



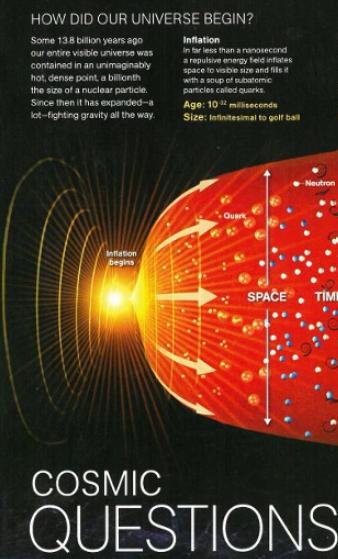
# Universidad Nacional de Río Negro

## Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2018

- **Unidad** 02 – Astrofísica: cálido y frío
- **Clase** UO2 CO2
- **Fecha** 03 Oct 2018
- **Cont** Astronomía Observacional
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/>
- **Youtube** <https://goo.gl/UZJzLk>

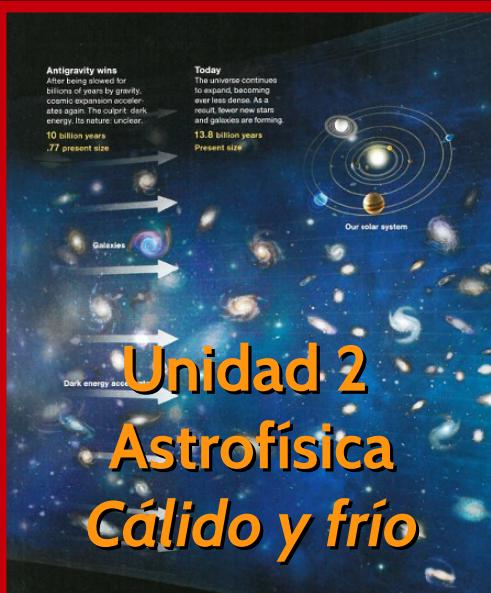


# Contenidos: un viaje en el tiempo



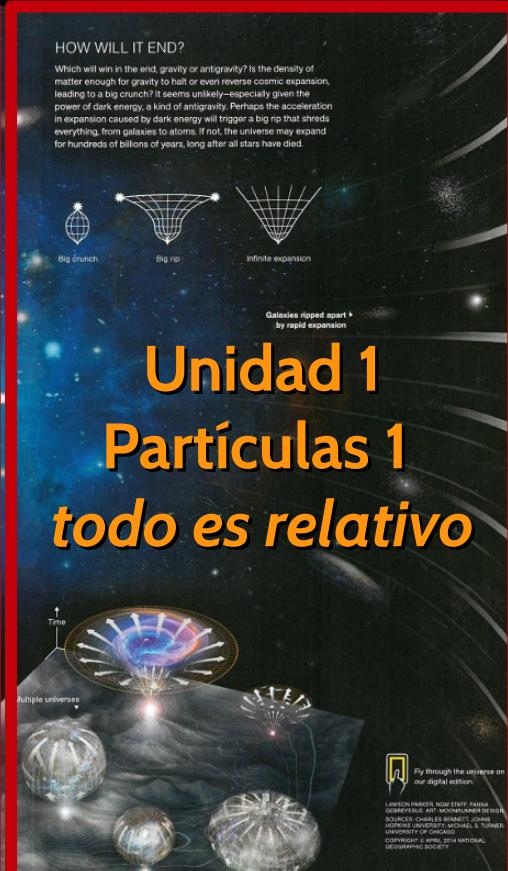
**WHAT IS OUR UNIVERSE MADE OF?**

Stars, dust, and gas—the stuff we can discern—make up less than 5 percent of the universe. Their gravity can't account for how galaxies hold together. Scientists figure about 24 percent of the universe is a mysterious dark matter—perhaps exotic particles formed right after inflation. The rest is dark energy, an unknown energy field or property of space that counters gravity, providing an explanation for observations that the expansion of space is accelerating.



## DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has density. And quantum fluctuations in that theory say our universe exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea of others just like ours—or nothing like ours. These other cosmos will very likely remain forever inaccessible to observation; their possibilities limited only by our imagination.



# Paralelos y Meridianos



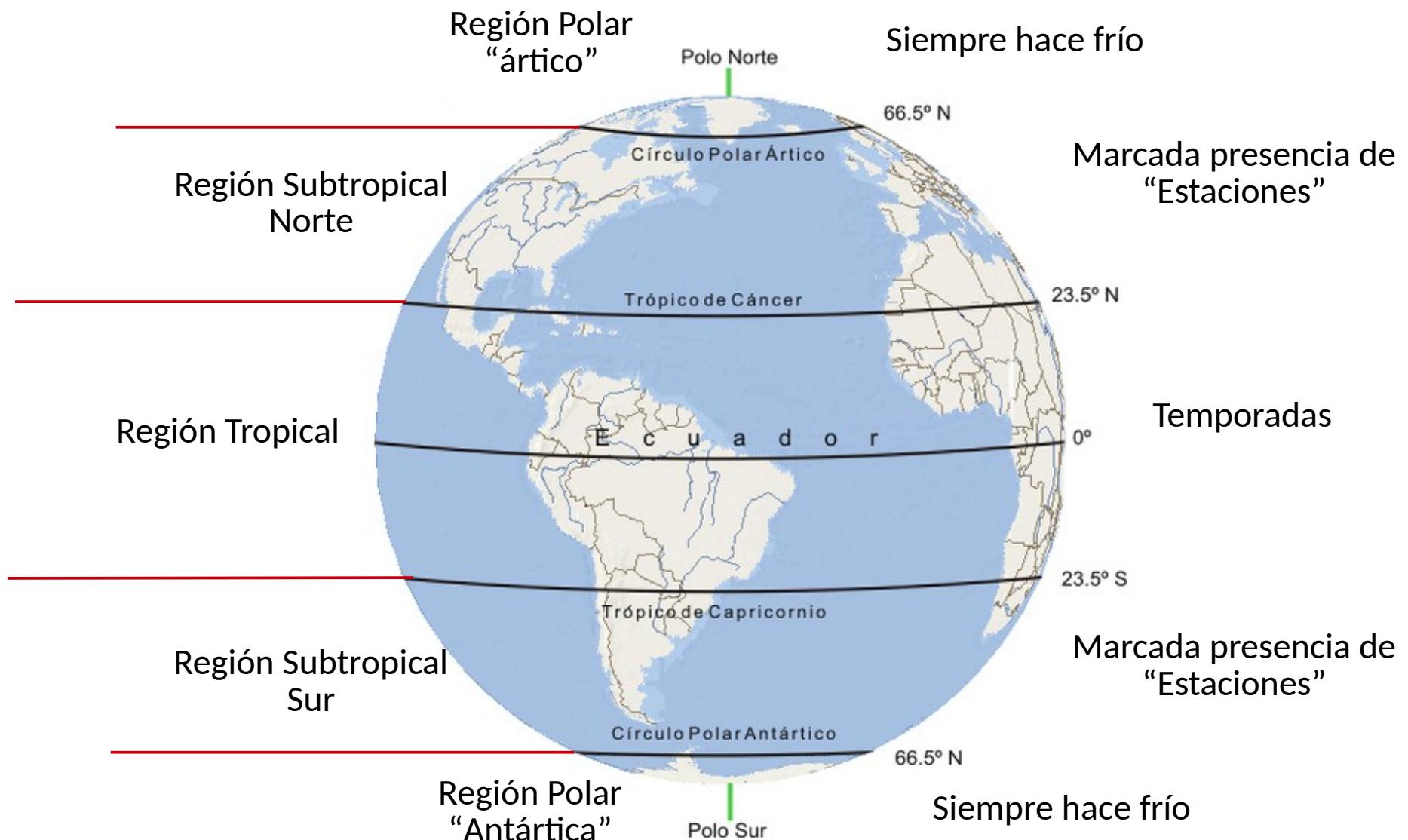
- Paralelos:

- Círculos “paralelos” al ecuador
- Sobre un paralelo, la latitud es constante
- Ecuador: paralelo principal

- Meridianos:

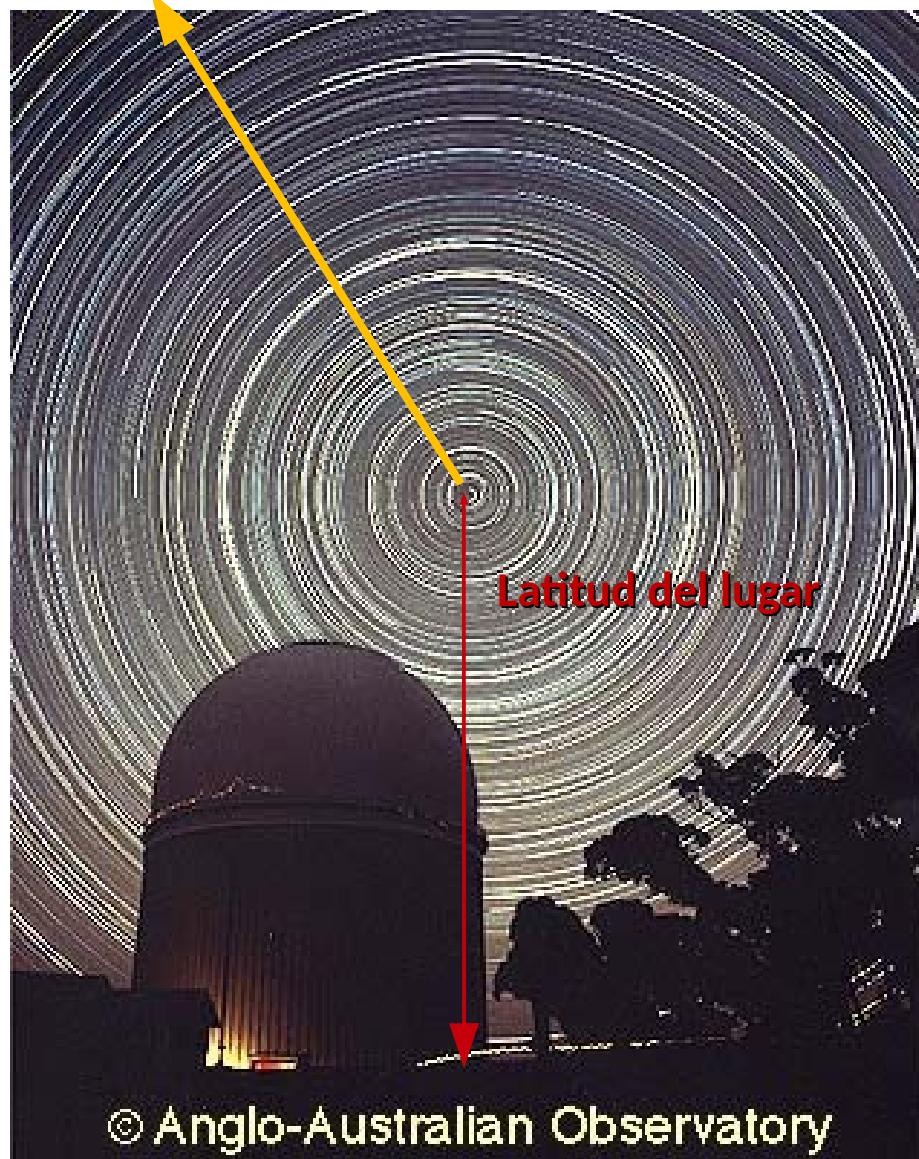
- Semicírculos que conectan los polos uniendo puntos de igual longitud
- Por construcción, en un meridiano la longitud es constante
- Greenwich es el Meridiano Principal (1884)

