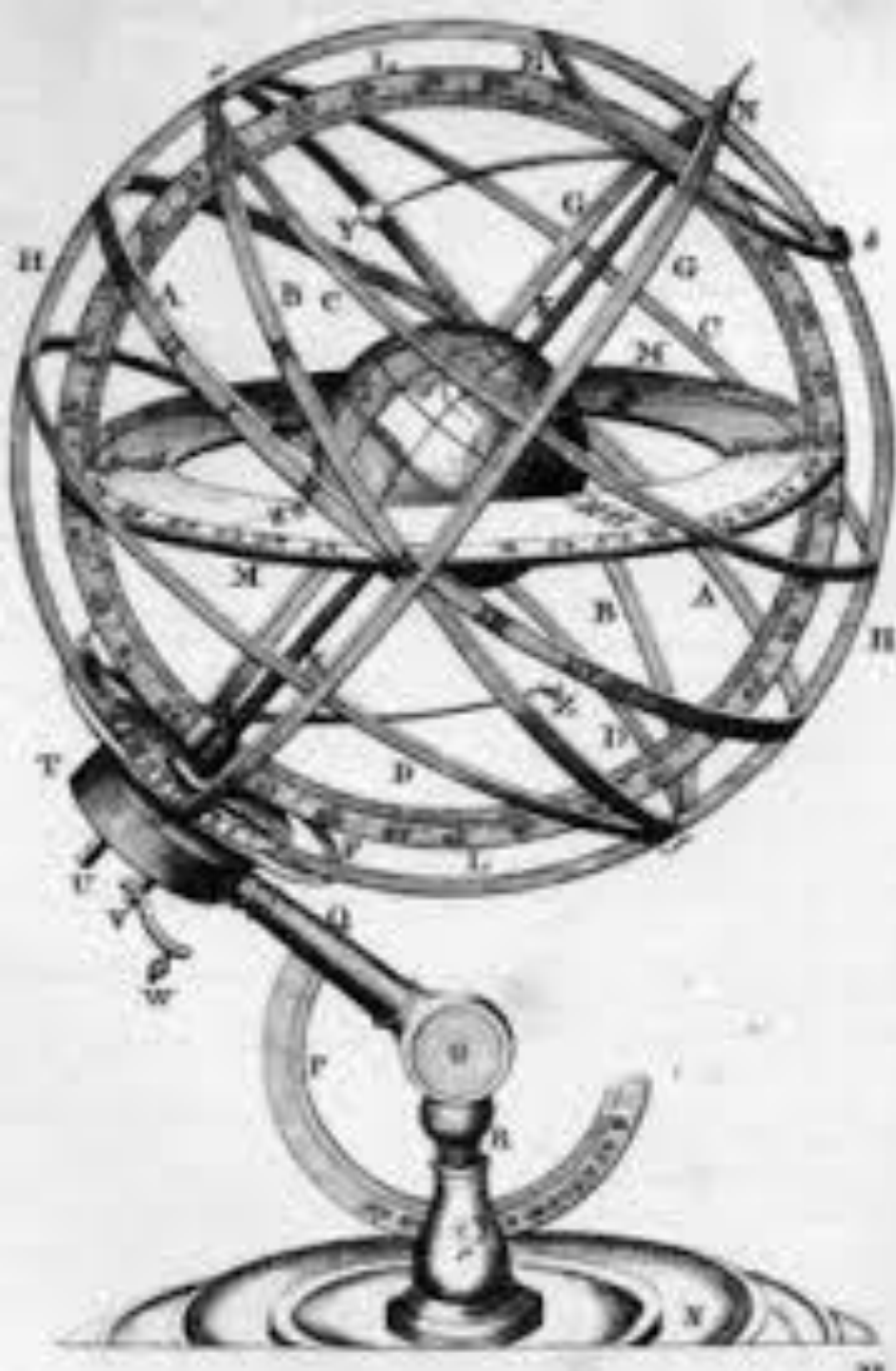
los planetas

- tienen diámetro aparente!***
- varía la distancia angular entre ellos y con respecto a las estrellas***

instrumentos astronómicos antiguos

gnomon-reloj de sol (3000ac)





esfera armilar (250ac?)

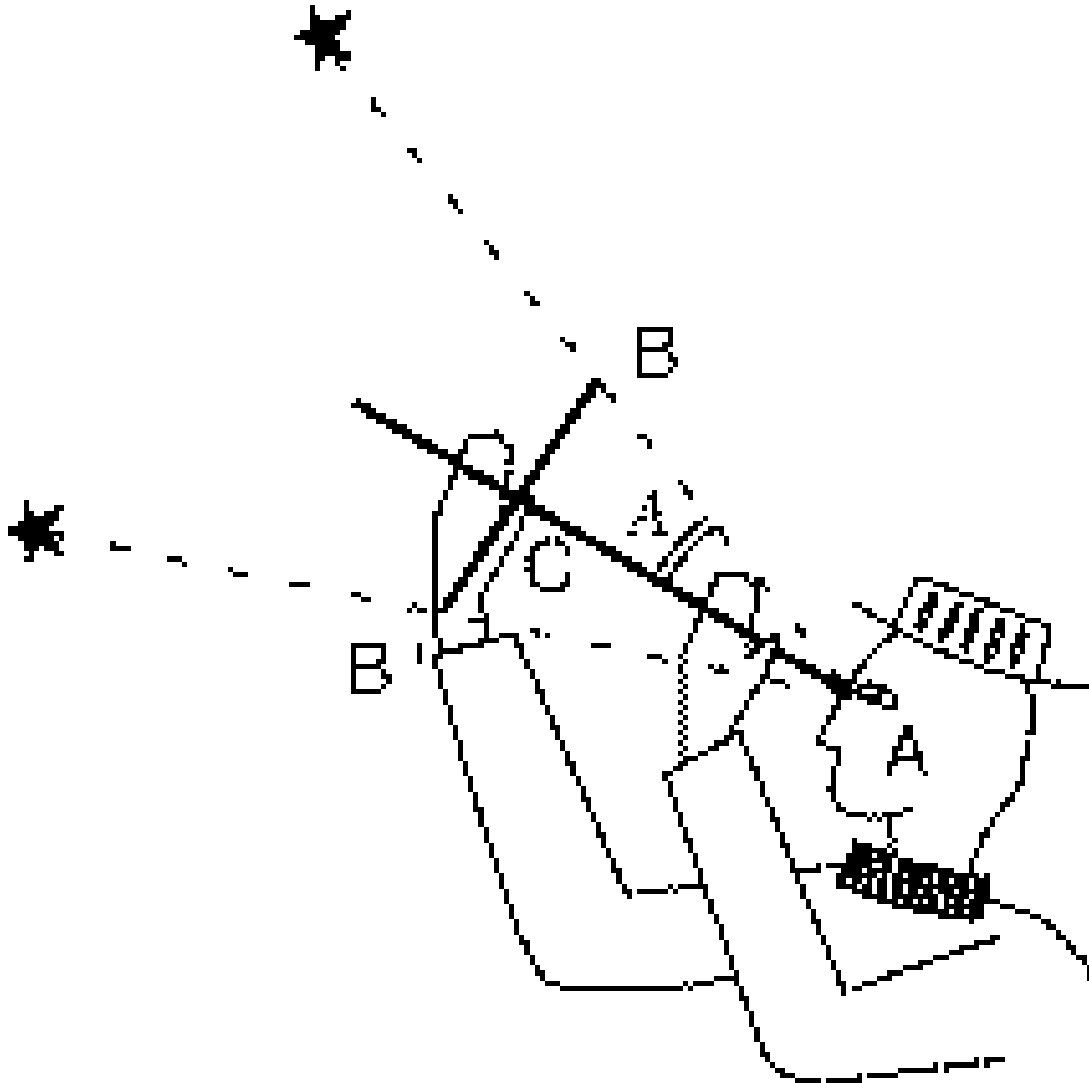
***Inventada por Eratóstenes?
Usada por Hiparco, Tolomeo,
y Ticho Brahe***

***muy usada con fines
pedagógicos***

astrolabio (200ac ?)

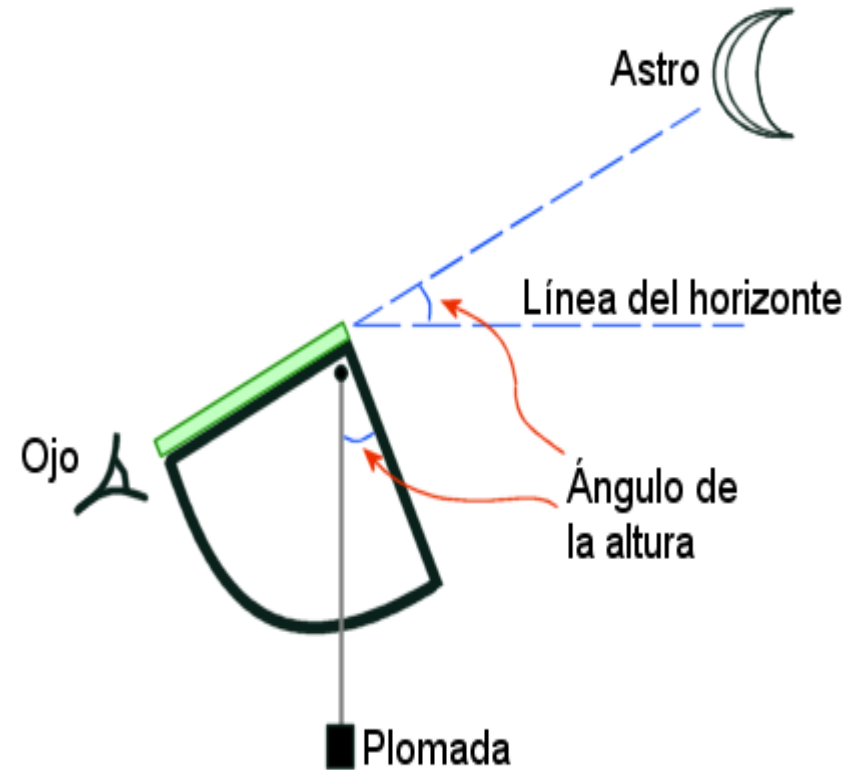


alidada (1300)

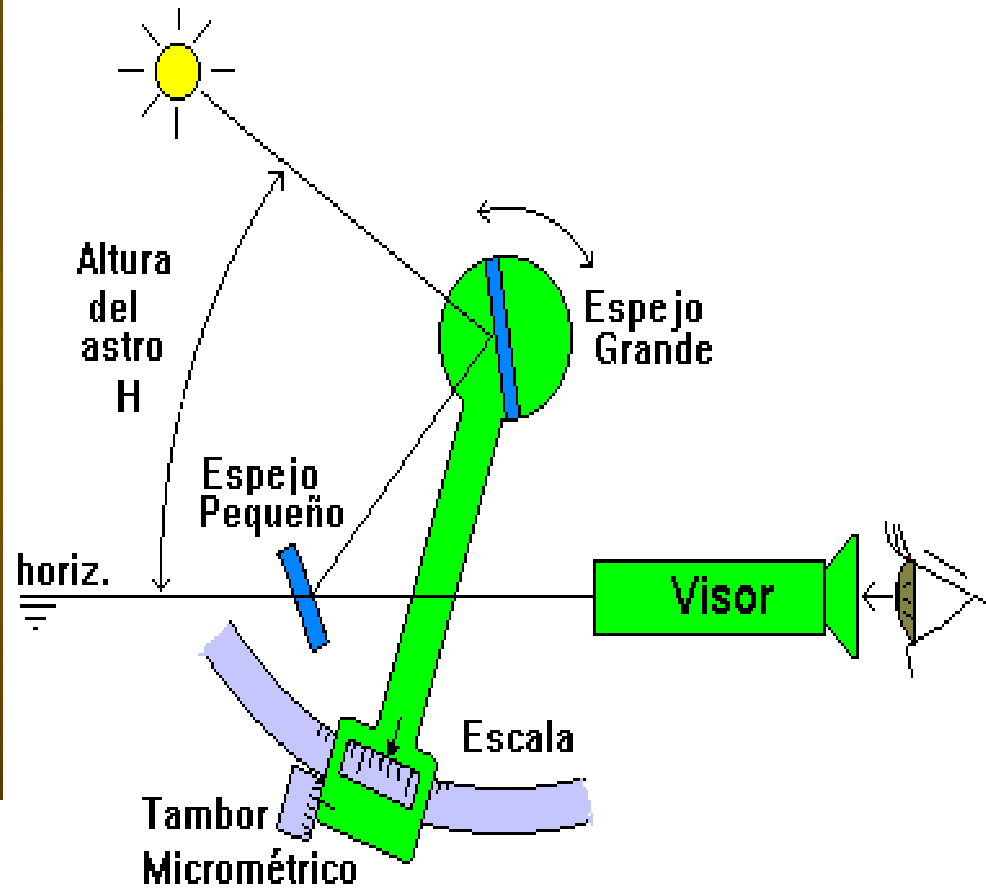


$$\tan(A) = \frac{BC}{AC}$$

cuadrante (1590)



sextante (1750)