# Círculos principales y clima

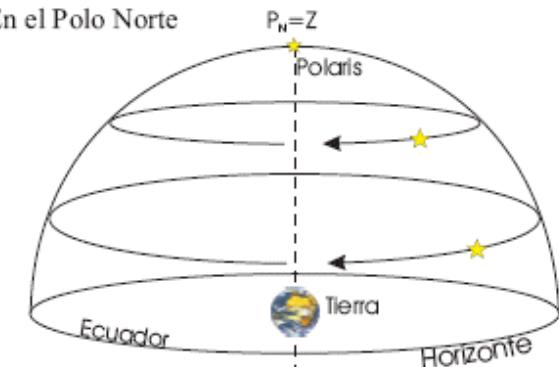


# Polos y ecuador celeste

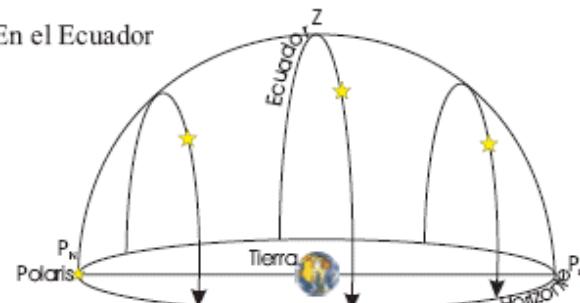
Polo Sur celeste



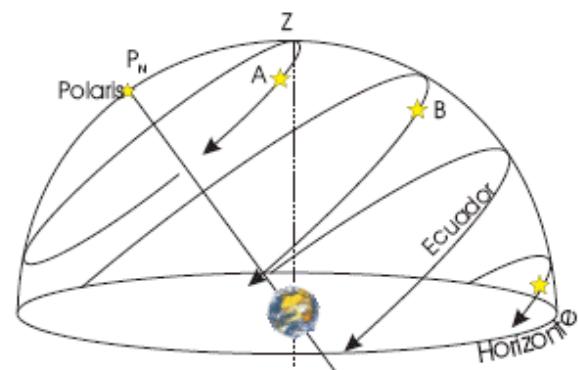
1) En el Polo Norte



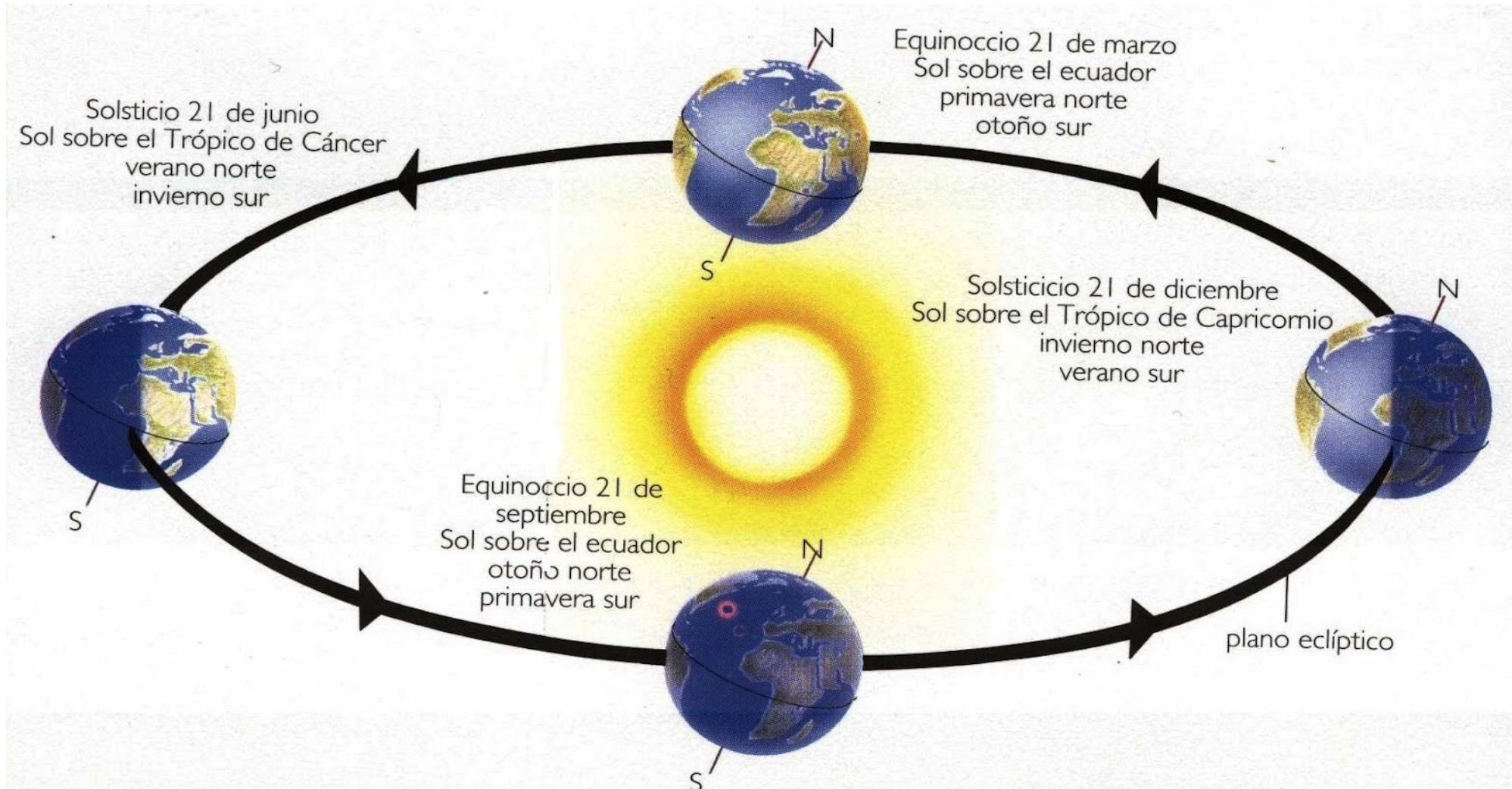
2) En el Ecuador



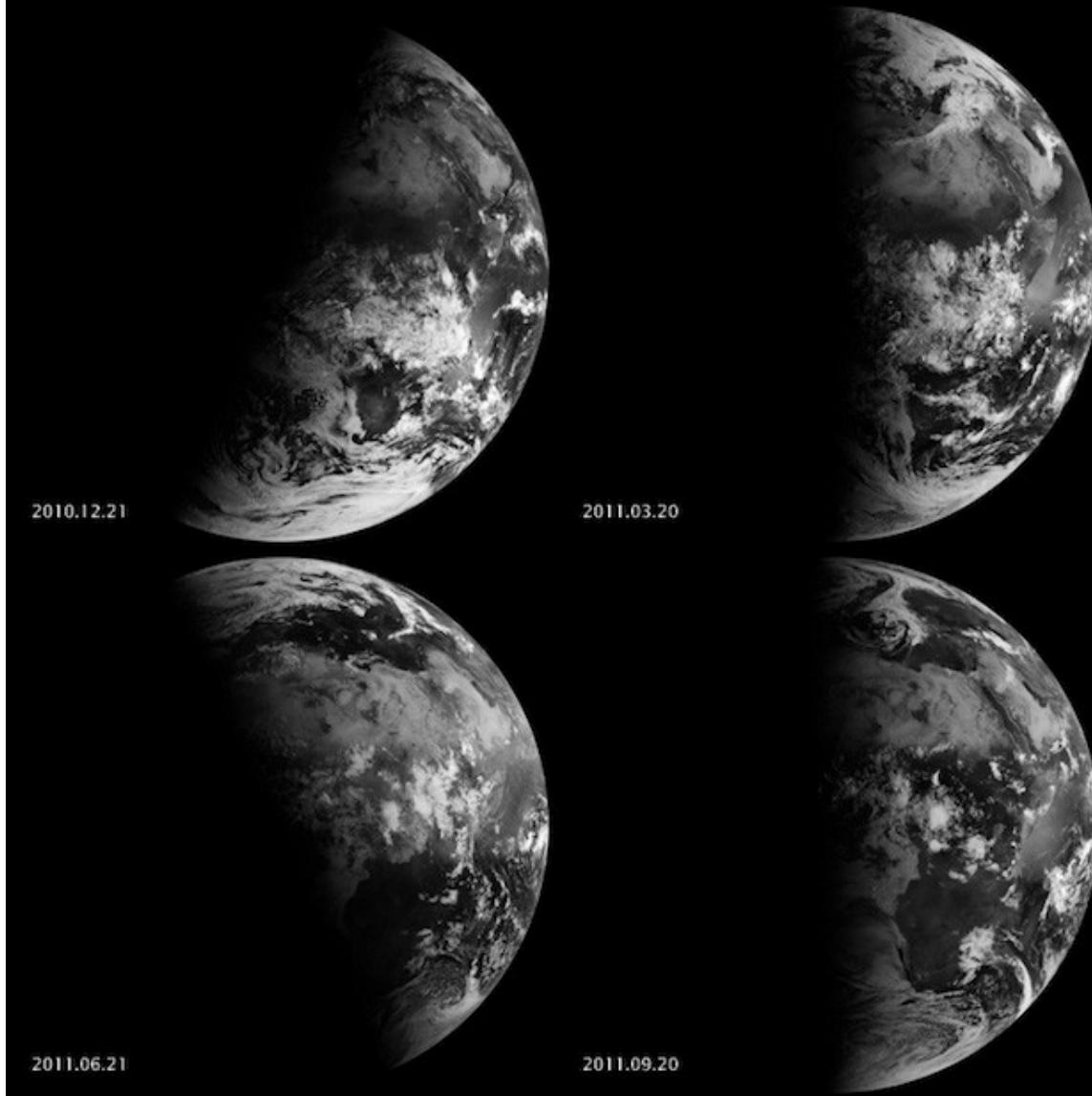
3) En una latitud septentrional intermedia