<i>Pitágoras</i>	<i>570ac?-497ac?</i>
<i>Aristóteles</i>	<i>384ac-322ac</i>
<i>Eratóstenes</i>	<i>276ac-194ac</i>
<i>Hiparco</i>	<i>190ac-120ac</i>
<i>Claudio Tolomeo</i>	<i>120-170</i>
<i>Nicolas Copérnico</i>	<i>1473-1543</i>
<i>Tico Brahe</i>	<i>1546-1601</i>
<i>Giordano Bruno</i>	<i>1548-1600</i>
<i>Galileo Galilei</i>	<i>1564-1642</i>
<i>Juan Képler</i>	<i>1571-1630</i>
<i>Isaac Newton</i>	<i>1643-1727</i>

en el siglo XVII aparece el telescopio (Lippershey ?)

pero ...



***la astronomía sigue
siendo sólo de
posición hasta
principios del siglo
XX , cuando
comienza a usarse
la espectroscopía***



***astronomía
de
posición***

registro de las posiciones de los astros



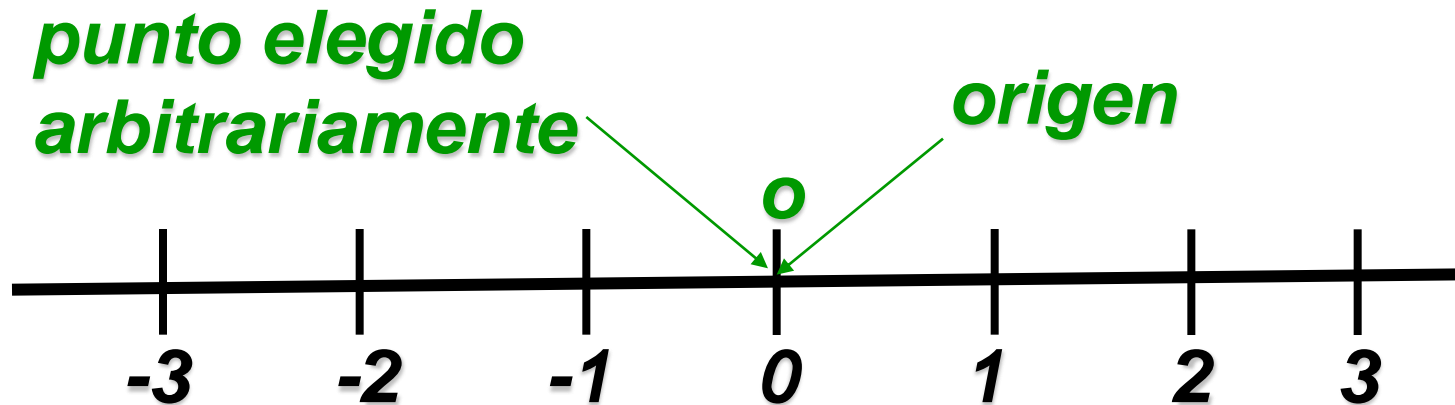
definir un sistema de coordenadas o marco de referencia

el sistema de coordenadas será definido según:

- 1) todos los objetos ubicados sobre una línea**
- 2) todos los objetos ubicados sobre un plano**
- 3) todos los objetos ubicados en el espacio**

1) todos los objetos ubicados sobre una línea

se elige un punto sobre la línea como el origen del sistema de coordenadas y se adopta una escala



universo unidimensional!

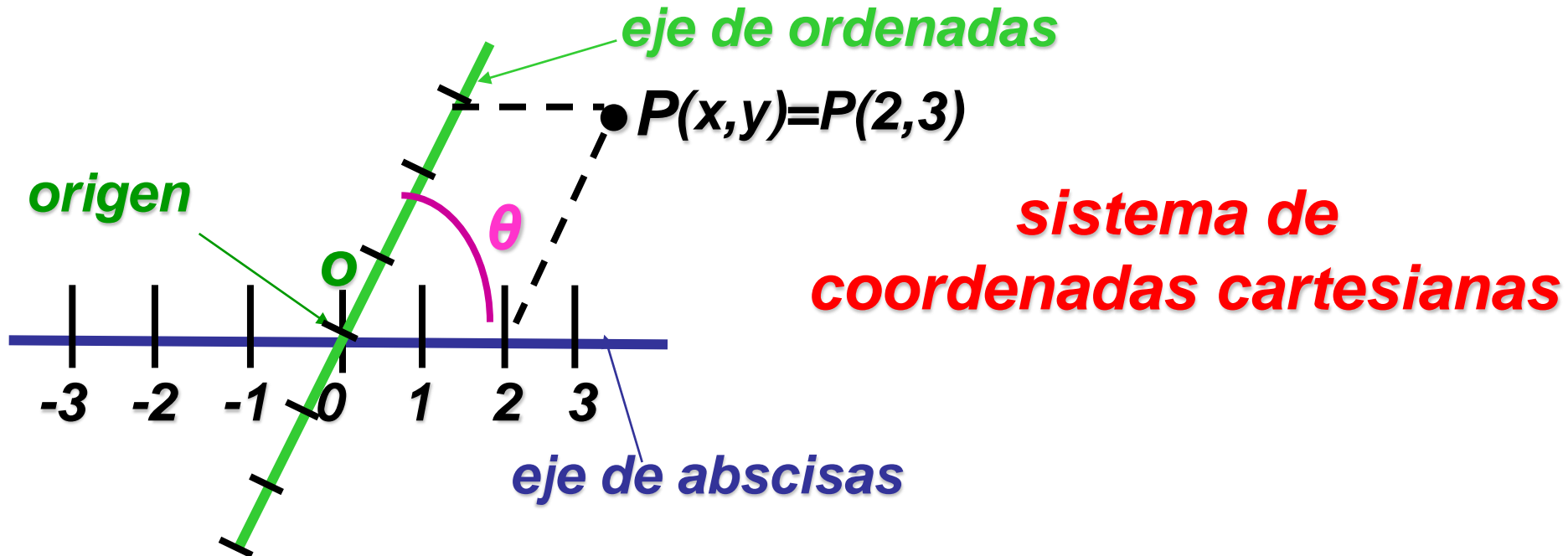


con un número o coordenada se localiza un objeto

2) todos los objetos ubicados sobre un plano

a) • se eligen 2 rectas de referencia que se cortan en el origen del sistema de coordenadas y se adopta una escala para cada eje

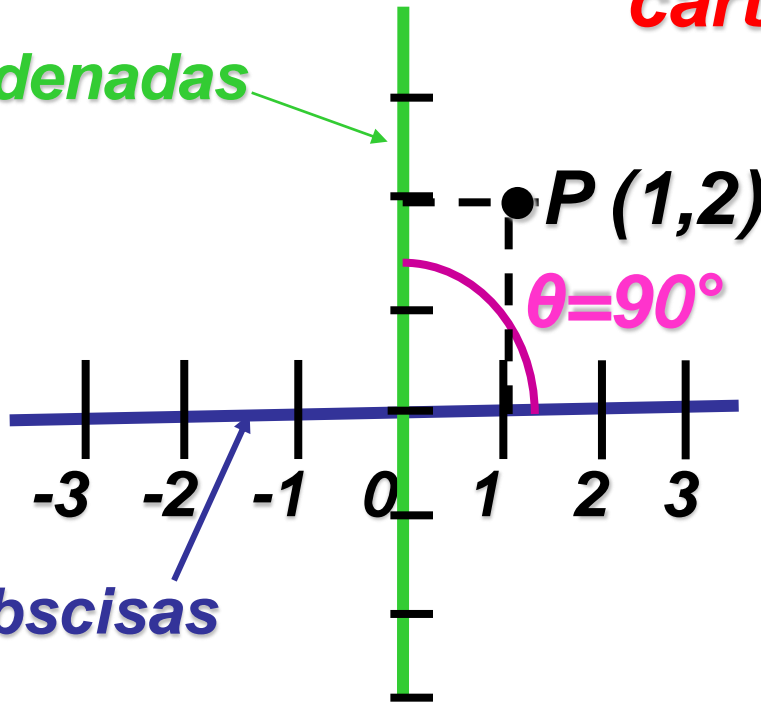
• para cada punto se trazan líneas desde él hasta cada eje, respectivamente paralelas al otro eje



si $\theta=90^\circ$

*sistema de coordenadas
cartesianas rectangulares*

eje de ordenadas



eje de abscisas

universo bidimensional!

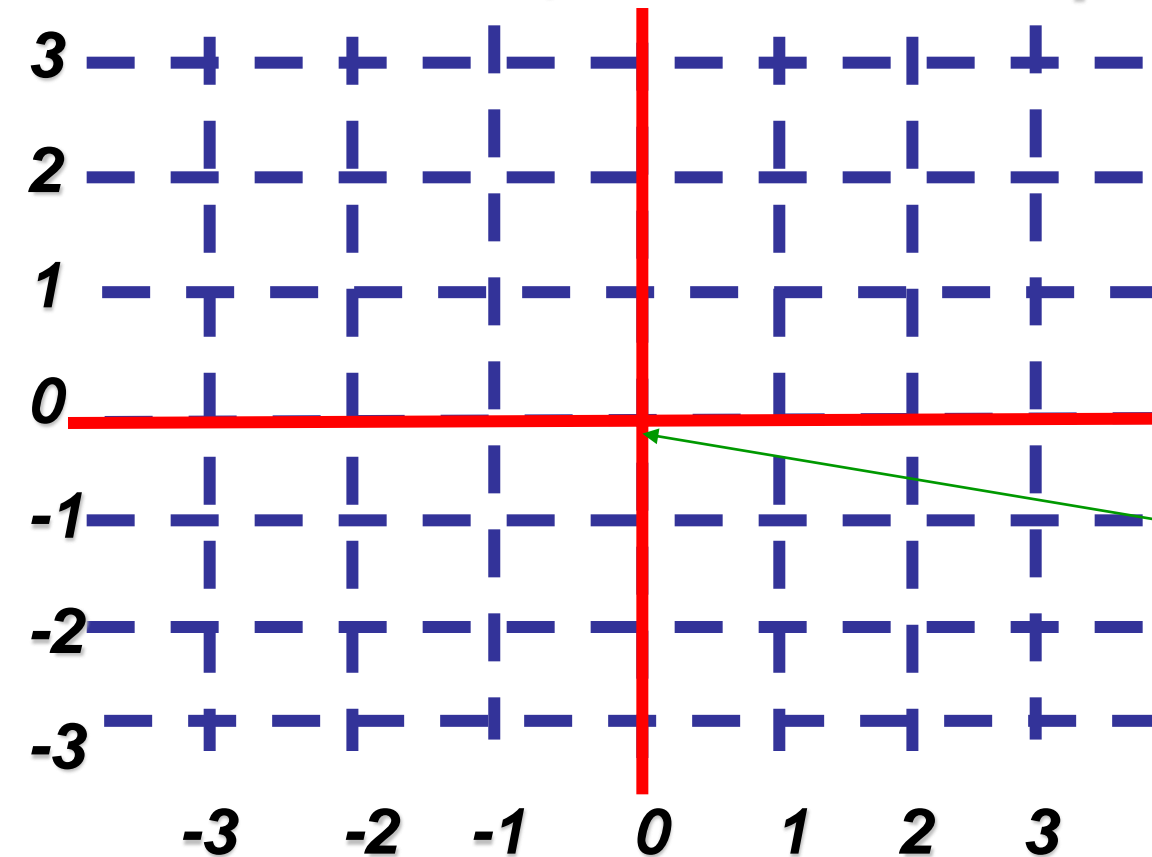


***con dos números o coordenadas (x e y)
se localiza un objeto***

equivalentemente ...

**construcción de un sistema de
coordenadas cartesianas rectangulares**

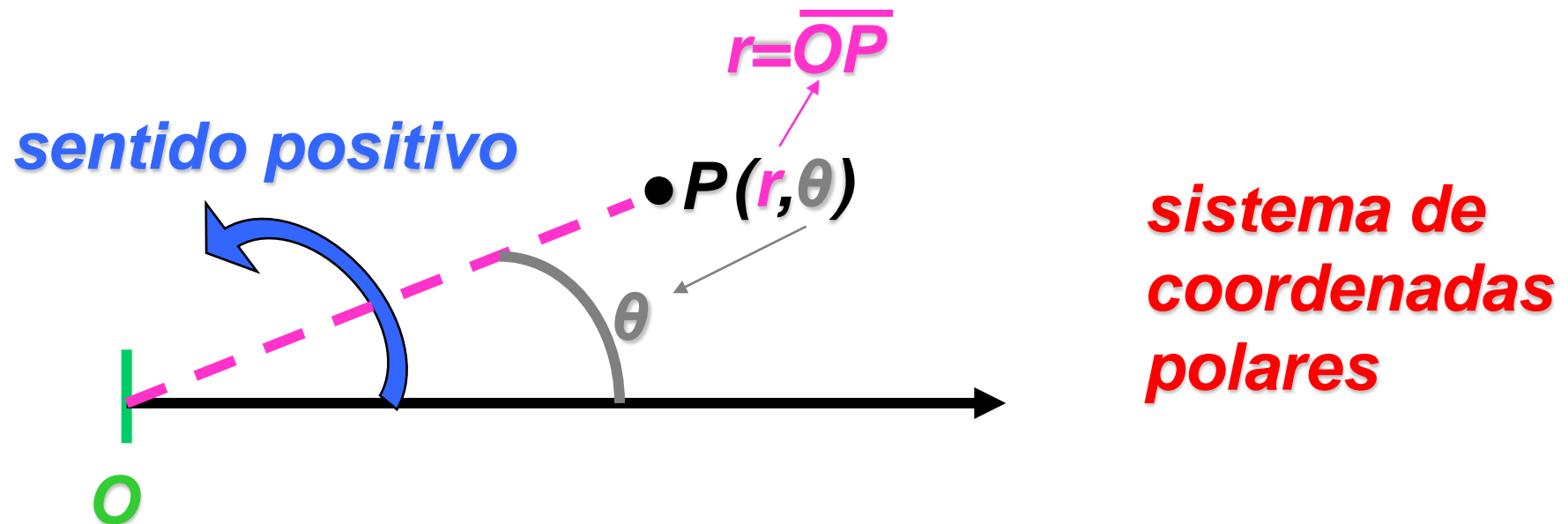
- **se adoptan dos conjuntos de líneas paralelas entre si, mutuamente perpendiculares**



● **de cada conjunto se elige una como referencia: ejes coordenados**

● **se adopta como origen del sistema el punto de intersección de los ejes coordenados**

- b)**
- se elige una semirrecta de referencia y un sentido de giro a partir de ella
 - para cada punto se traza una línea desde él hasta el origen de la semirrecta

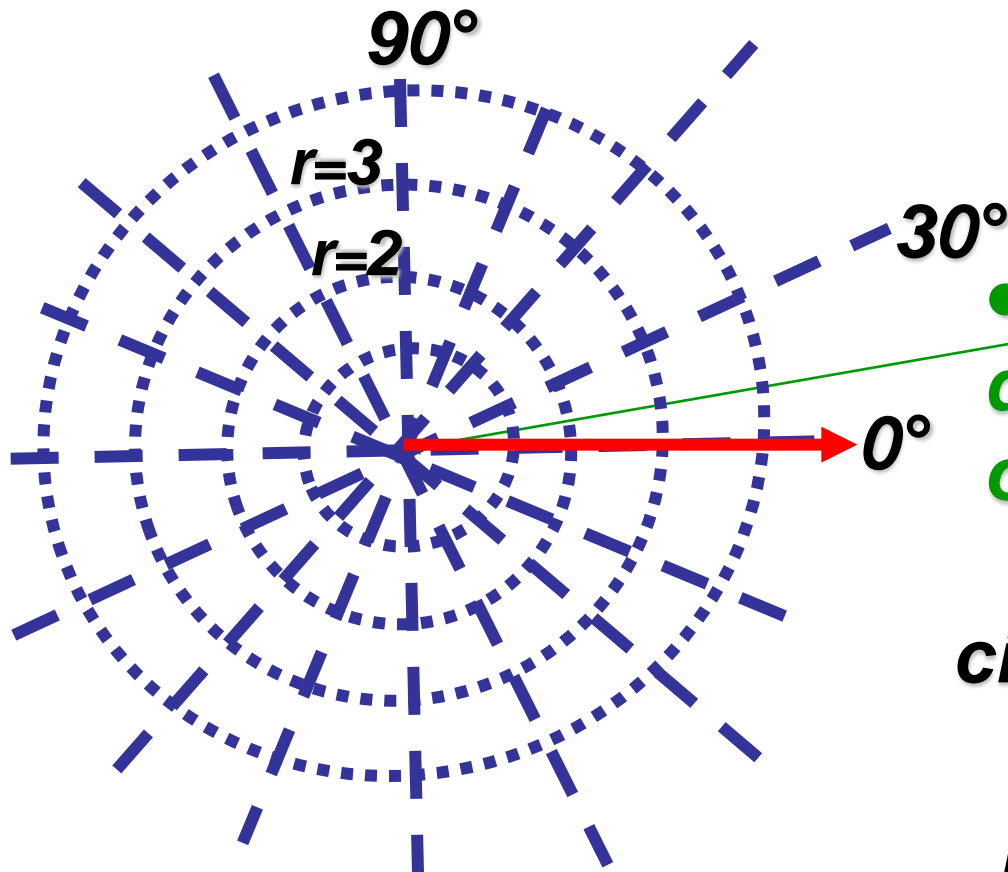


con dos números o coordenadas (r y θ)
se localiza un objeto

equivalentemente ...

construcción de un sistema de coordenadas polares

- **se adoptan un conjunto de semirrectas con origen común y un conjunto de circunferencias concéntricas con centro en dicho origen**

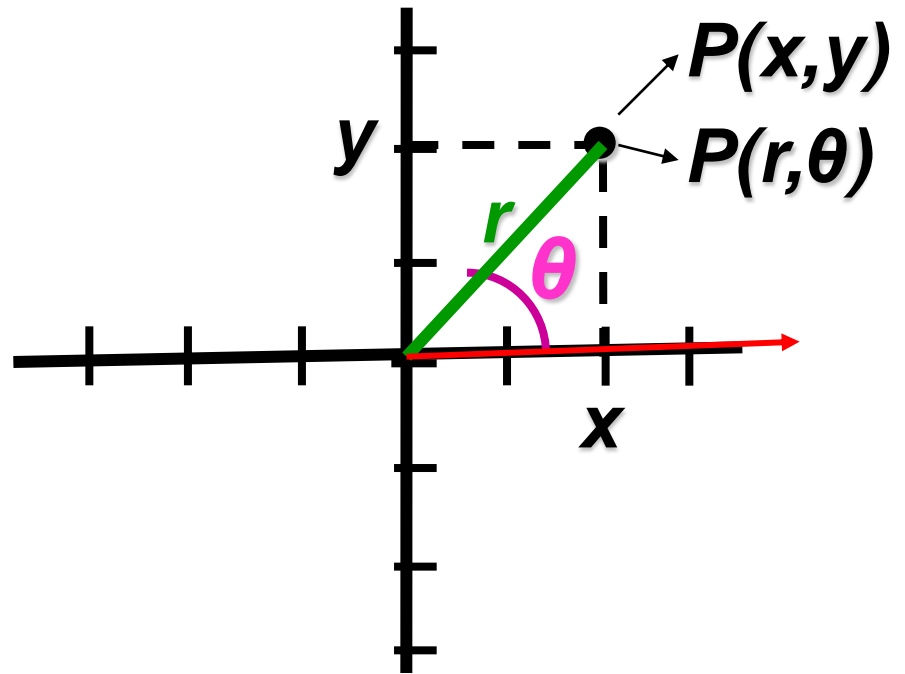


- **del conjunto de semirrectas se elige una como referencia**
- **se adopta como origen del sistema el punto origen de la semirrectas**
- **la semirrecta y la circunferencia que pasan por un dado punto del plano son ortogonales**

relación entre coordenadas cartesianas y polares

$$\begin{cases} x=r \cos(\theta) \\ y=r \operatorname{sen}(\theta) \end{cases}$$

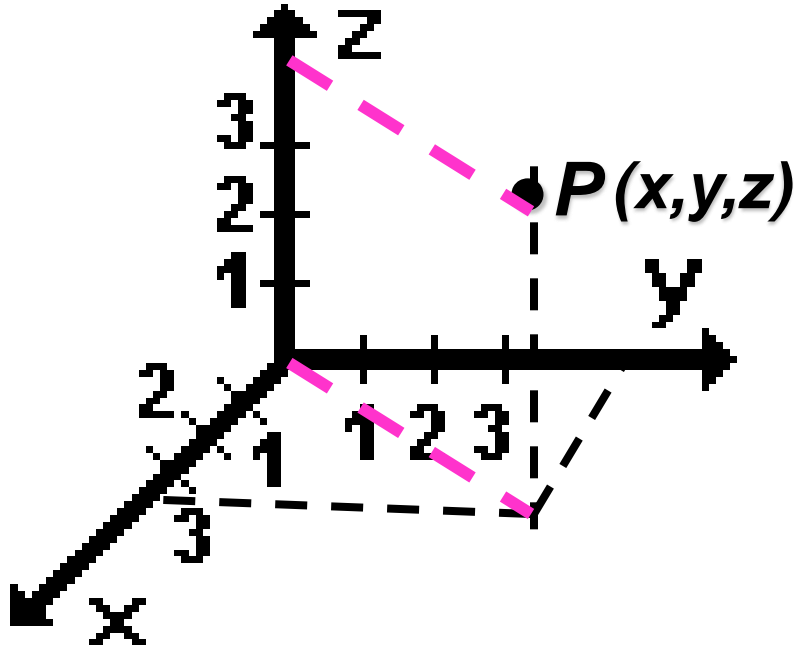
$$\begin{cases} \operatorname{tg}(\theta)=y/x \\ r=\sqrt{x^2 + y^2} \end{cases}$$