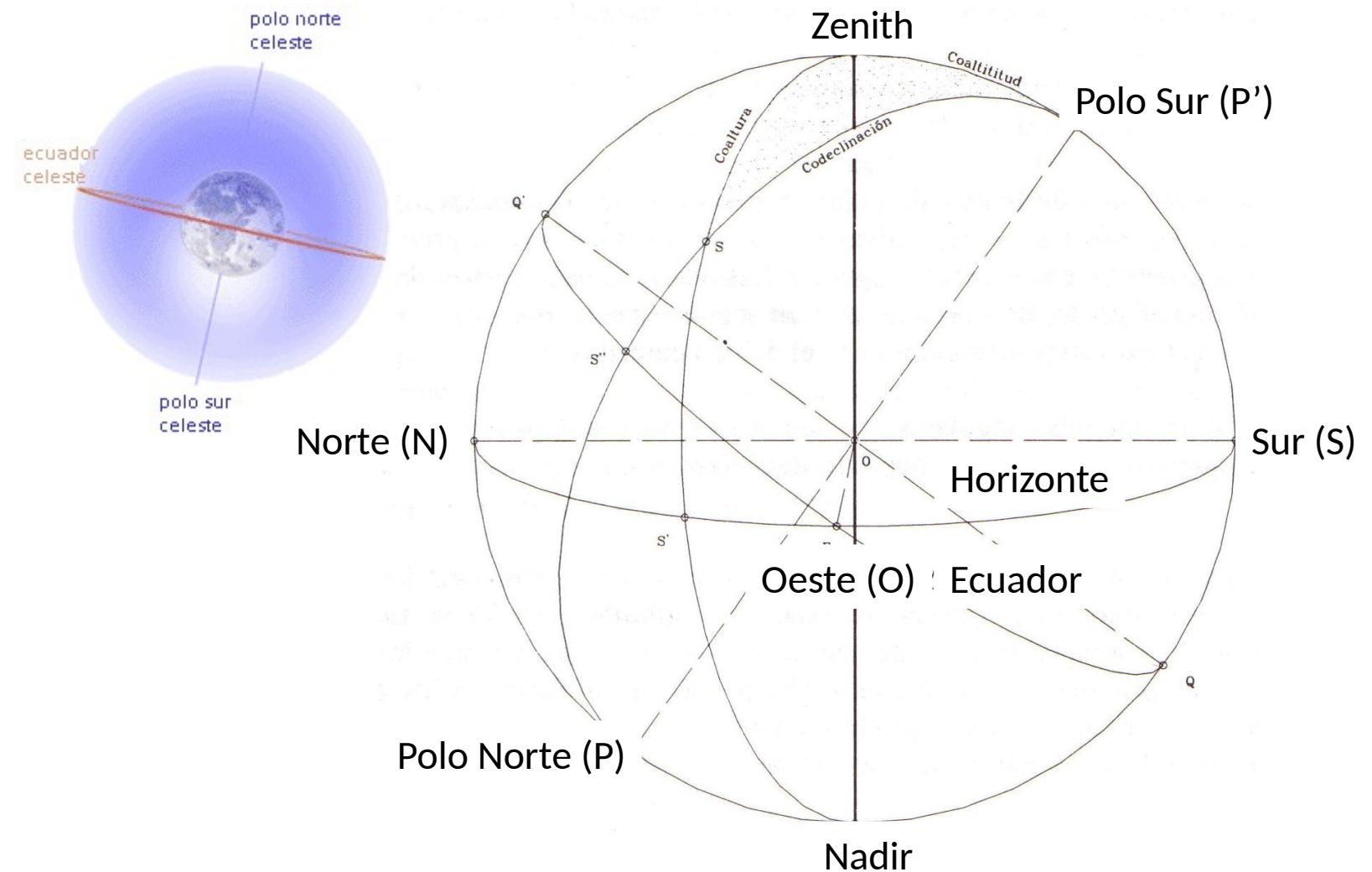
# Las cuatro estaciones



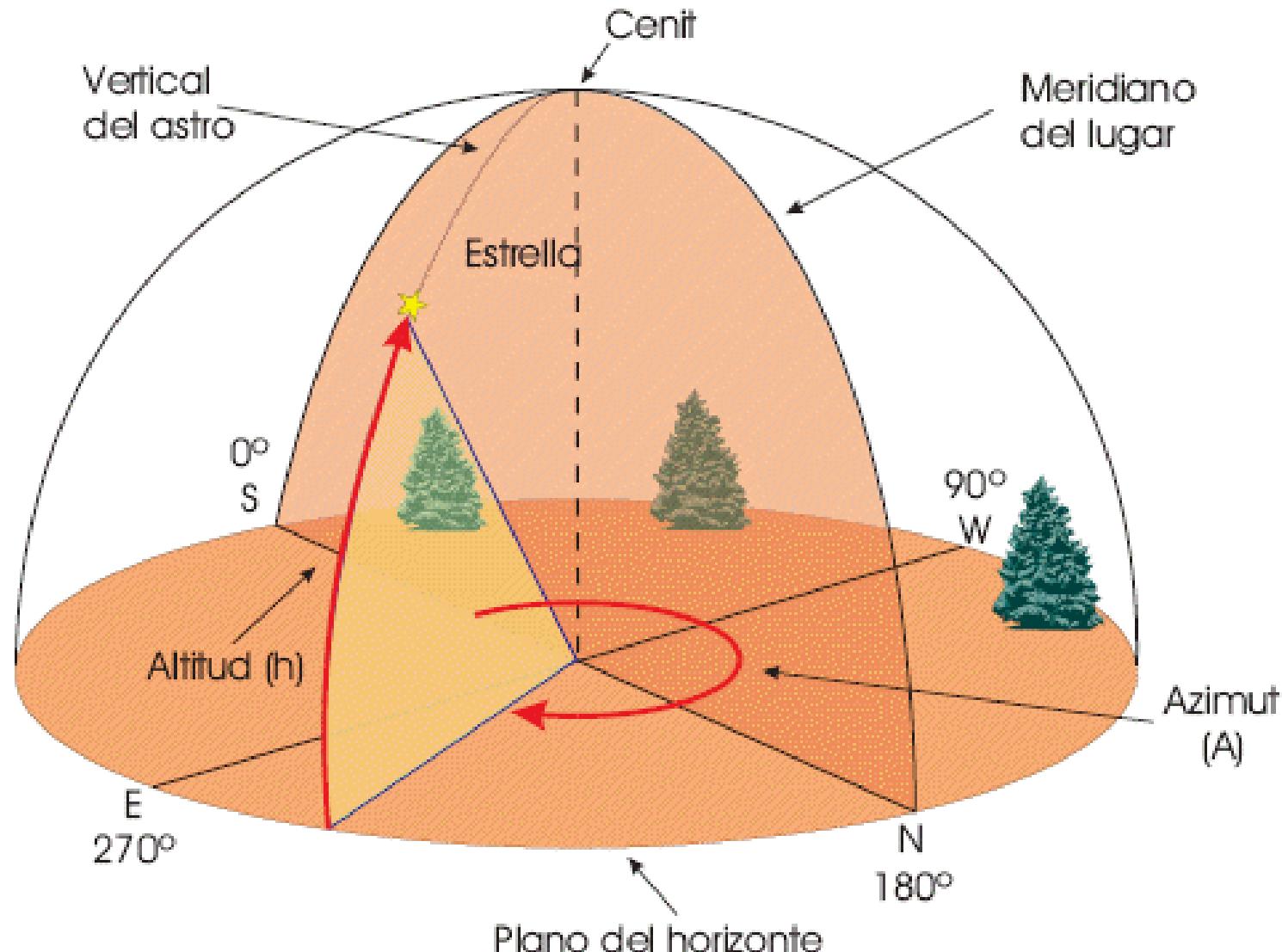
# La Tierra se mueve alrededor del Sol



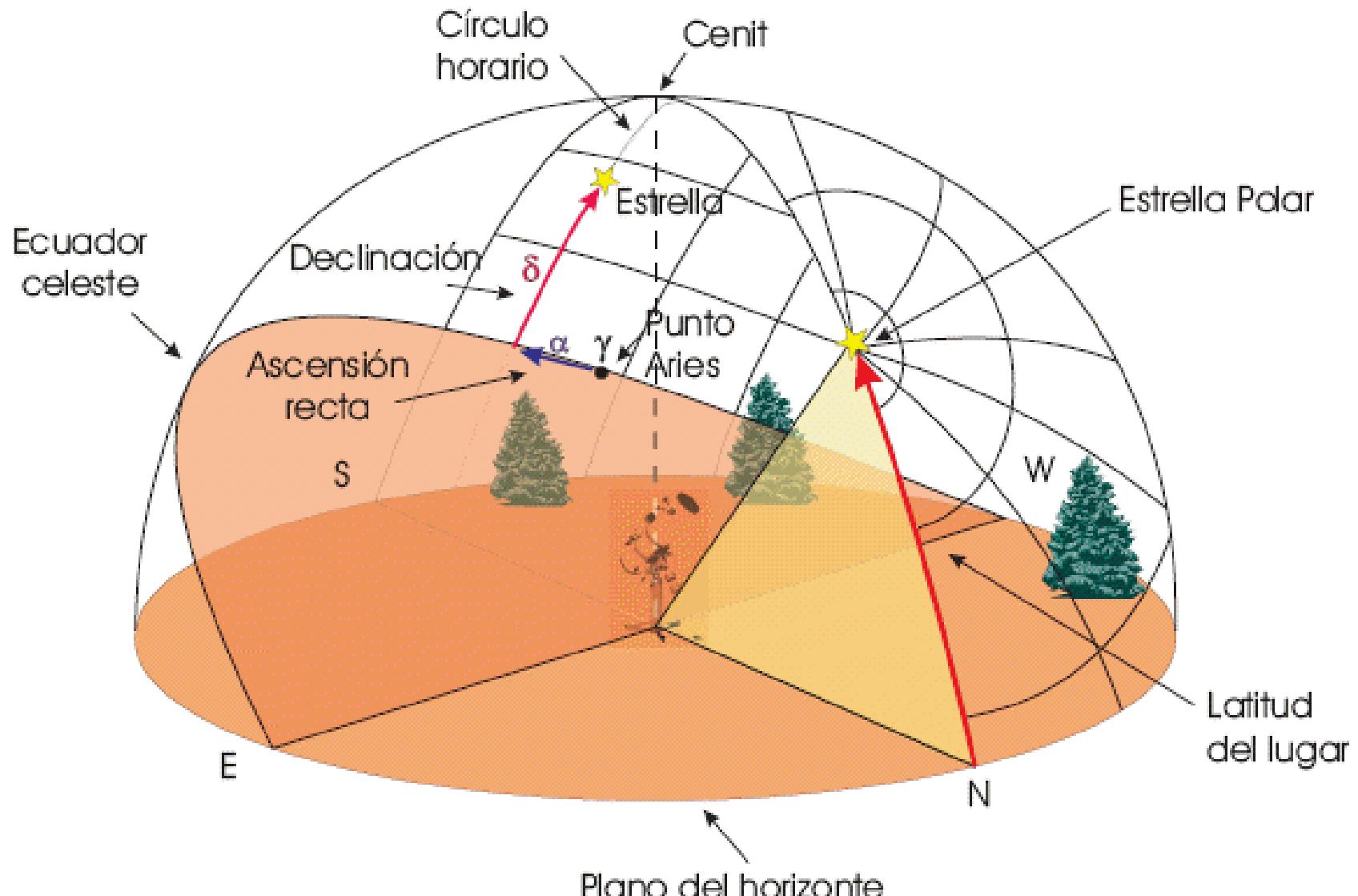
# La esfera celeste



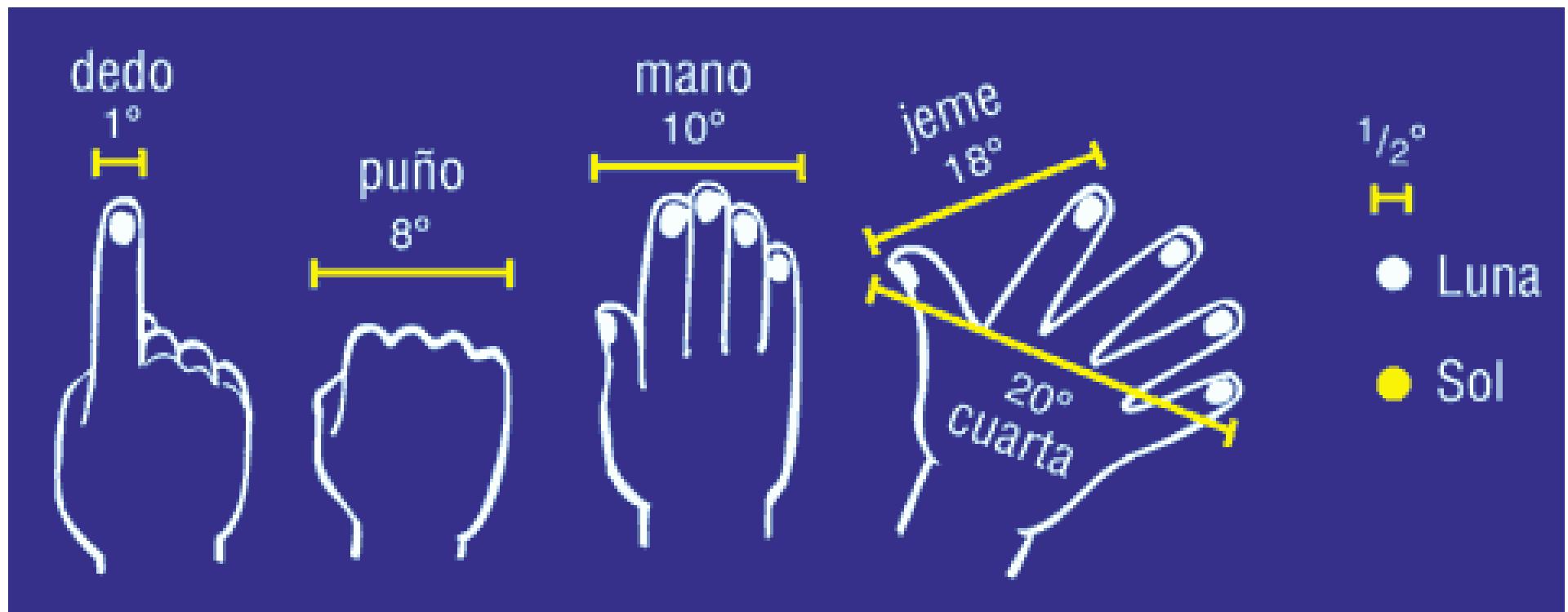
# Coordenadas horizontales



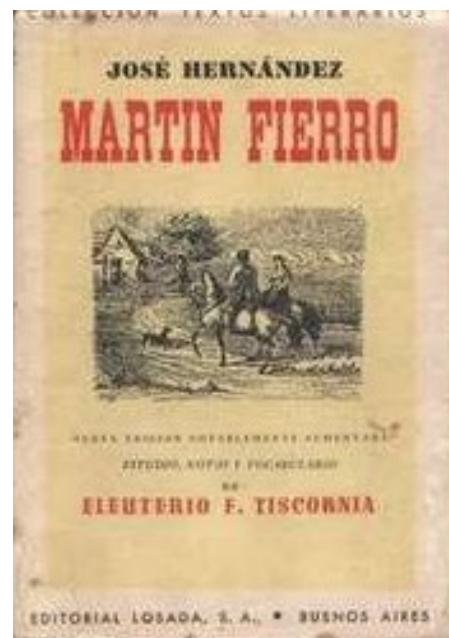
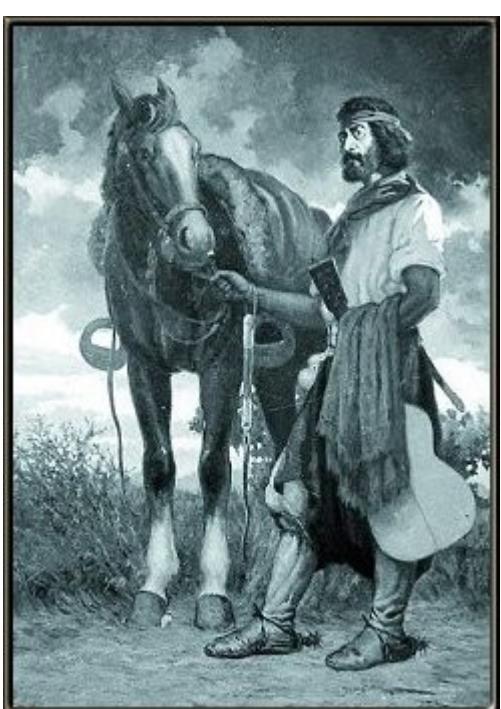
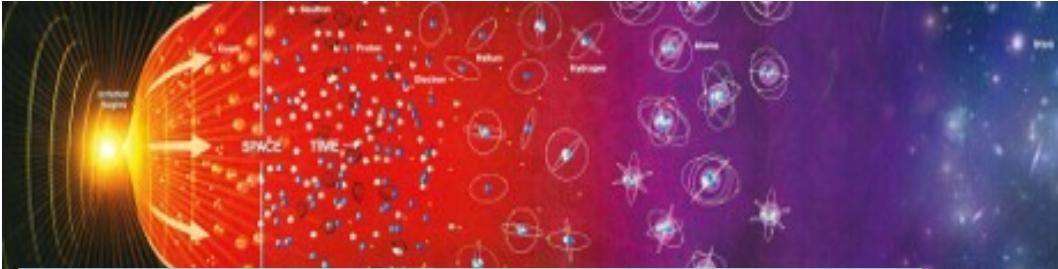
# Coordenadas Ecuatoriales



# Algunos instrumentos de medición



# El tiempo...



*El Moreno: Si responde a esta pregunta  
téngase por vencedor  
doy la derecha al mejor,  
y resóndame al momento:  
¿cuándo formó Dios el tiempo  
y por qué lo dividió?*

*Martín Fierro: Moreno, voy a decir,  
sigún mi saber alcanza:  
**el tiempo sólo es tardanza**  
**de lo que está por venir;**  
no tuvo nunca principio  
ni jamás acabará,  
porque el tiempo es una rueda,  
y rueda es eternidá.  
Y si el hombre lo divide,  
sólo lo hace, en mi sentir,  
por saber lo que ha vivido  
o le resta que vivir.*



# Y el tiempo...

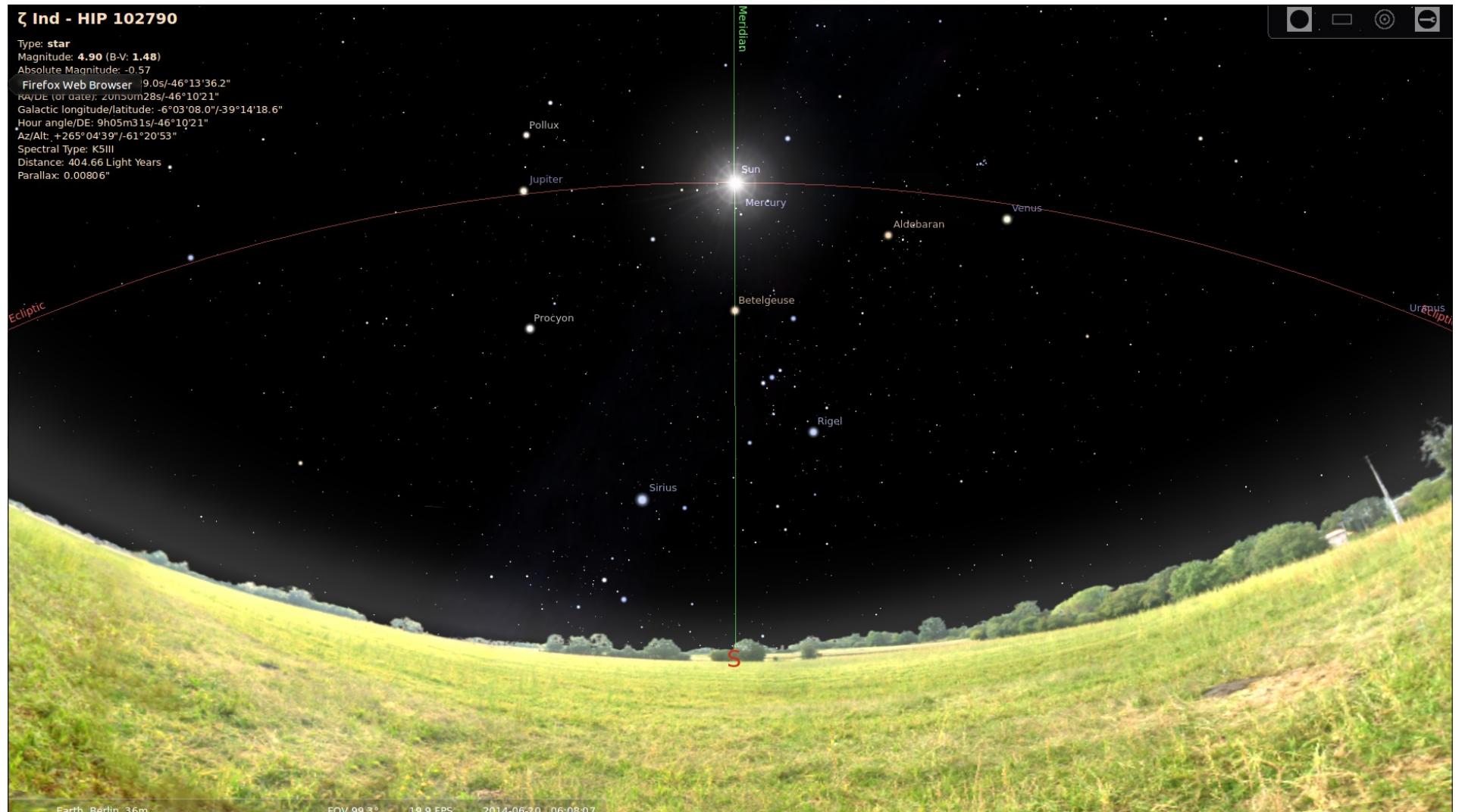
- Hasta 1950 el tiempo se definía en función de la rotación terrestre.
- La unidad básica, el segundo, correspondía a una fracción  $1/86400$  del día solar medio.
- Básicamente, asociamos el tiempo a la duración de ciertos eventos → escalas de tiempo.