3) todos los objetos ubicados en el espacio

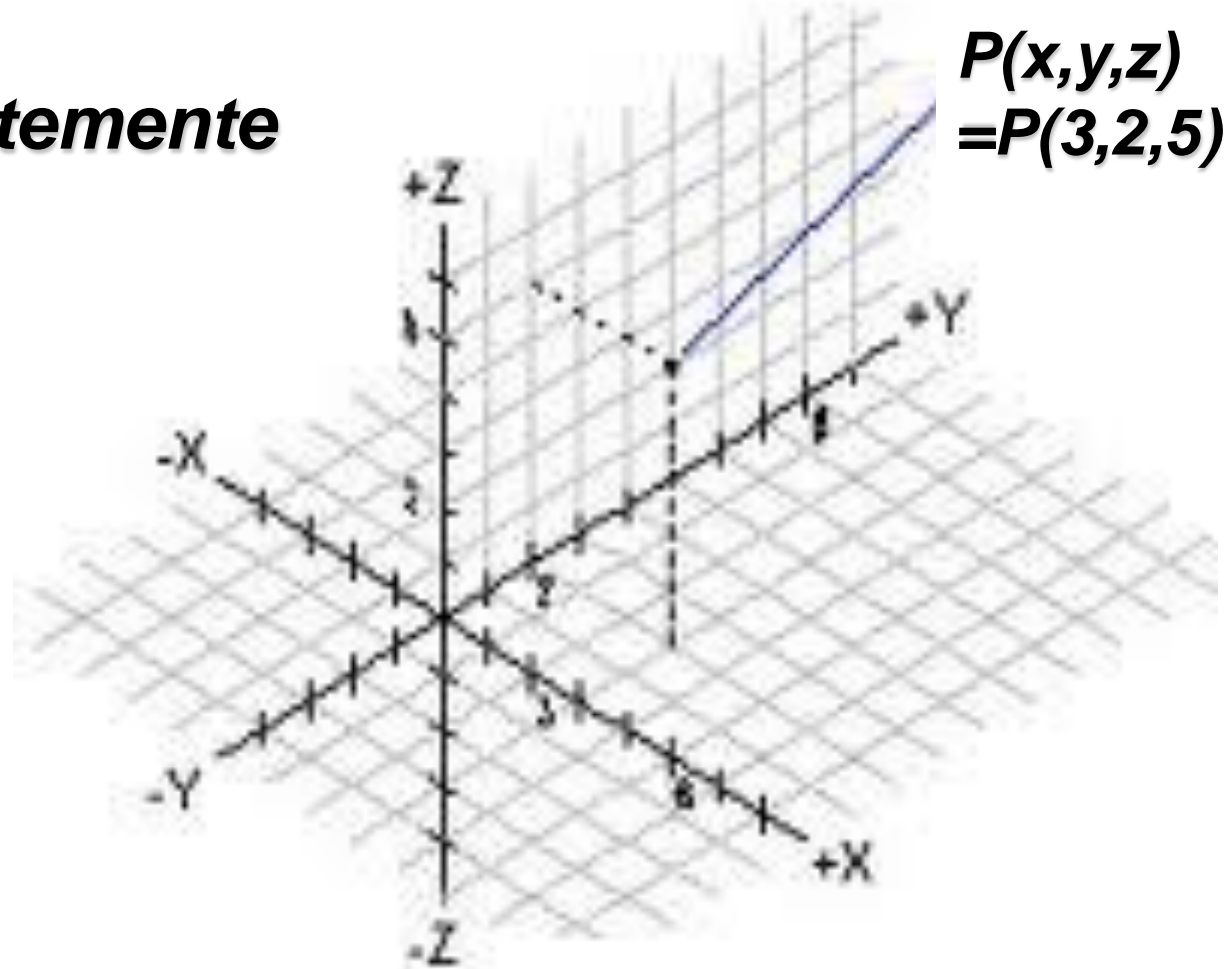
a) • se eligen 3 rectas de referencia que se cortan en el origen del sistema de coordenadas y se adopta una escala para cada eje

• cada punto del espacio es proyectado trazando líneas respectivamente paralelas a los distintos ejes



**sistema de
coordenadas
cartesianas**

o equivalentemente

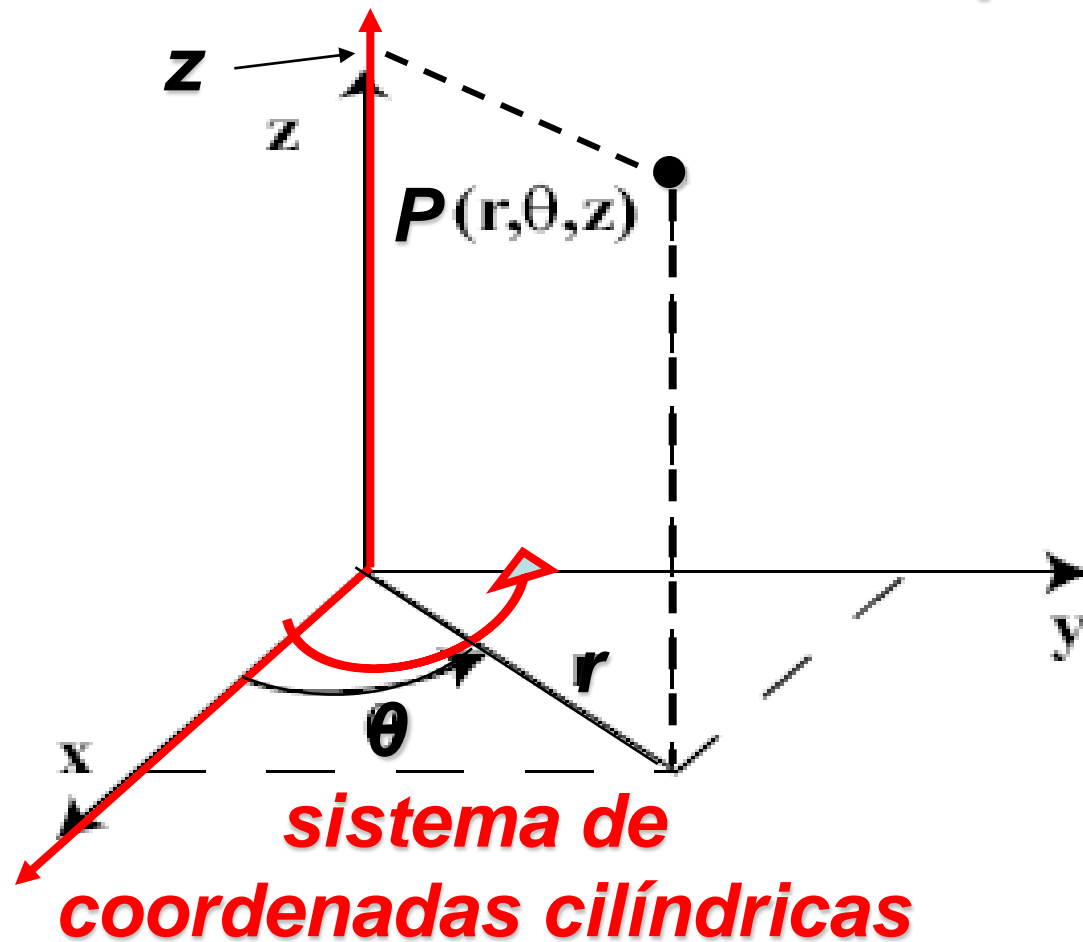


universo tridimensional!

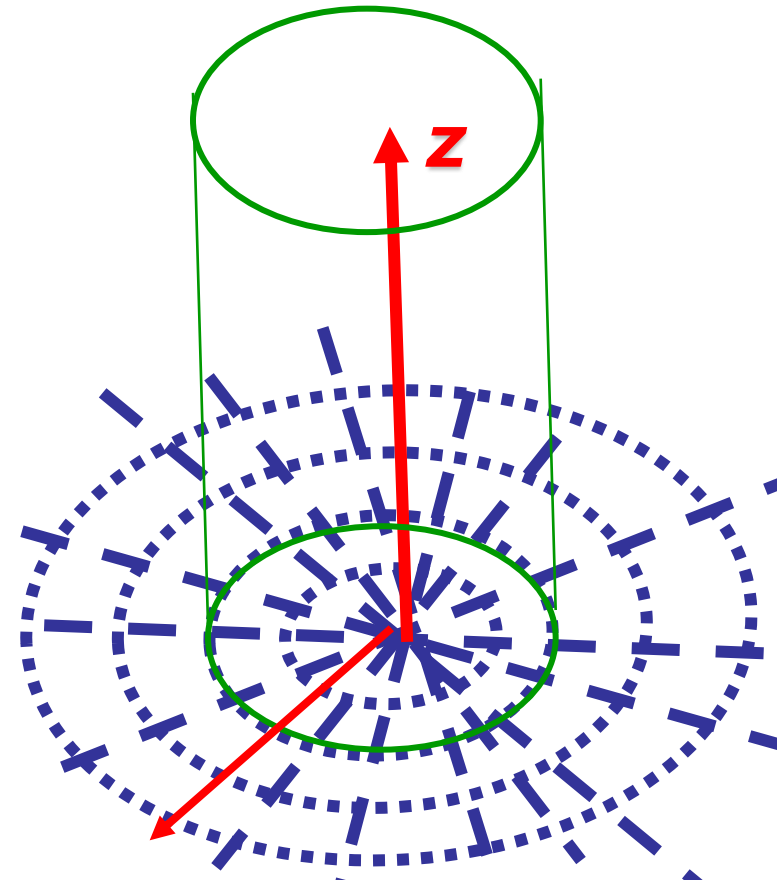


***con tres números o coordenadas (x, y, z)
se localiza un objeto***

- b)** ● se elige una semirrecta de referencia, un sentido de giro a partir de ella en un plano y una recta perpendicular al plano
- se proyecta el punto sobre dicho plano y luego *idem* coordenadas polares en el plano



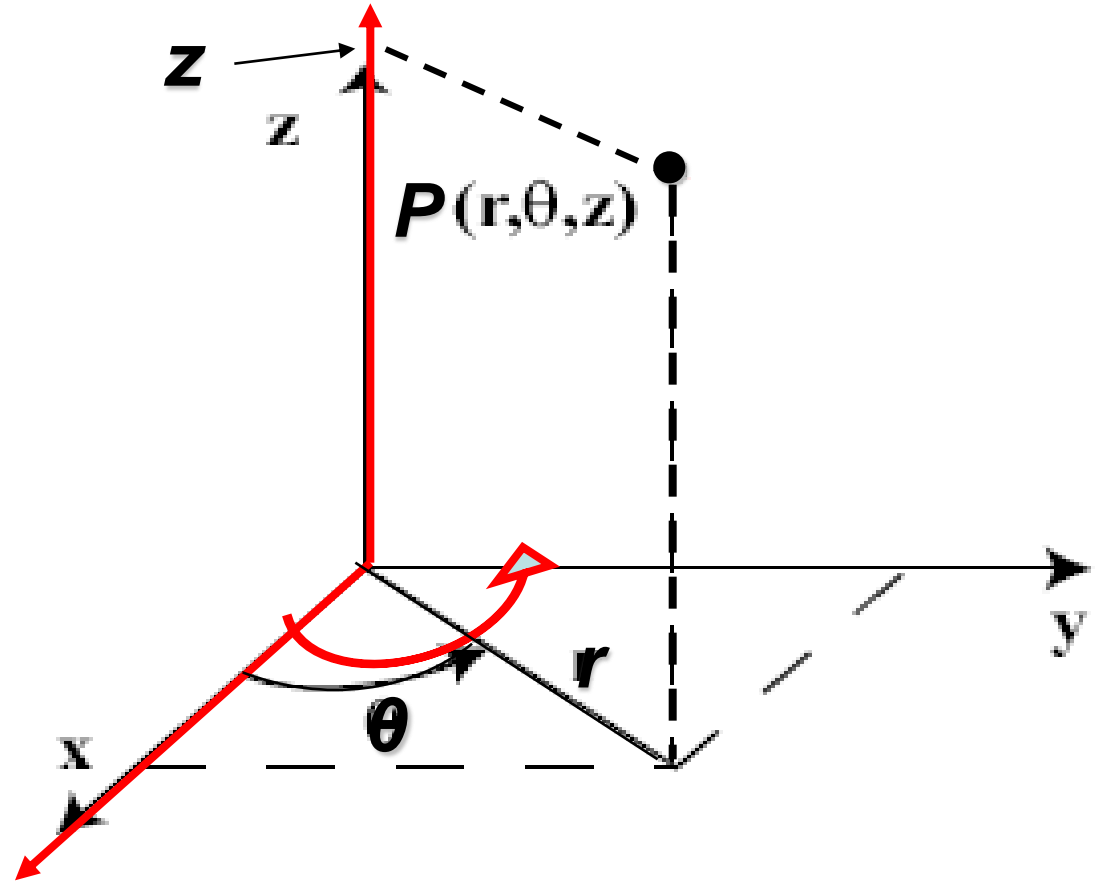
r cte \Rightarrow cilindro



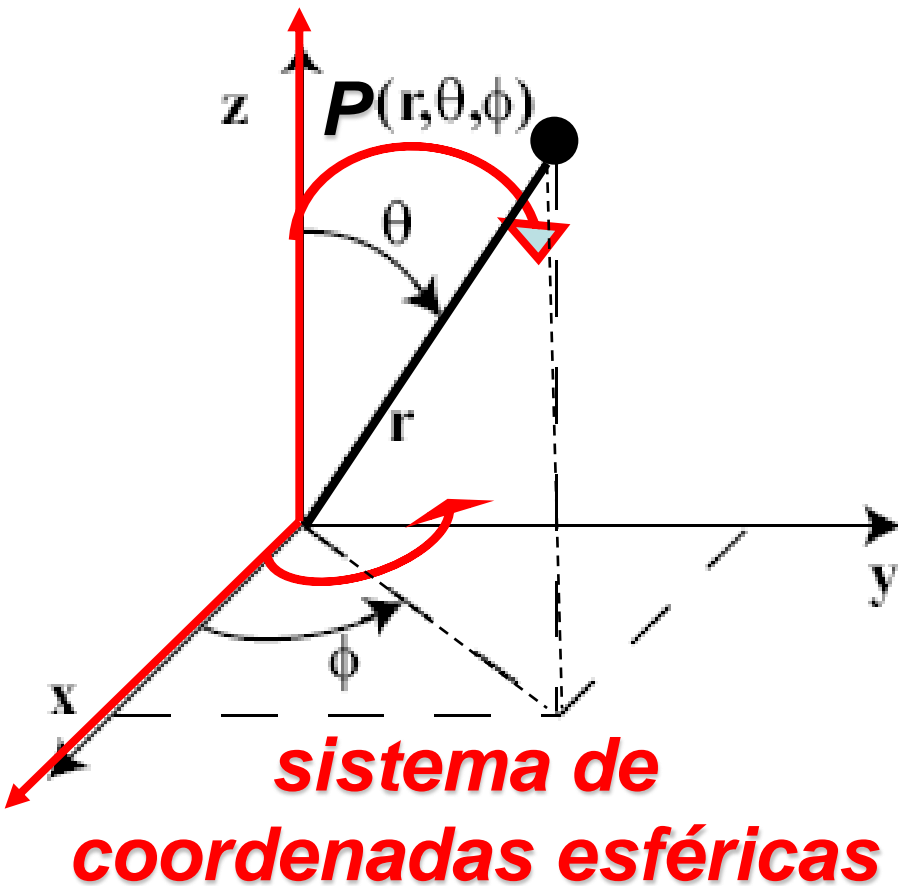
relación entre coordenadas cartesianas y cilíndricas

$$\begin{cases} x=r \cos(\theta) \\ y=r \operatorname{sen}(\theta) \\ z=z \end{cases}$$

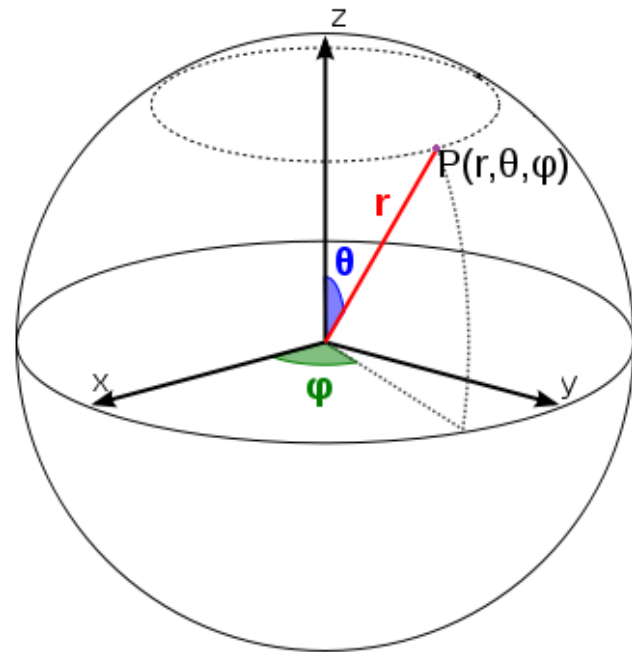
$$\begin{cases} \operatorname{tg}(\theta)=y/x \\ r=\sqrt{x^2 + y^2} \\ z=z \end{cases}$$



- c)** ● se eligen dos semirrectas con un origen común mutuamente perpendiculares de referencia, y el sentido de giro a partir de cada una de ellas
- para cada punto se traza una línea desde él hasta el origen de las semirrectas



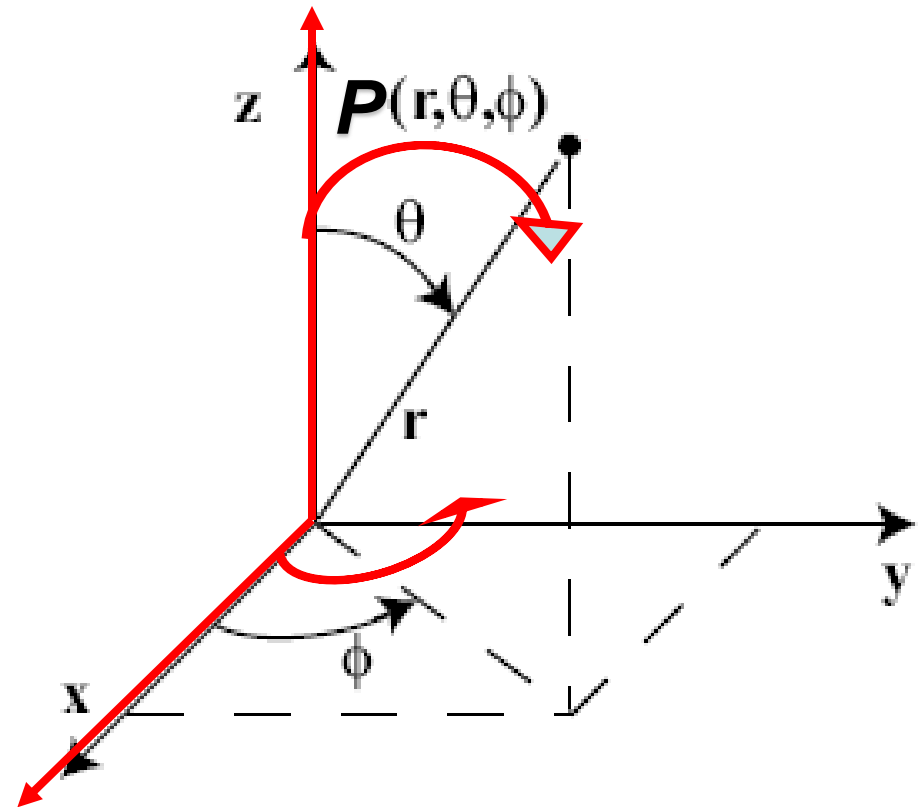
r cte \Rightarrow esfera



relación entre coordenadas cartesianas y esféricas

$$\begin{cases} x=r \operatorname{sen}(\theta) \cos(\varphi) \\ y=r \operatorname{sen}(\theta) \operatorname{sen}(\varphi) \\ z=r \cos(\theta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{tg}(\varphi)=y/x \\ \operatorname{tg}(\theta)=\sqrt{x^2 + y^2} / z \\ r=\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \end{cases}$$



una superficie → dos dimensiones



ubicar a los astros en la esfera celeste requiere sólo dos coordenadas!

ubicar al observador sobre la superficie terrestre requiere sólo dos coordenadas!



sistemas de coordenadas celestes



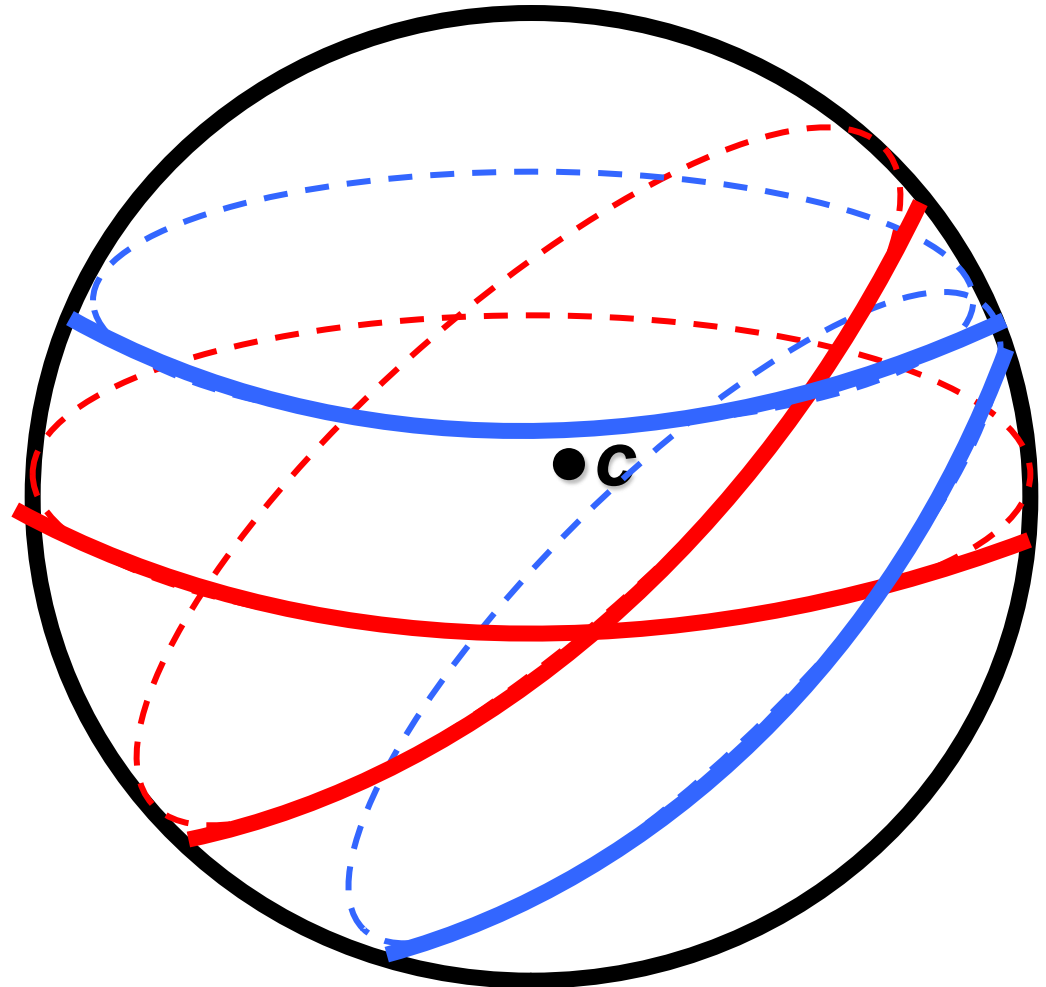
sistema de coordenadas geográficas

círculos máximos: intersección de la esfera con planos que pasan por el centro de la esfera

círculos menores: intersección de la esfera con planos que NO pasan por el centro de la esfera

distancia mas corta entre dos puntos en un plano: línea recta

distancia mas corta entre dos puntos en una superficie esférica: arco de círculo máximo