# El día es el tiempo asociado a la rotación:

- Pero.... ¿con qué medimos la rotación?
- Posición del Sol:
  - Tiempo civil → **Tiempo solar medio:**  
Se define como el tiempo entre dos sucesiones consecutivas del Sol por el meridiano del observador.
  - **Tiempo sidéreo:**  
Se define como el tiempo entre dos sucesiones consecutivas del punto Vernal por el meridiano del observador.

# En el cielo

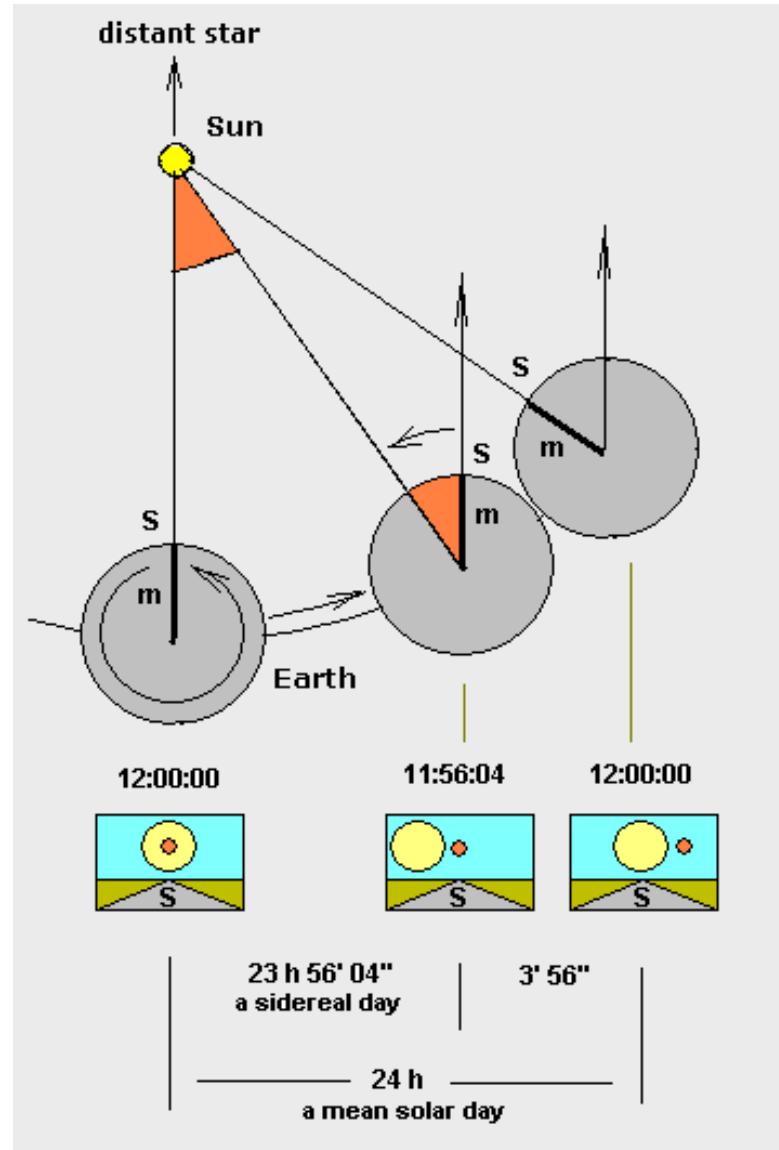




# Algunas definiciones

- Tiempo sidéreo:
  - Se define como el tiempo entre dos sucesiones consecutivas del punto Vernal por el meridiano del observador.

# Tiempo sidereo





# Carta Celeste

- Mapa de la esfera celeste
- Se identifican las constelaciones y las principales estrellas
- Permite ver el cielo en distintas épocas del año

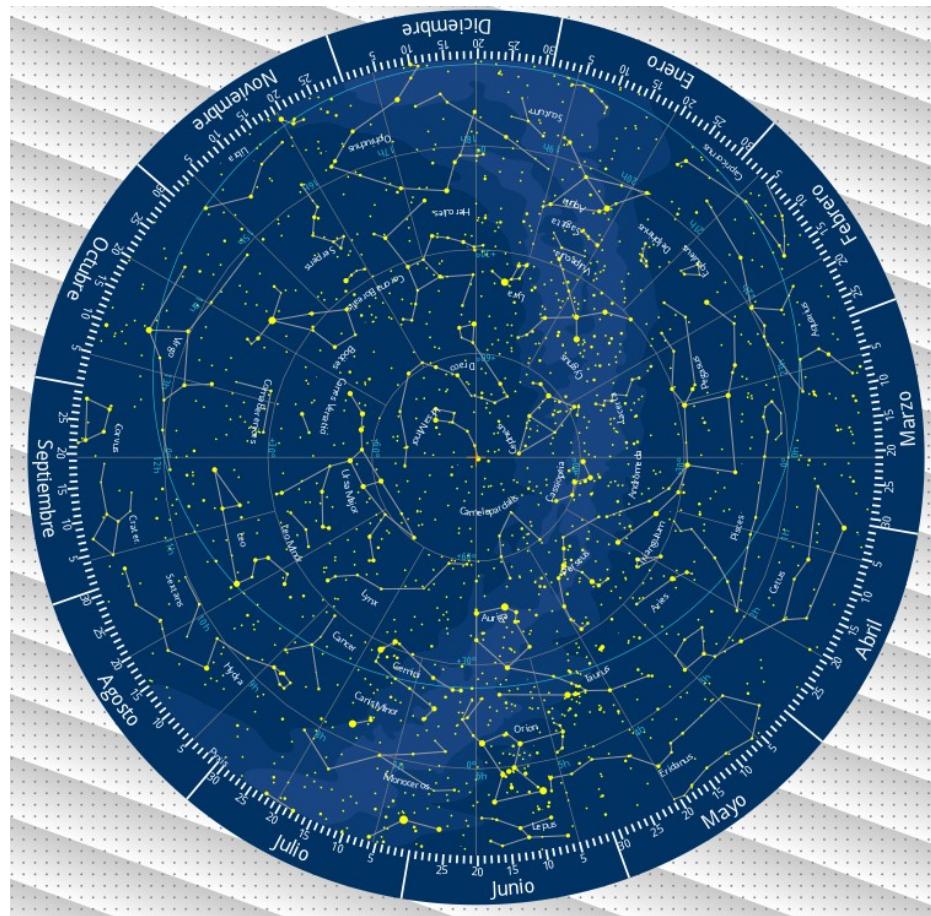


Quiero una de estas



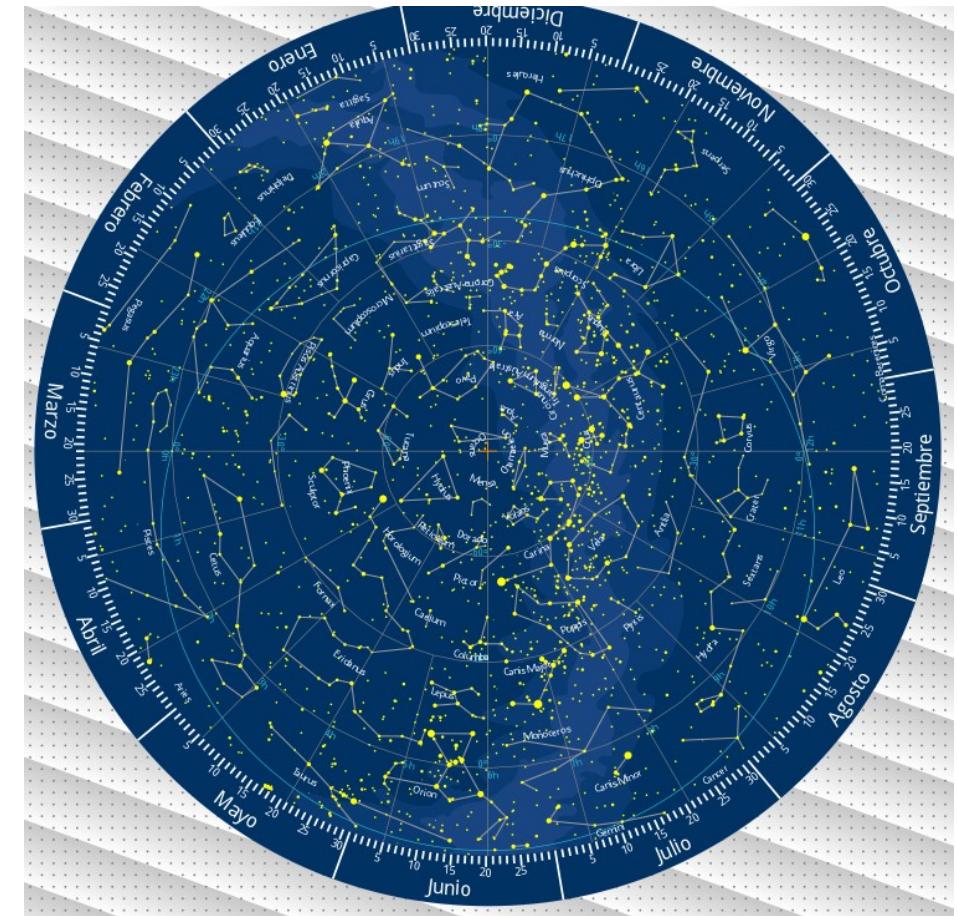


# Tenemos estas



Hemisferio Norte Celeste

Oct 03, 2018



Hemisferio Sur Celeste

Asorey IPAC 2018 UO2C02 07/16

20/70

- Dos problemas:

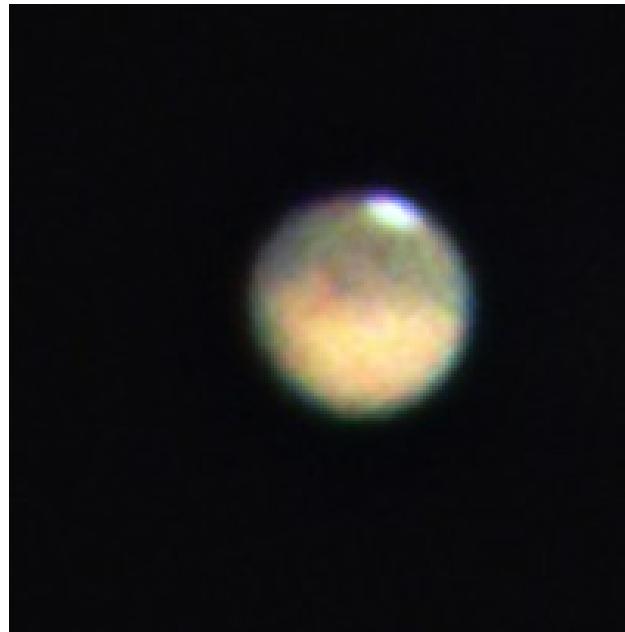
- ¿Los planetas?
  - Planeta = errante, ya que los planetas presentan movimientos propios respecto a la esfera celeste
  - Los planetas están cerca de la eclíptica y “no titilan”

# Planetas

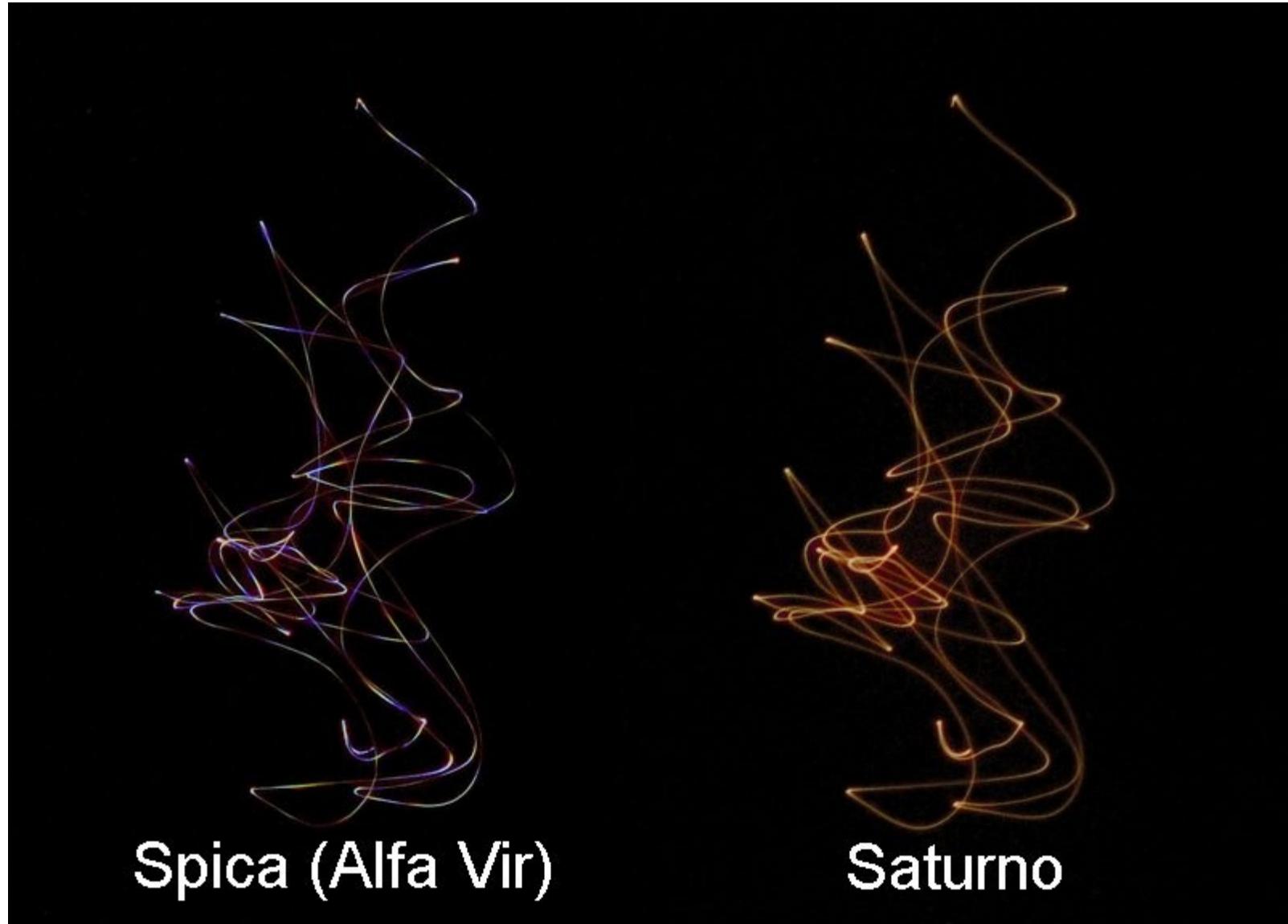


- Planetas

- Movimiento propio
- Cerca de la Eclíptica
- No “titilan”