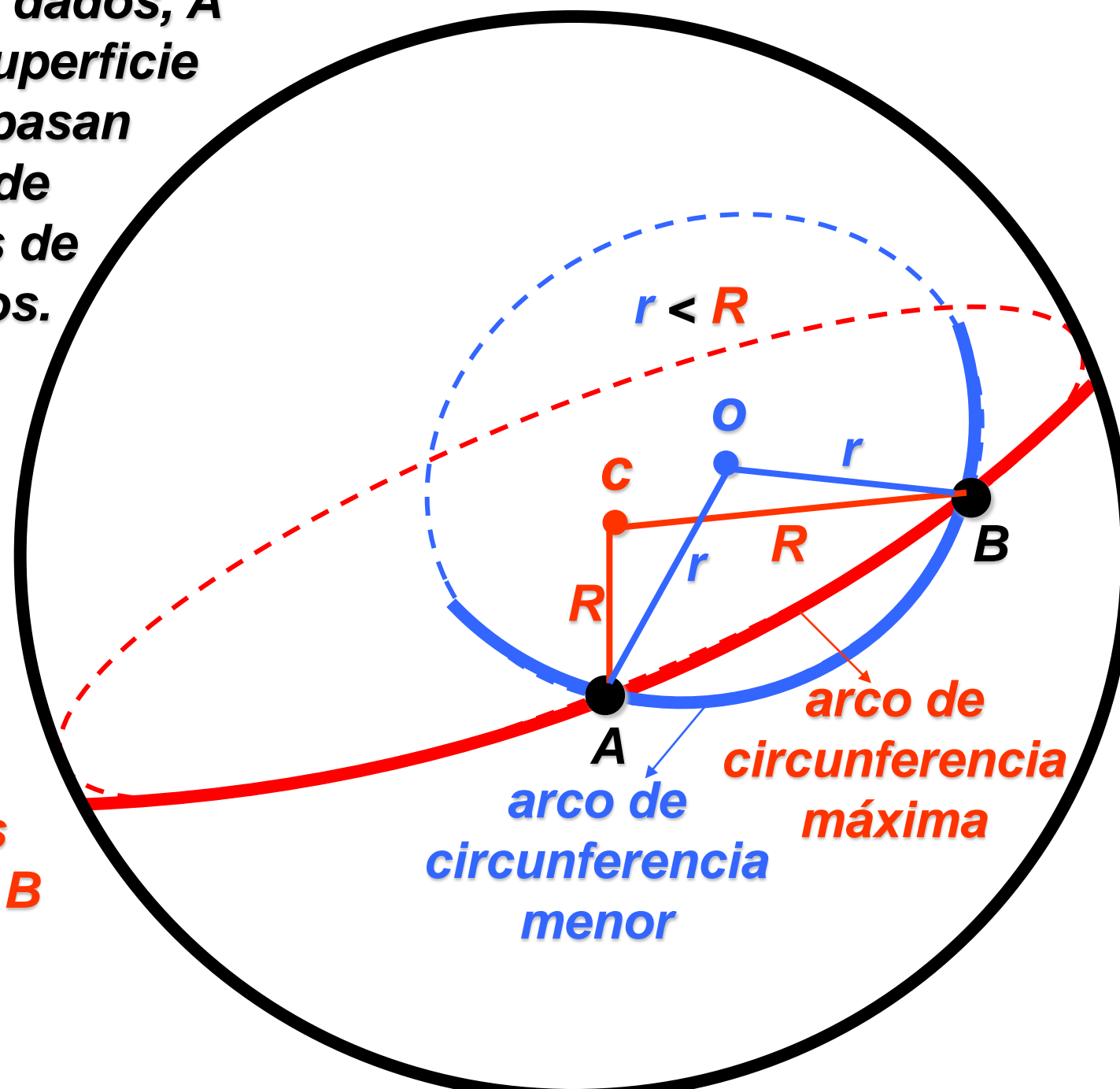


por dos puntos dados, A y B , sobre la superficie de una esfera, pasan infinitos arcos de circunferencias de diferentes radios.

de todas ellas la de mayor radio es la de menor curvatura



distancia mas corta entre A y B



**construcción de un sistema de coordenadas sobre
una superficie esférica**

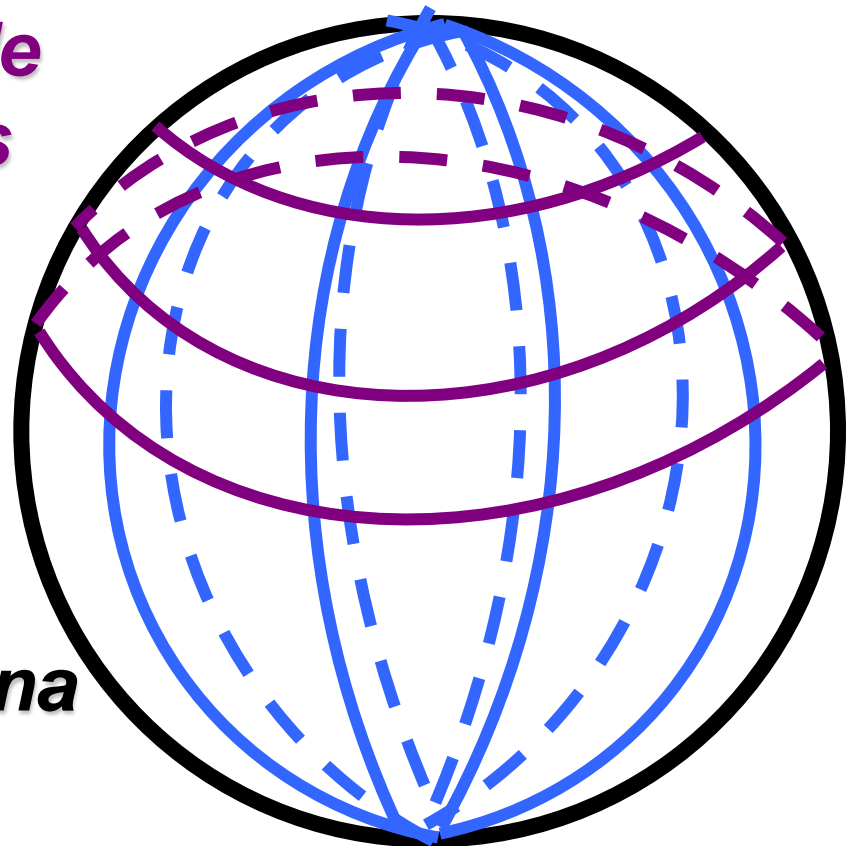
***equivalente a la construcción de un sistema de
coordenadas polares en un plano***



- *se reemplaza el conjunto de semirrectas con origen común por un conjunto de circunferencias máximas que pasan todas por un dado punto*

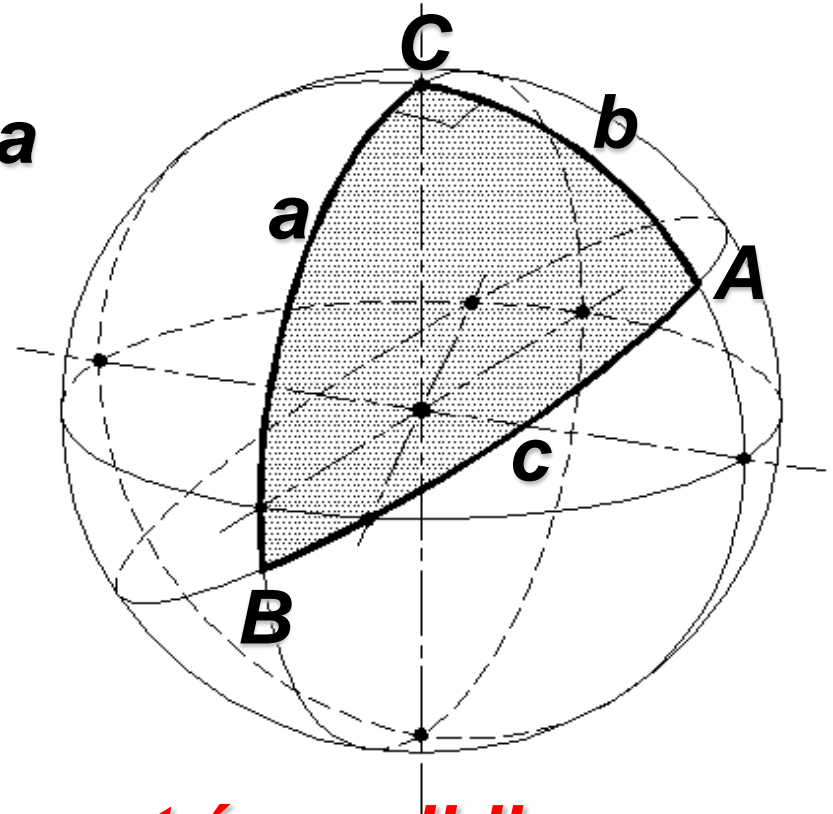
- *se reemplaza el conjunto de circunferencias concéntricas por un conjunto de circunferencias menores, ortogonales a las anteriores*

- *de cada conjunto se elige una circunferencia de referencia*



triángulo esférico

porción de superficie esférica
limitada por arcos de
circunferencias máximas
menores a una
semicircunferencia

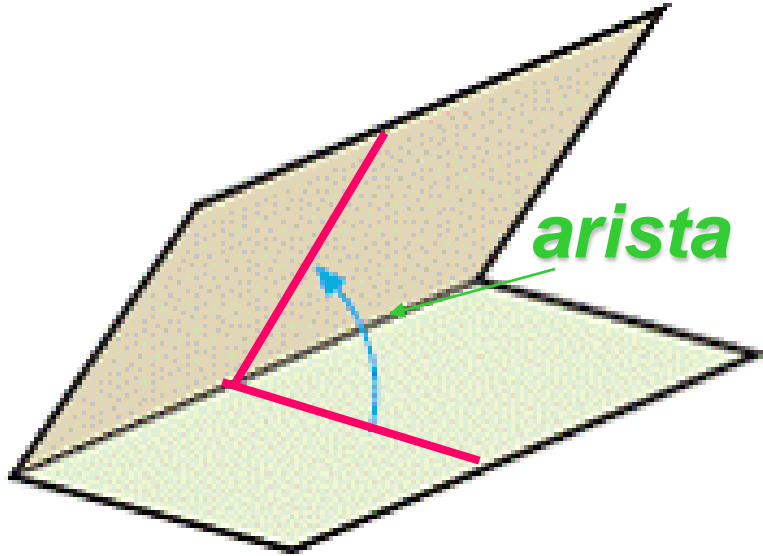


geometría esférica \neq de la geometría euclidiana

$a + b + c < 2\pi$ los lados en medidas angulares!