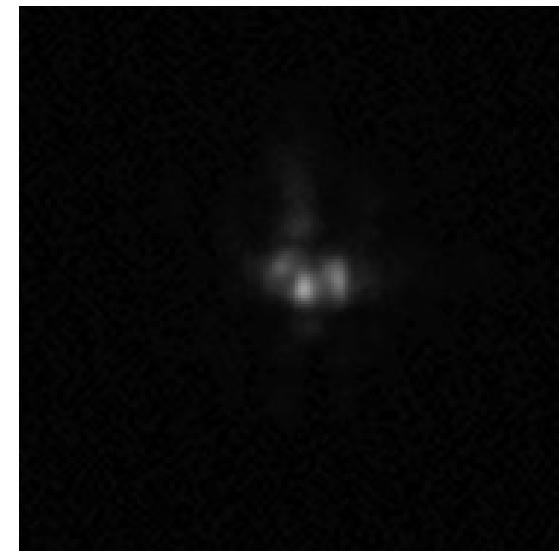
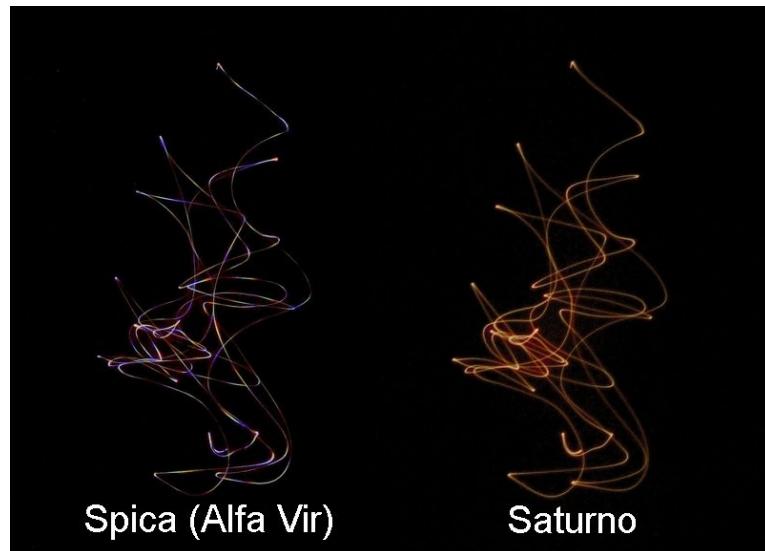
# Titilando



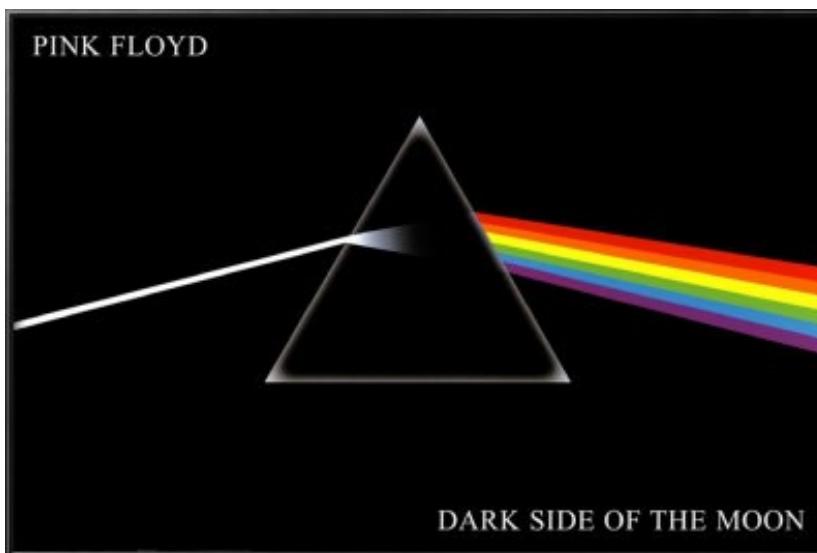
Spica (Alfa Vir)

Saturno

# Titilando



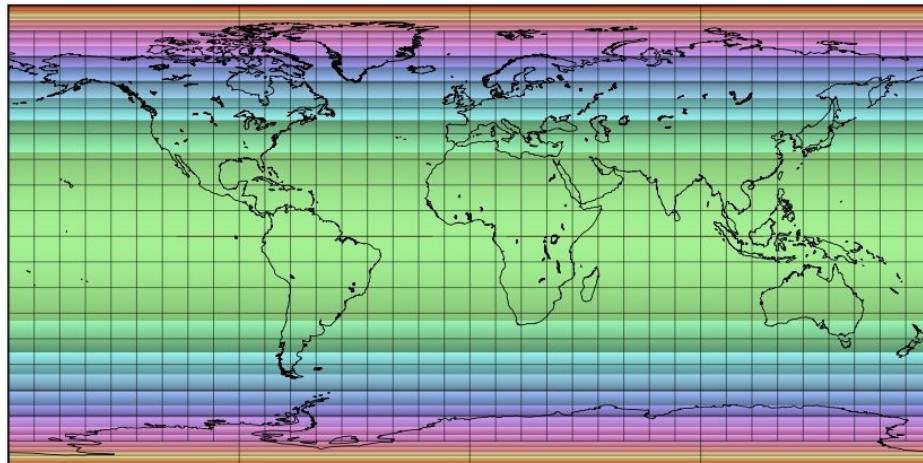
<http://www.atoptics.co.uk/>



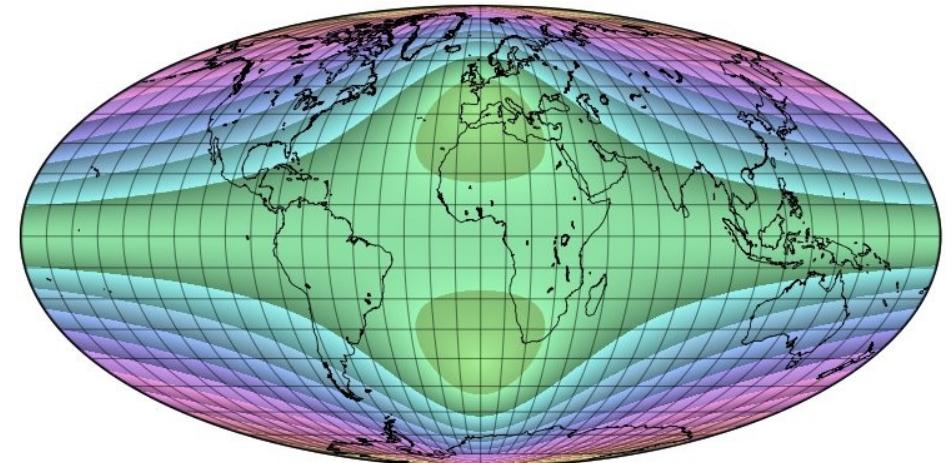
- Dos problemas:

- ¿Los planetas?
  - Planeta = errante, ya que los planetas presentan movimientos propios respecto a la esfera celeste
  - Los planetas están cerca de la eclíptica y “no titilan”
- Como dibujo una esfera (3D) sobre un papel (2D)
  - Proyecciones (típicas):
    - Cónica
    - Cilíndrica ↔ Mercator
    - Lambert
    - Hammer
  - Todas las proyecciones presentan algún grado de deformación