$2\frac{\pi}{2} < A + B + C < 6\frac{\pi}{2}$

ángulo diedro



ángulo formado por dos semiplanos con una **arista común**

medida del ángulo diedro
medida del ángulo formado por **dos semirrectas** obtenidas por la intersección con los semiplanos de un plano perpendicular a la arista

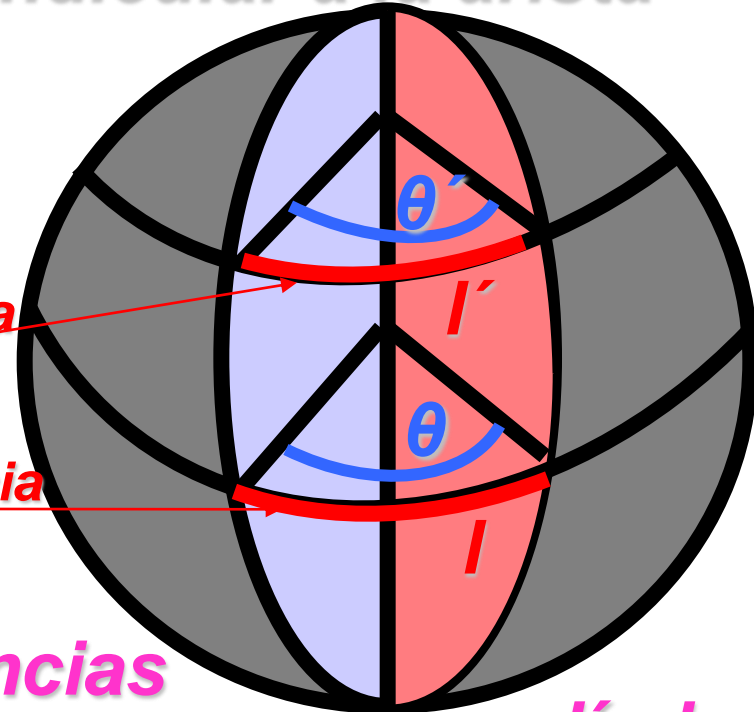
ángulo diedro en una esfera

formado por dos **semicírculos máximos**

$$\theta' = \theta$$

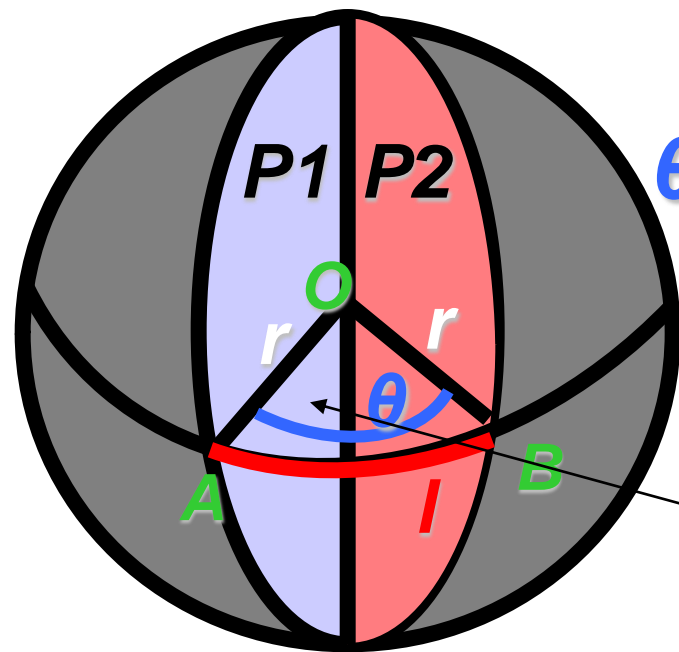
arco de circunferencia menor

arco de circunferencia máxima



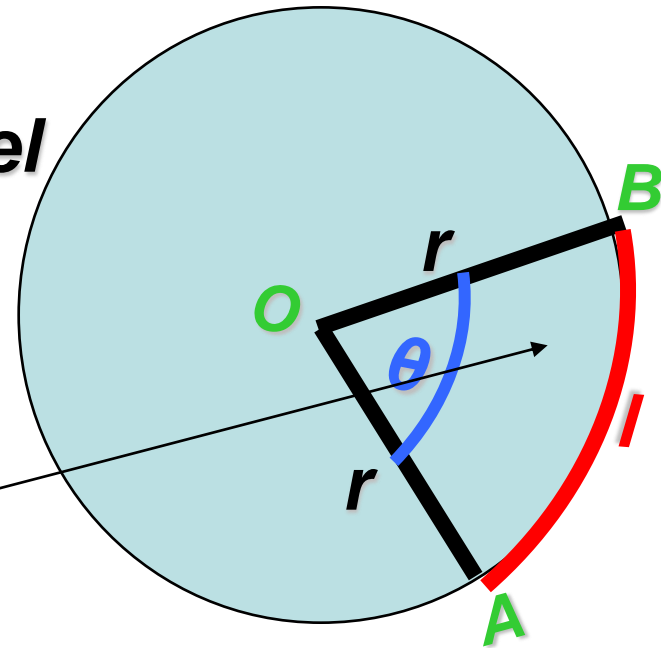
en unidades de longitud $l' \neq l$
medidas de arcos de circunferencias expresadas en medidas angulares !

$l' = l$



θ es la medida del ángulo diedro formado por P1 y P2

sector circular

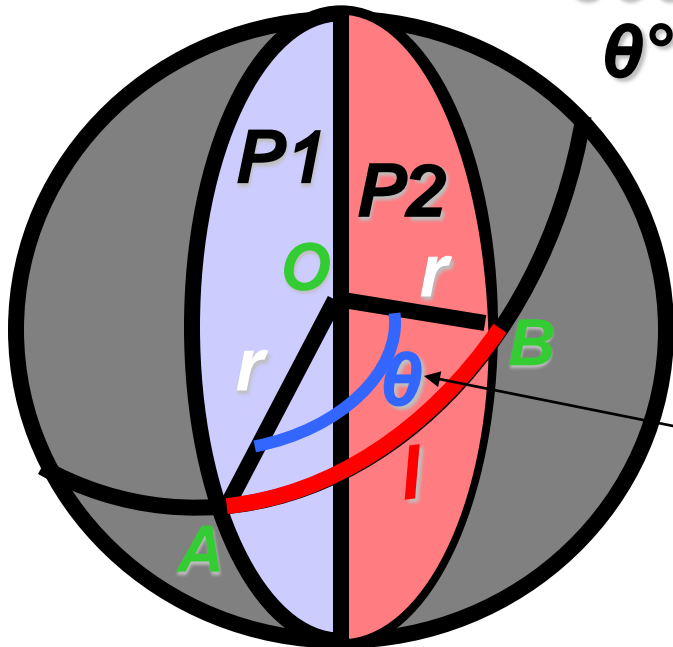


$$360^\circ = 2\pi \text{ rad.} \quad \text{---} \quad 2\pi r$$

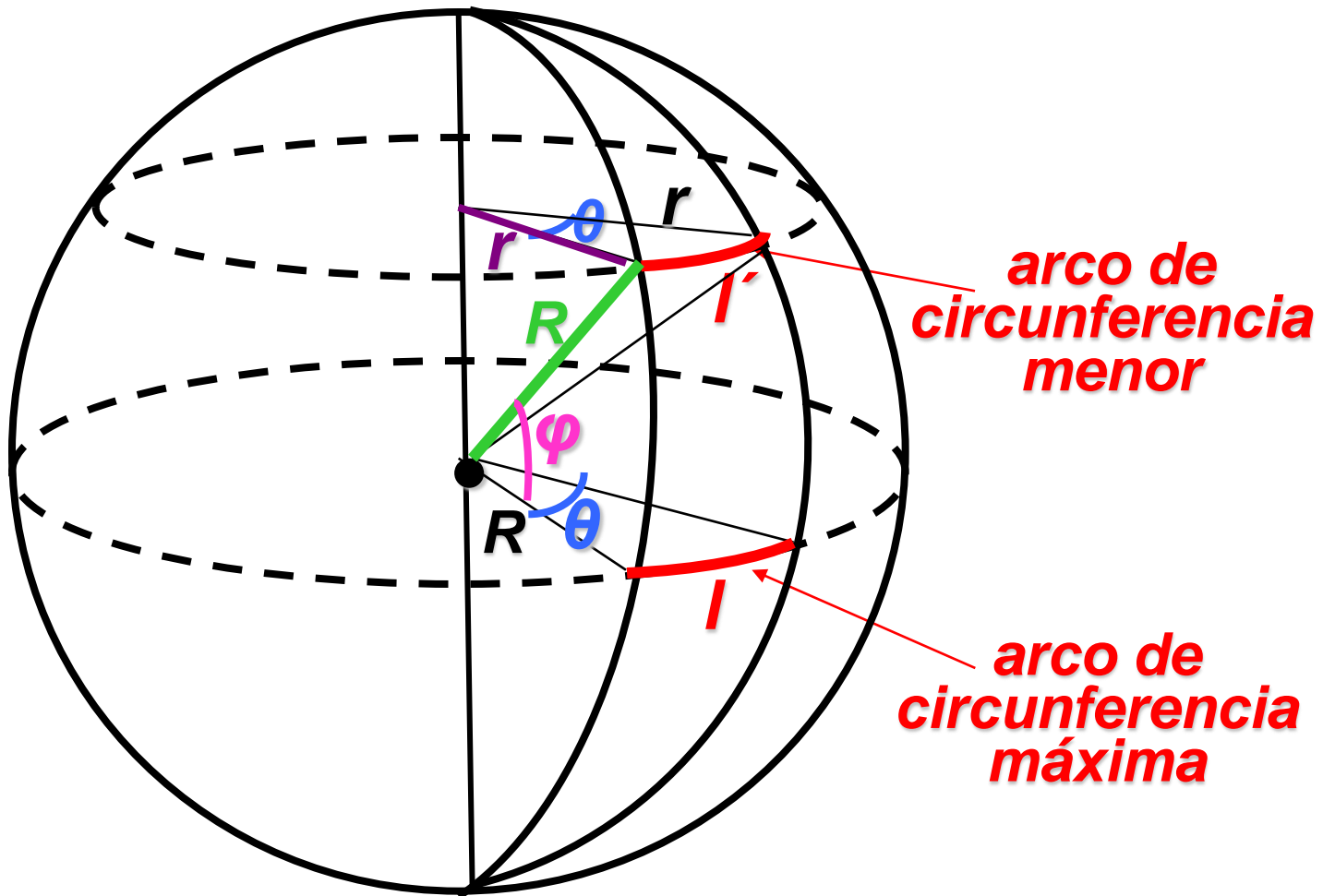
$$\theta^\circ = \theta \text{ rad.} \quad \text{---} \quad l$$

$$l = \theta r$$

expresado en radianes!



θ **NO** es la medida del ángulo diedro formado por P1 y P2

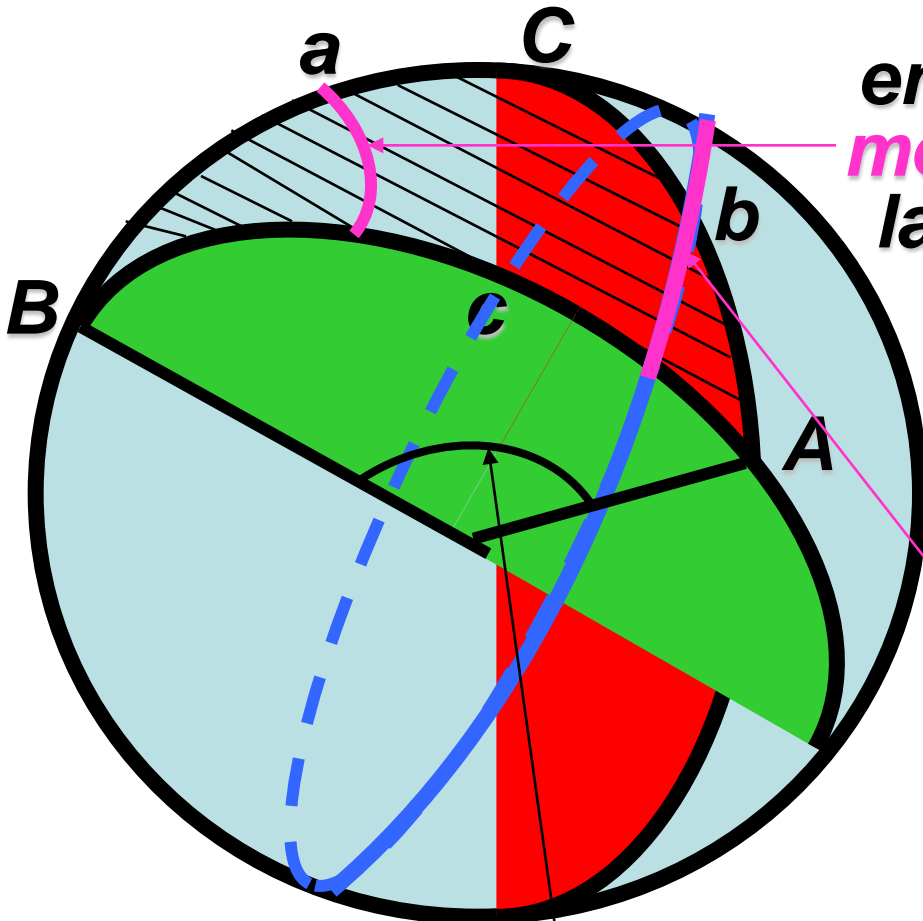


**arco de
circunferencia
menor**

**arco de
circunferencia
máxima**

$$\left. \begin{array}{l} l = \theta R \\ l' = \theta r \end{array} \right\} \Rightarrow l' = l r / R \quad \cos \varphi = r / R$$

$$\boxed{l' = l \cos \varphi}$$



en un triángulo esférico las medidas de los ángulos son las de los ángulos diedros correspondientes