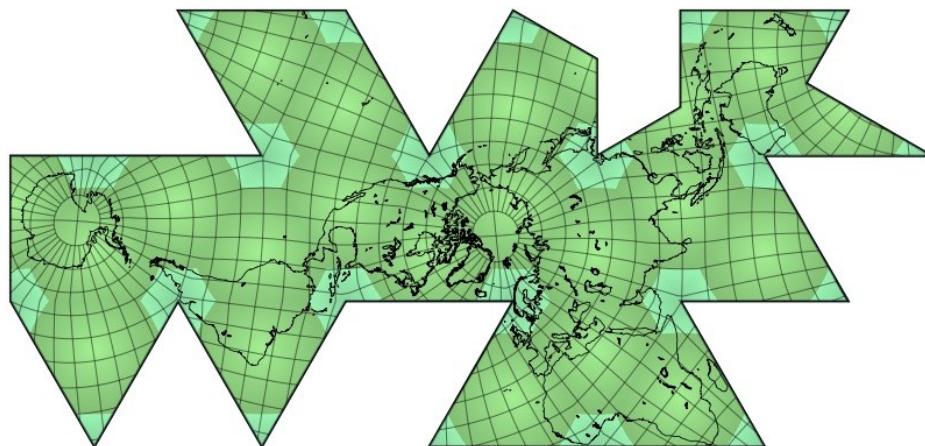
# Deformación en cuatro proyecciones



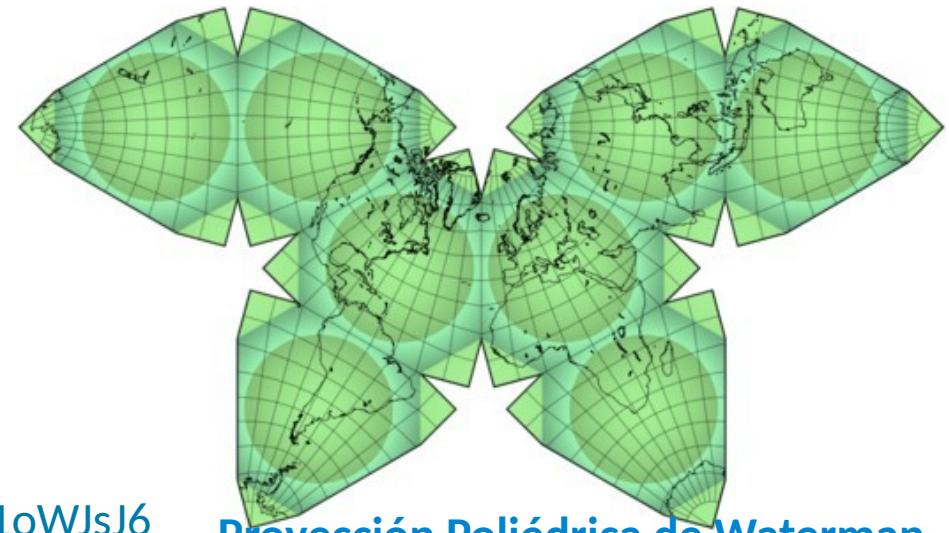
Proyección Cilíndrica Equidistante



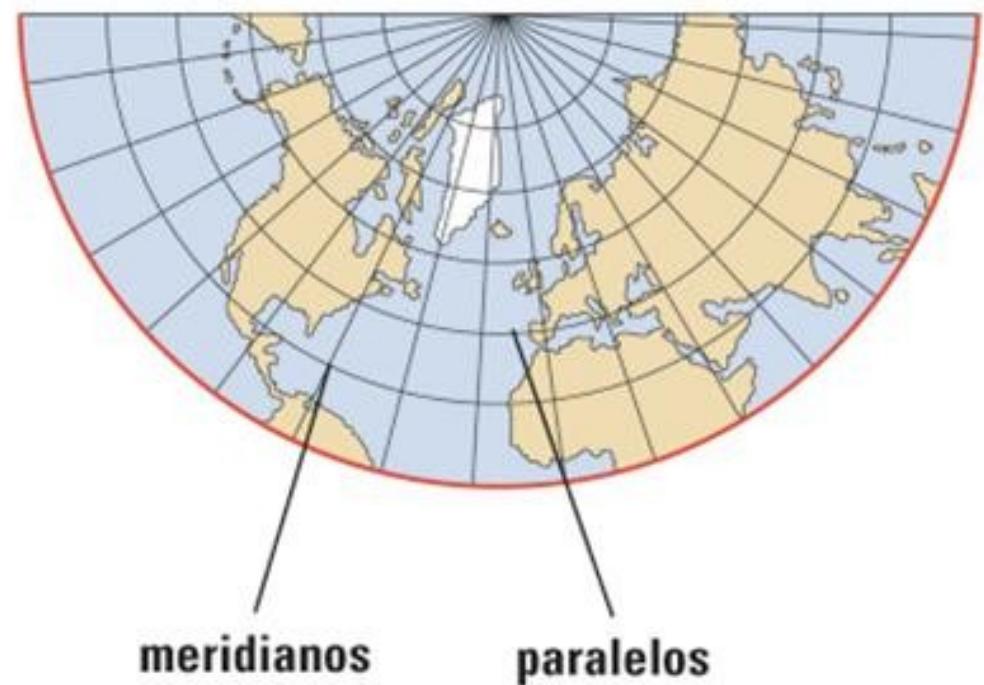
Proyección Mollweide



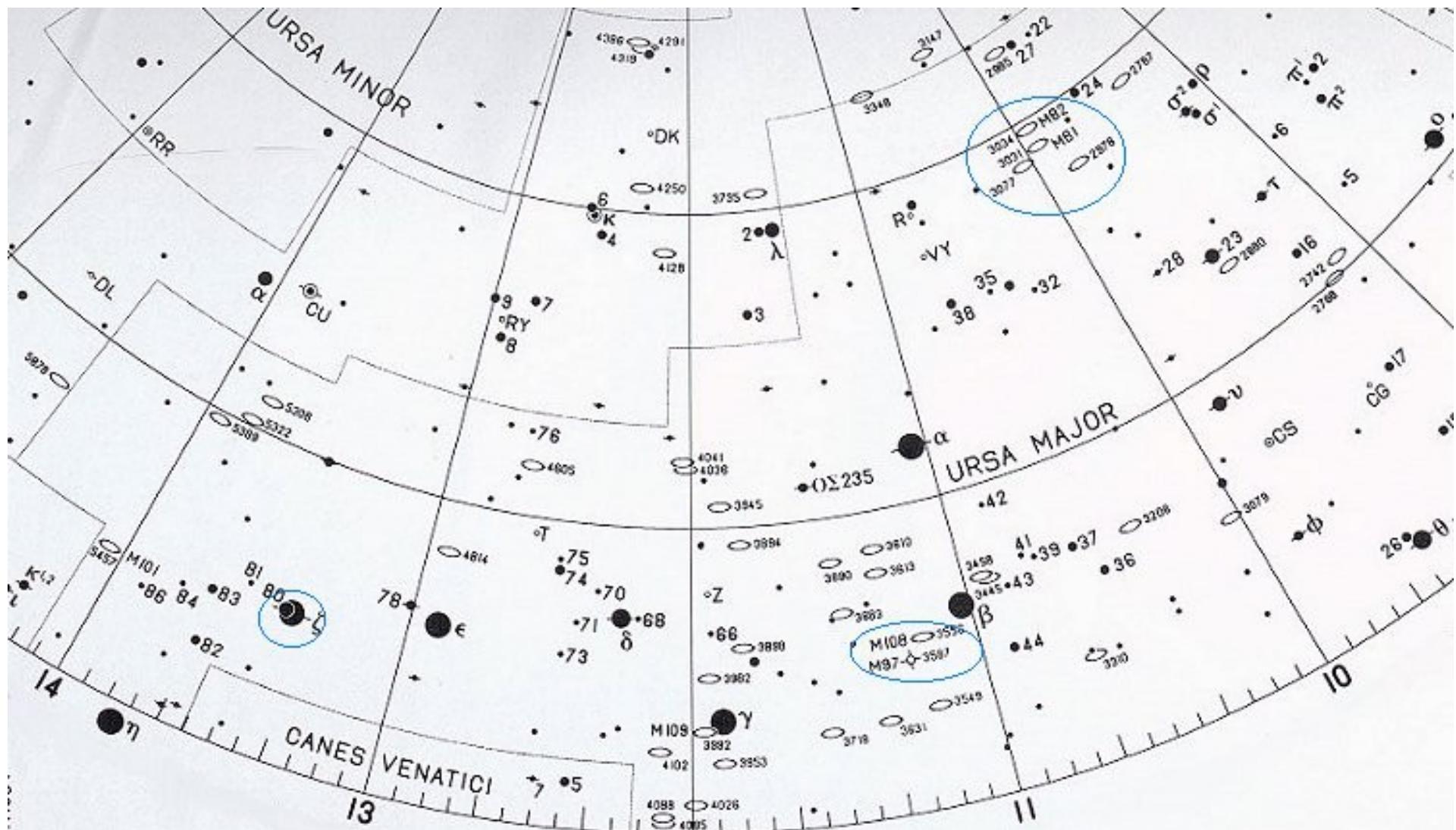
Proyección Dymaxion



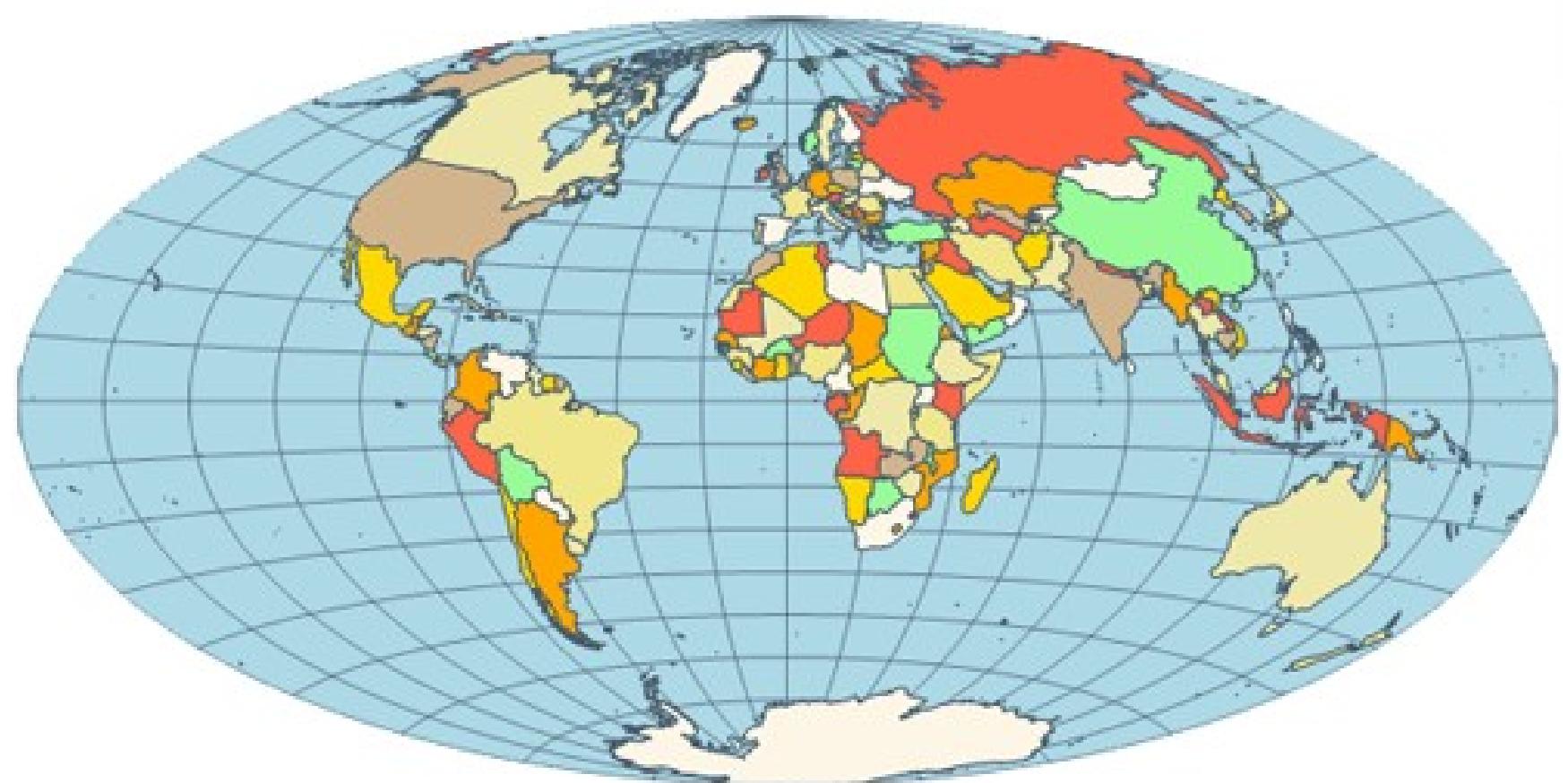
# Proyección Cónica



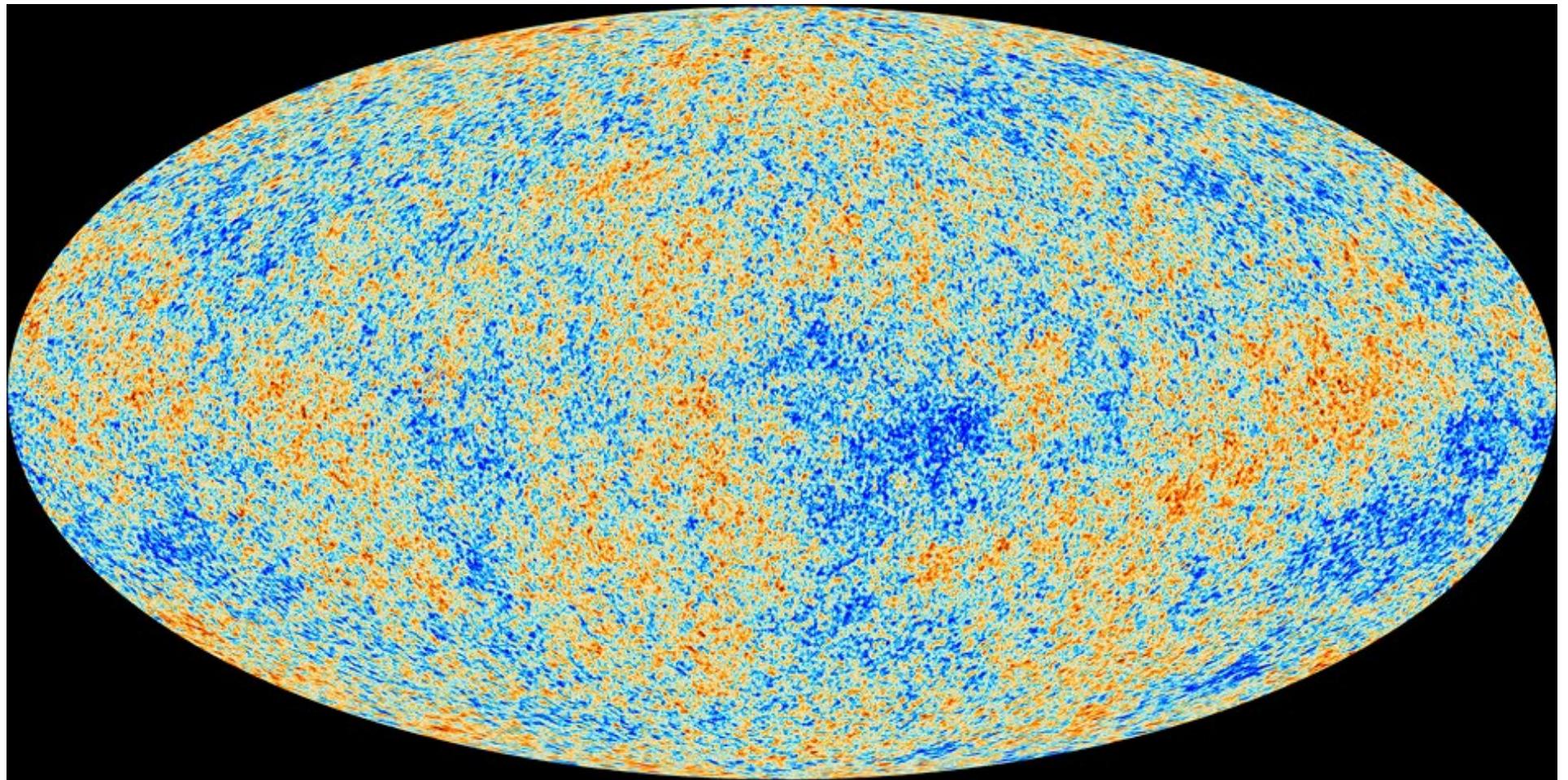
# Proyección Cónica



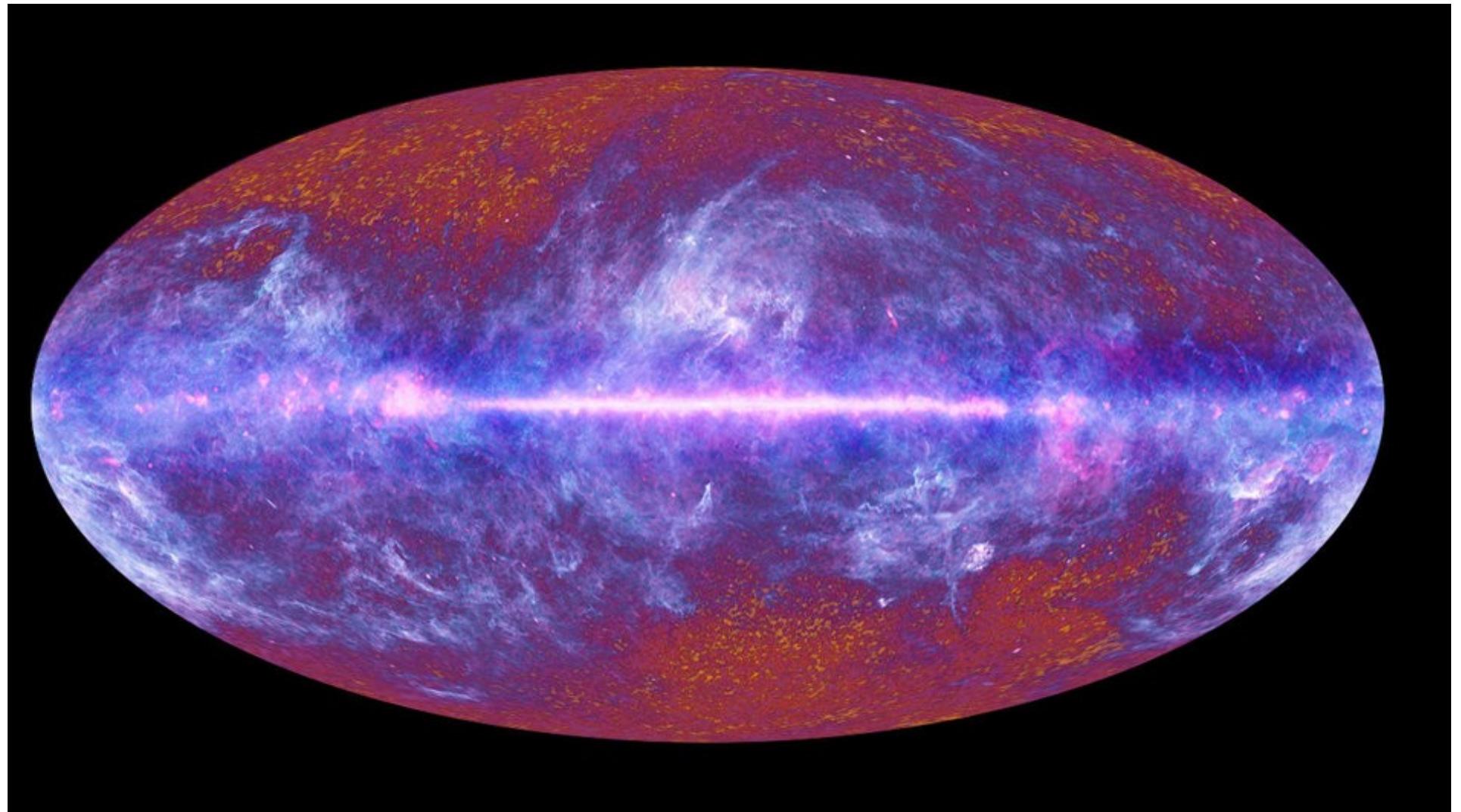