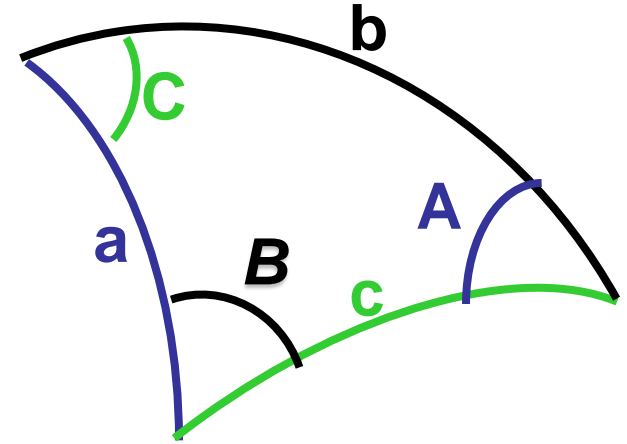
se pueden visualizar sobre arcos de círculos máximos

en un triángulo esférico las medidas de los lados en unidades angulares son las de los ángulos de los sectores circulares correspondientes

relaciones trigonométricas en un triángulo esférico

1) fórmula del seno:

$$\frac{\text{sen}(a)}{\text{sen}(A)} = \frac{\text{sen}(b)}{\text{sen}(B)} = \frac{\text{sen}(c)}{\text{sen}(C)}$$



2) fórmula del coseno:

$$\begin{aligned}\cos(a) &= \cos(b) \cos(c) + \text{sen}(b) \text{sen}(c) \cos(A) \\ \cos(b) &= \cos(c) \cos(a) + \text{sen}(c) \text{sen}(a) \cos(B) \\ \cos(c) &= \cos(a) \cos(b) + \text{sen}(a) \text{sen}(b) \cos(C)\end{aligned}$$

3) fórmula de los 5 elementos:

$$\begin{aligned}\text{sen}(a) \cos(B) &= \cos(b) \text{sen}(c) - \text{sen}(b) \cos(c) \cos(A) \\ \text{sen}(b) \cos(C) &= \cos(c) \text{sen}(a) - \text{sen}(c) \cos(a) \cos(B) \\ \text{sen}(c) \cos(A) &= \cos(a) \text{sen}(b) - \text{sen}(a) \cos(b) \cos(C) \\ \text{sen}(a) \cos(C) &= \cos(c) \text{sen}(b) - \text{sen}(c) \cos(b) \cos(A) \\ \text{sen}(b) \cos(A) &= \cos(a) \text{sen}(c) - \text{sen}(a) \cos(c) \cos(B) \\ \text{sen}(c) \cos(B) &= \cos(b) \text{sen}(a) - \text{sen}(b) \cos(a) \cos(C)\end{aligned}$$

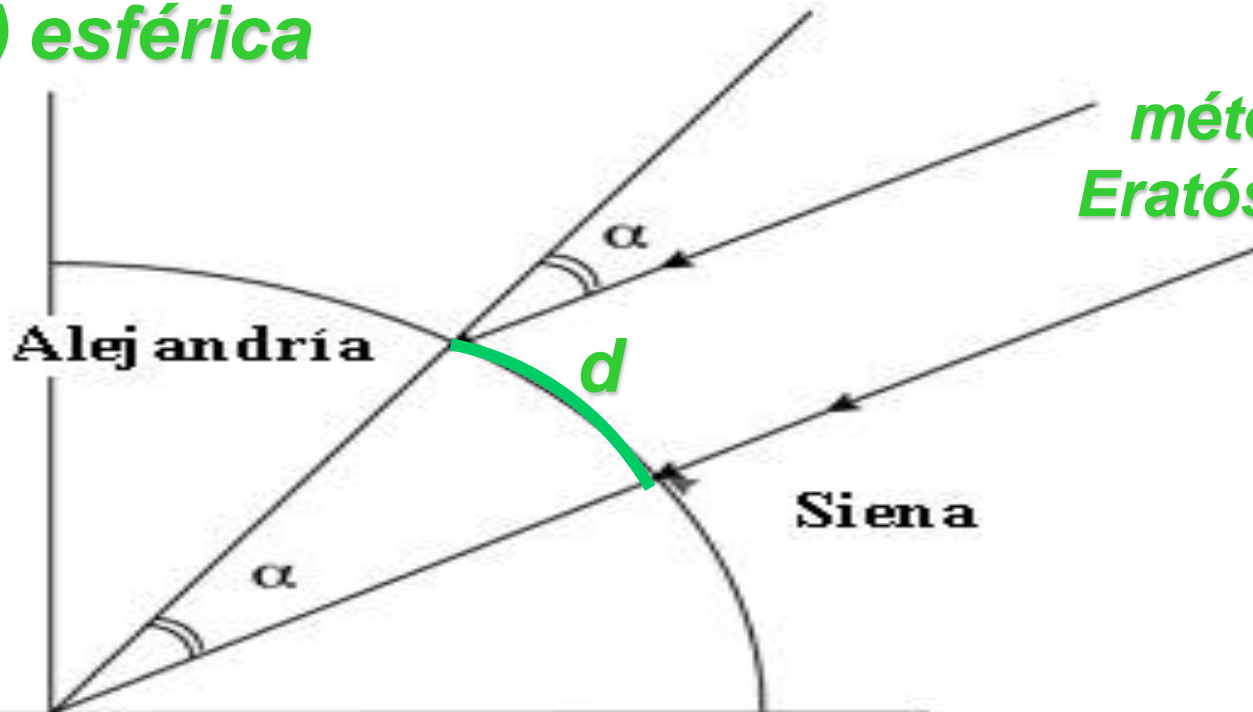
forma y dimensiones de la tierra

la forma casi esférica de la tierra fue aceptada mucho antes que los movimientos de rotación y traslación

evolución histórica de la forma

1) plana

2) esférica



método de los arcos
Eratóstenes (276-194 ac)

$$\alpha = 7^{\circ}12'$$

$$d/c = 7^{\circ}12'/360^{\circ}$$



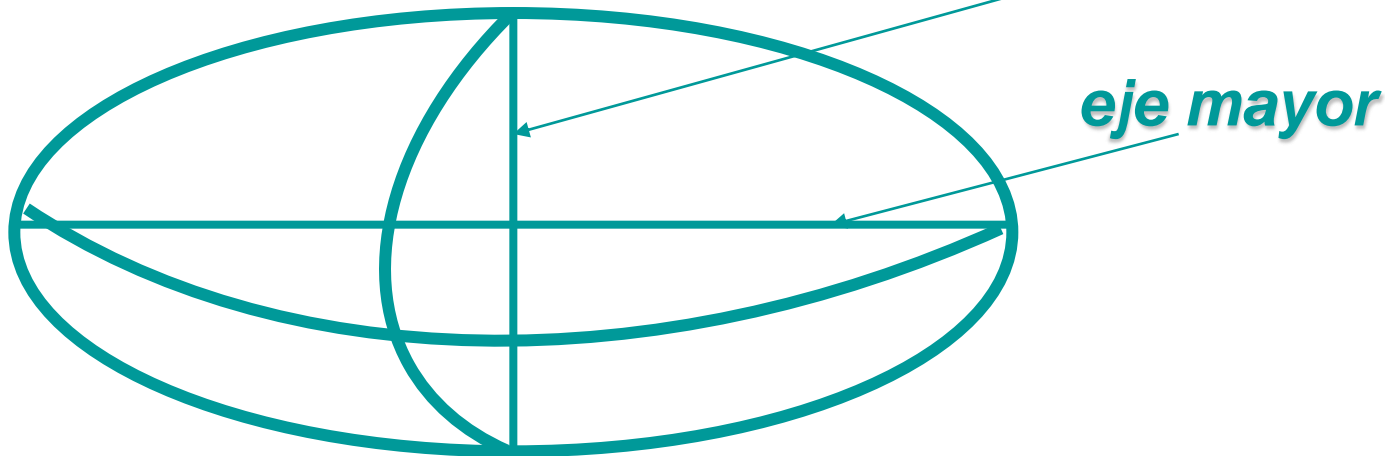
$$R_t = 6267\text{km}$$

3) *elipsoide de revolución de dos ejes*

Newton (1643-1727)

rotación → *achatamiento en los polos*

eje menor ≡ *eje de rotación*



4) *geoide* → *forma real de la tierra*

↓
*superficie normal en cada punto
a la dirección de la gravedad*

distribución no homogénea de la masa de la tierra



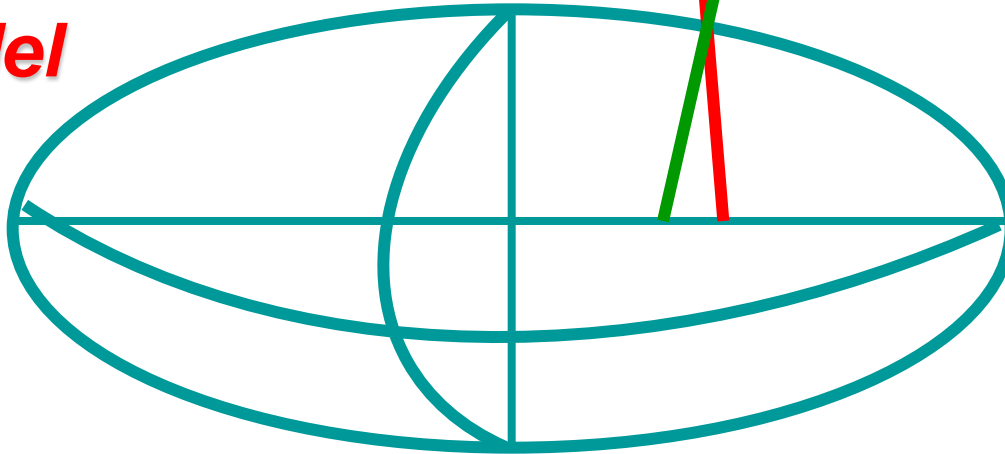
elipsoide ≠ geoide

***línea normal al geoide
en el punto (dirección
de la gravedad)***

***línea normal al
elipsoide (superficie
teórica) en el punto***



***dirección del
hilo de la
plomada
en el lugar***



vertical astronómica del lugar



***se determina prácticamente,
independientemente de la forma de la tierra***

suponiendo la tierra homogénea y esférica definimos:



esfera celeste: esfera imaginaria con centro en el observador y radio arbitrario donde, aparentemente, se encuentran ubicados los astros

vertical del lugar: línea que pasa por el centro de la esfera celeste según la dirección de la aceleración de la gravedad en el lugar y corta a la esfera en el zenit y el nadir

zenit: punto de la esfera celeste directamente por encima de la cabeza del observador

horizonte: plano perpendicular a la vertical del lugar que pasa por el centro de la esfera celeste intersectándola en un círculo máximo llamado **círculo del horizonte**

eje de rotación terrestre: línea con respecto a la cual rota la tierra y cuya superficie intersecta en los polos norte y sur geográficos

eje polar o línea de los polos: línea paralela al eje de rotación de la tierra, que pasa por el centro de la esfera celeste y la corta en los polos norte y sur celestes

polo norte: polo desde el cual la rotación de la tierra tiene lugar en sentido directo (antihorario)

ecuador terrestre: plano perpendicular al eje de rotación terrestre que pasa por el centro de la tierra intersectándola en el **círculo del ecuador terrestre**

ecuador celeste: plano perpendicular al eje polar que pasa por el centro de la esfera celeste intersectándola en el **círculo del ecuador celeste**