# Proyección de Hammer



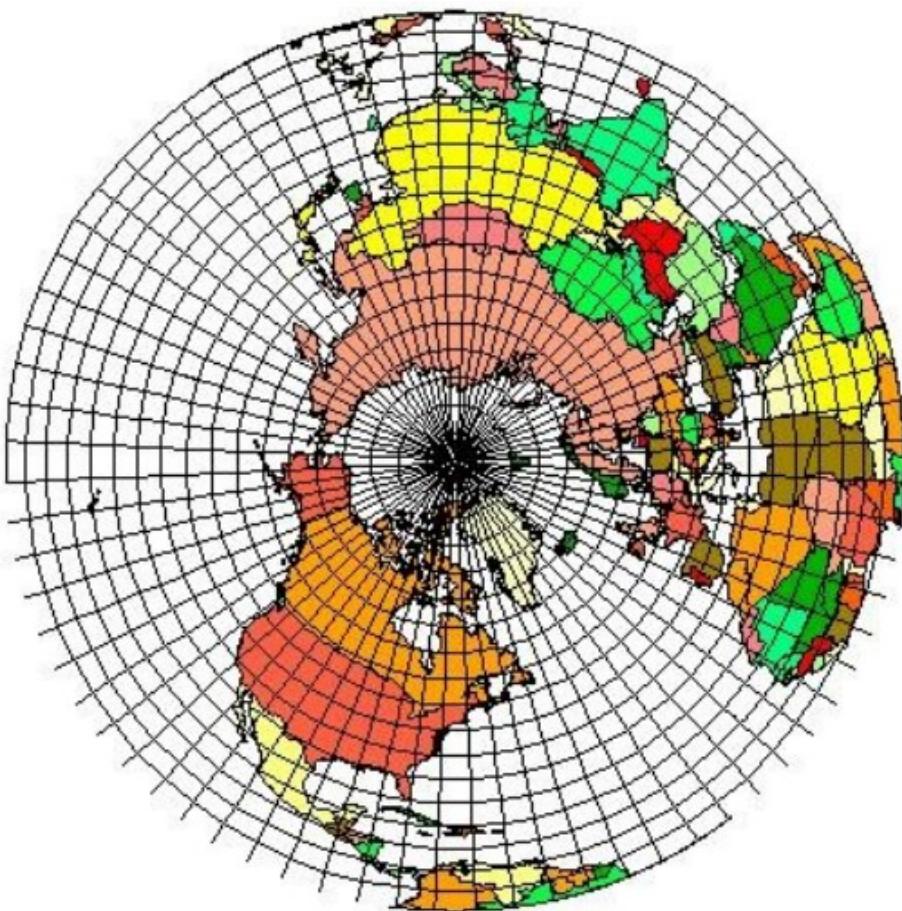
# Diferencias de temperaturas en el cielo



# El Cielo en microondas



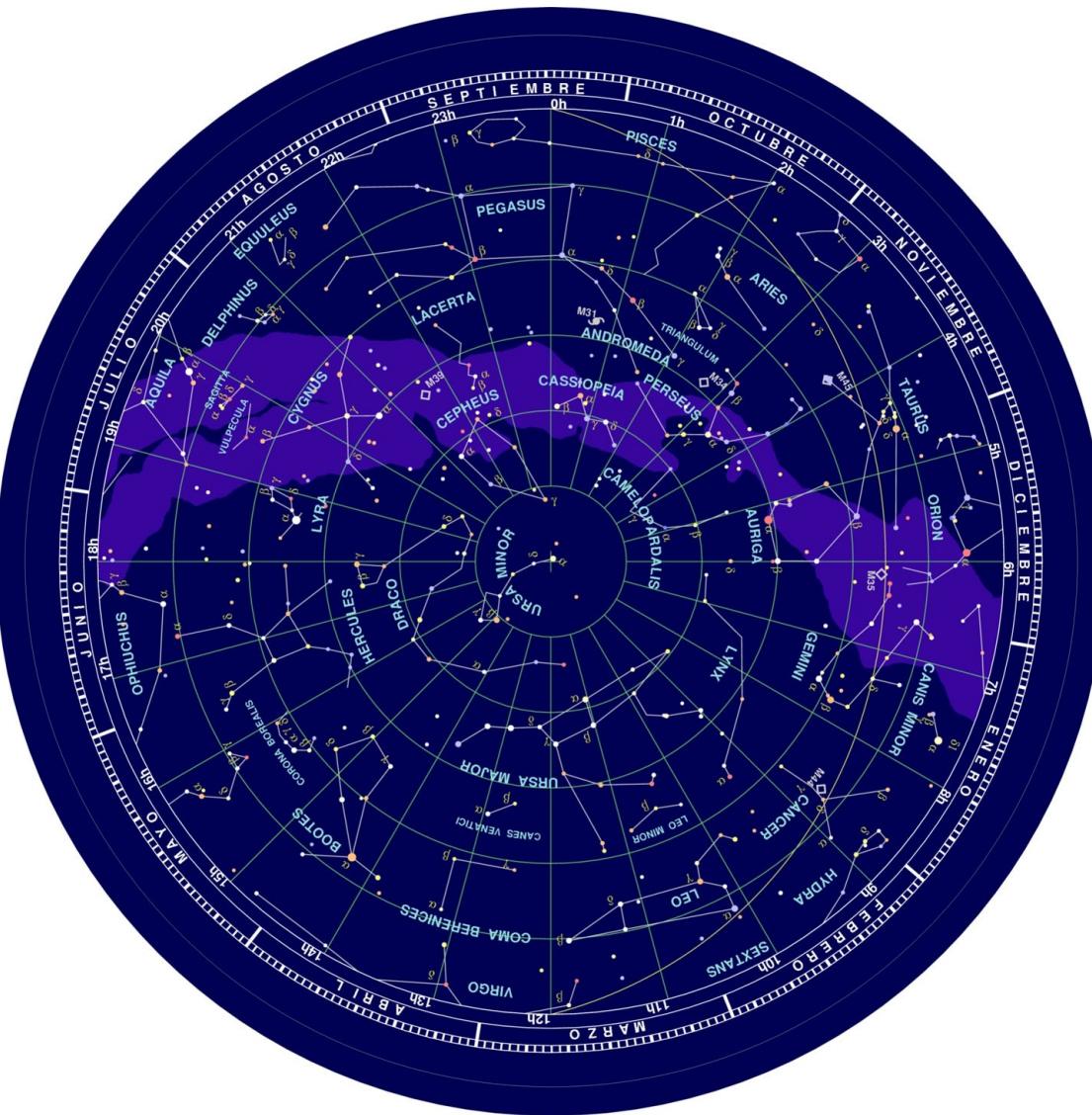
# Proyección de Lambert



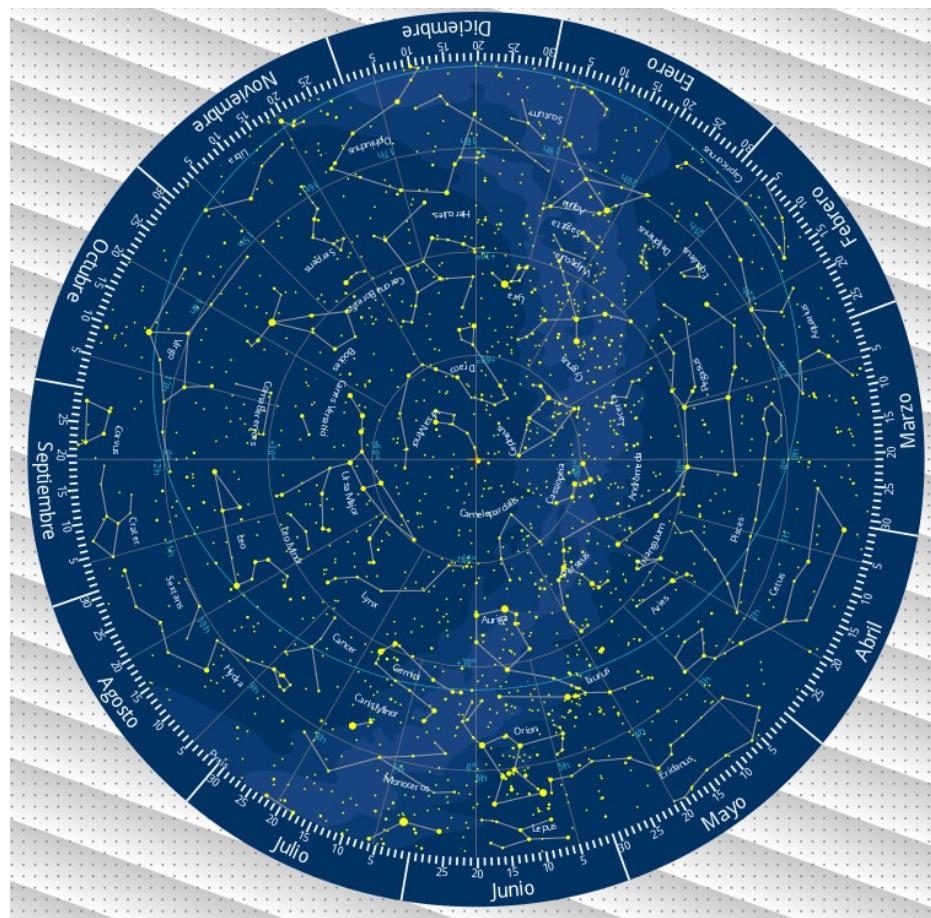
- El borde de la proyección es uno de los círculos máximos de la esfera
- El centro de la proyección es un polo respecto al que se realiza la proyección



- Meridianos celestes
- Radios saliendo del polo
- Paralelos
- Círculos concéntricos al polo



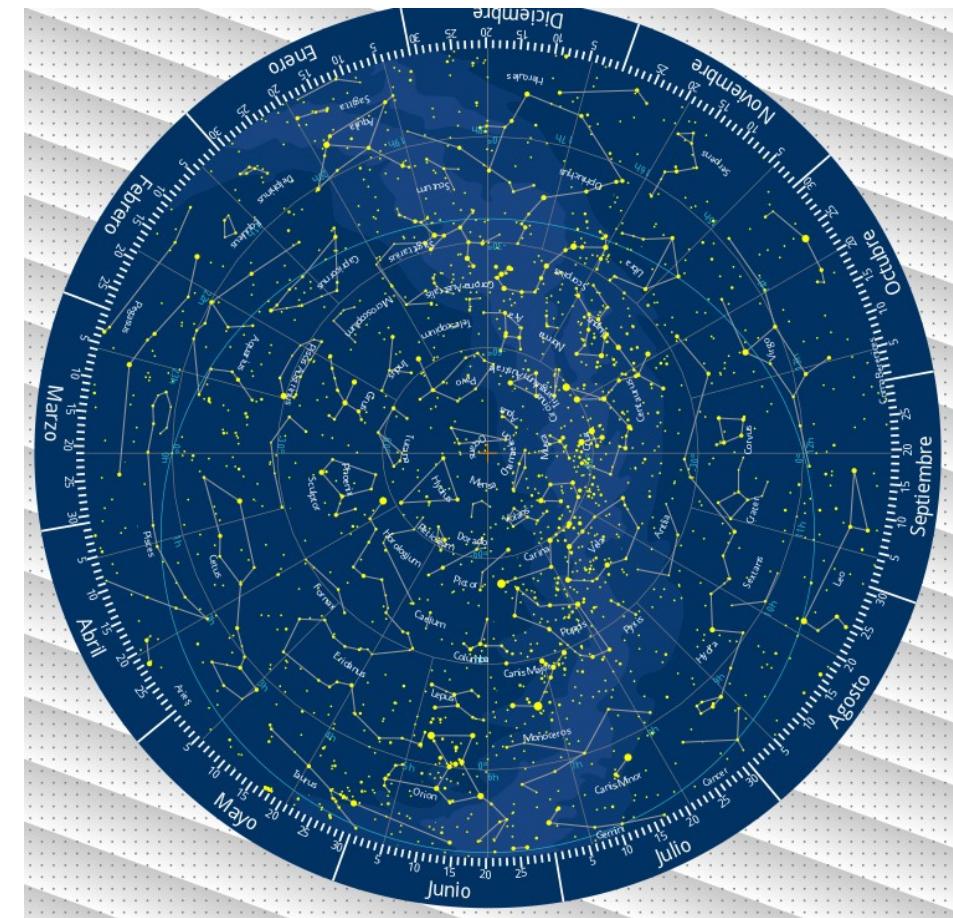
# Carta celeste



Hemisferio Norte Celeste

Oct 03, 2018

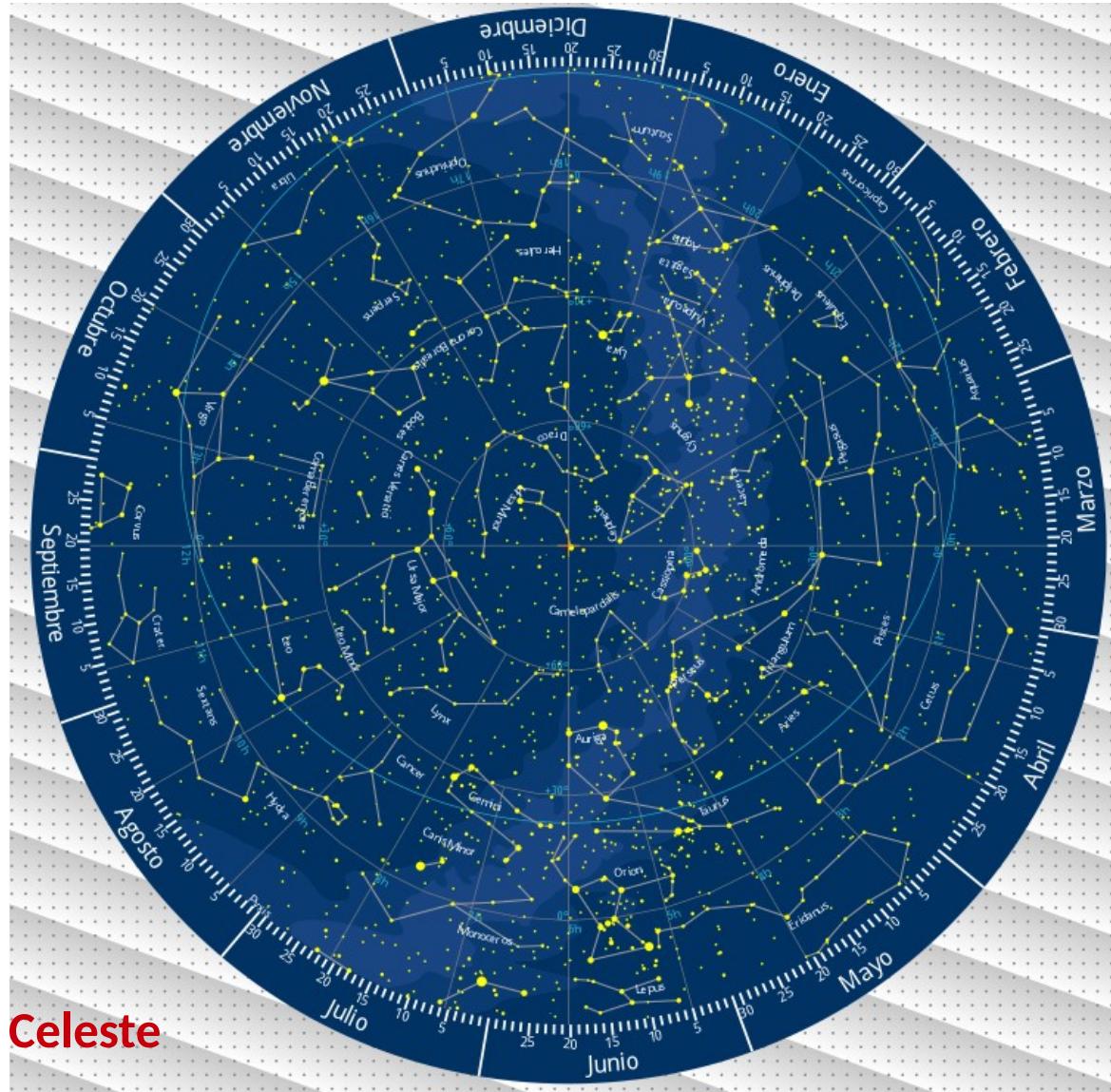
Asorey IPAC 2018 UO2C02 07/16



Hemisferio Sur Celeste

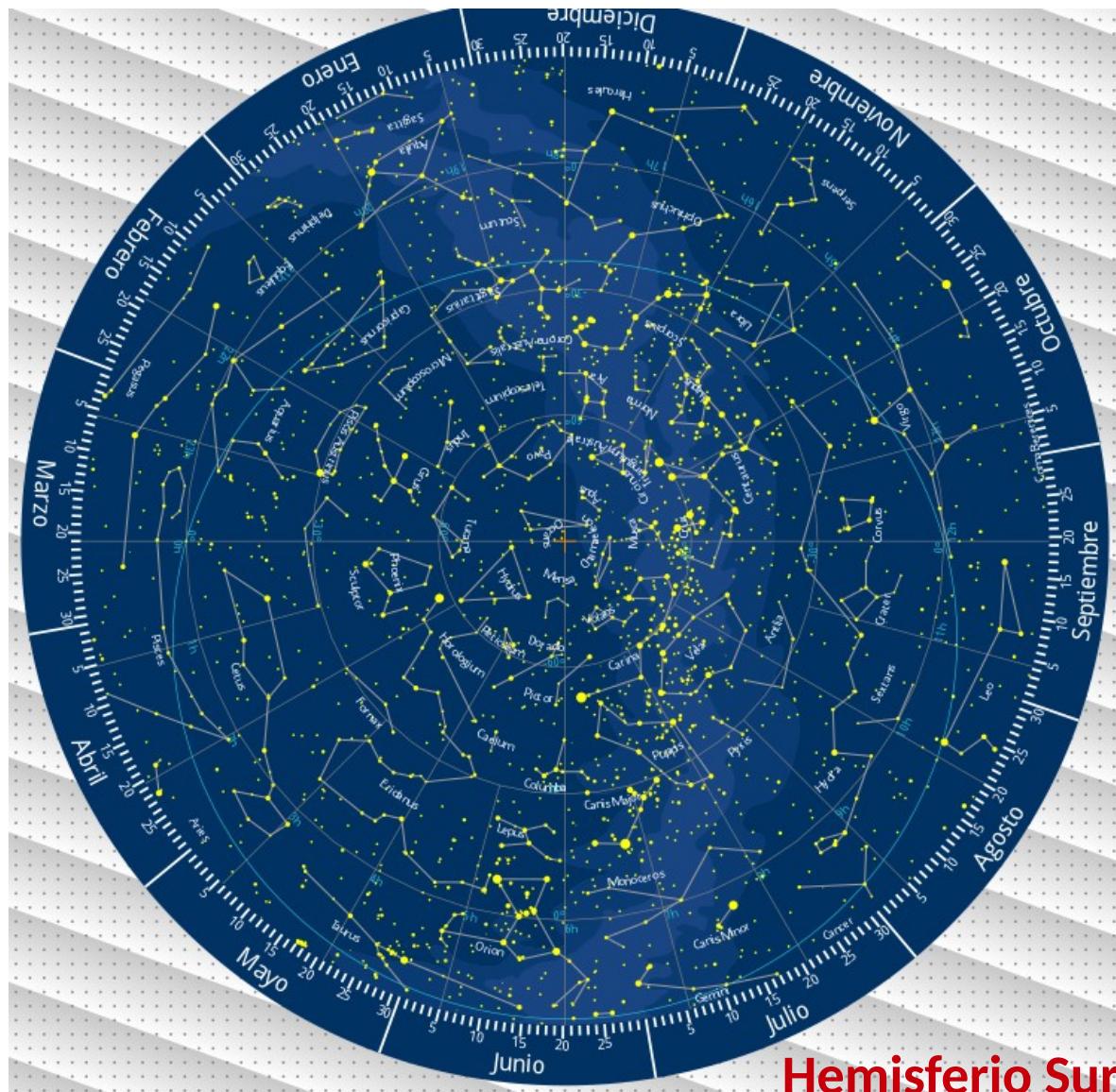
34/70

# Hemisferio Norte (Lat = $+5^{\circ}$ ~ Bogotá)



**Hemisferio Norte Celeste**

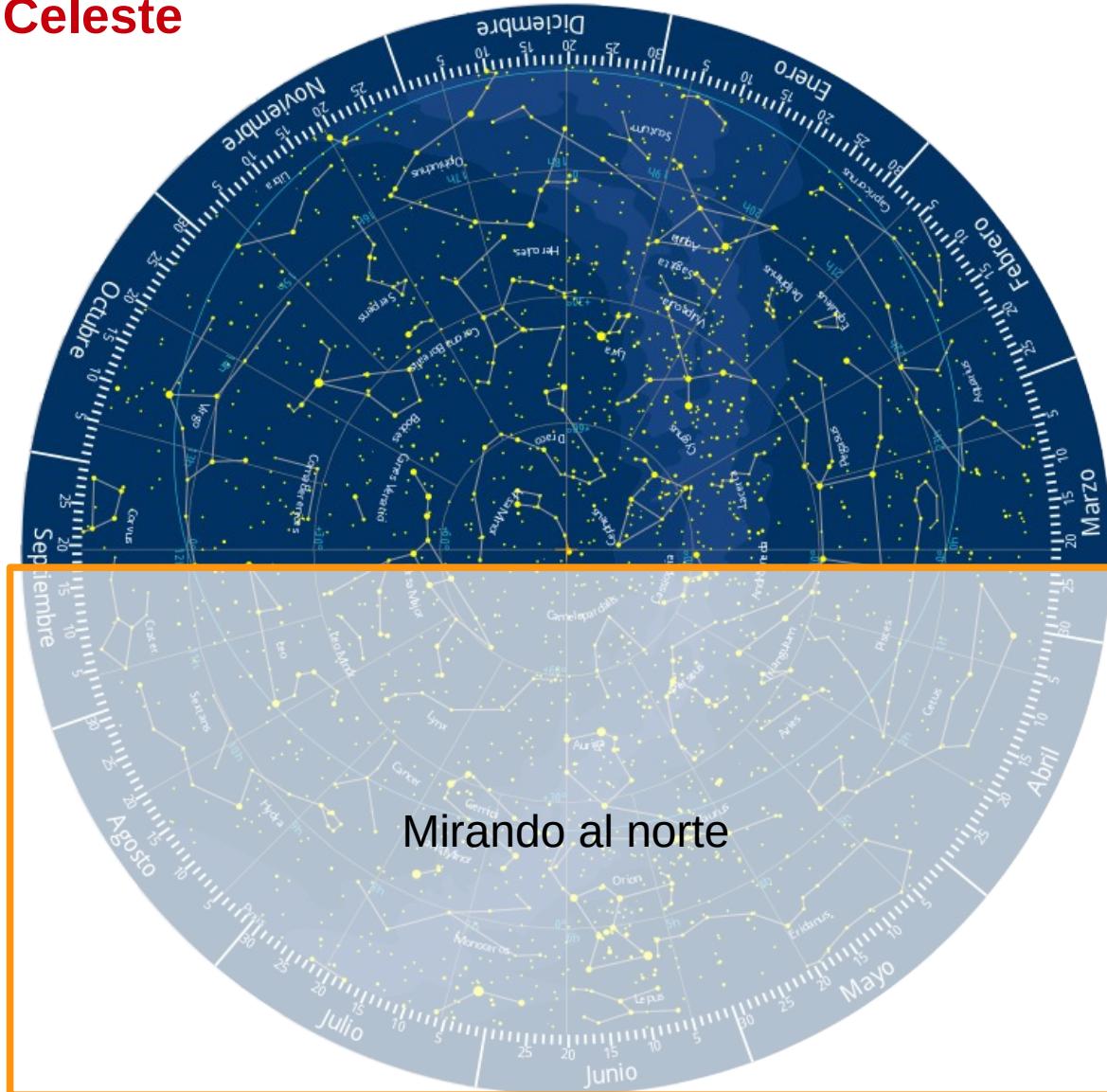
# Hemisferio Sur (Lat = +5° ~ Bogotá)



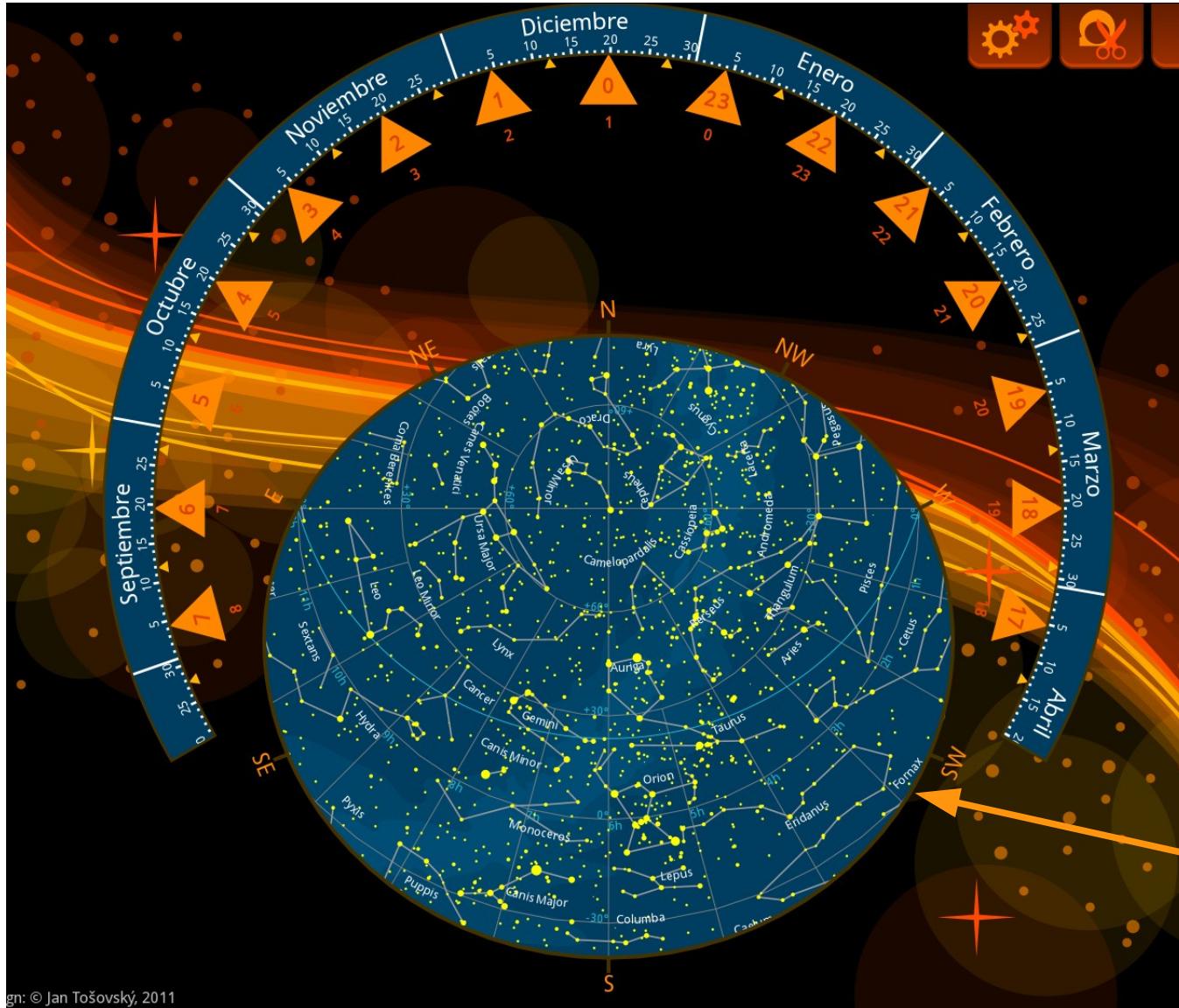
# Carta celeste

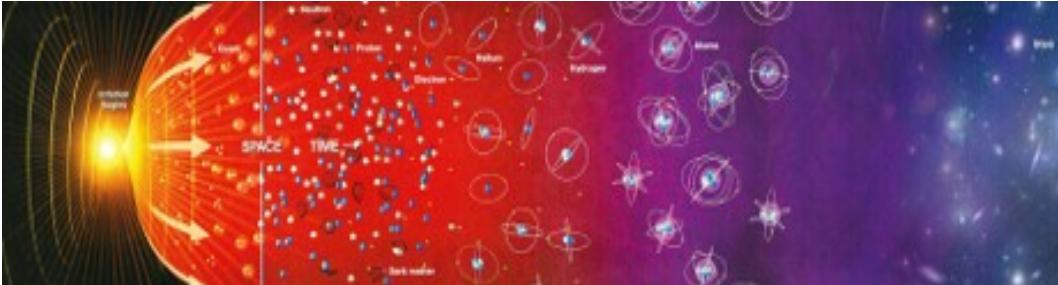


## Hemisferio Norte Celeste

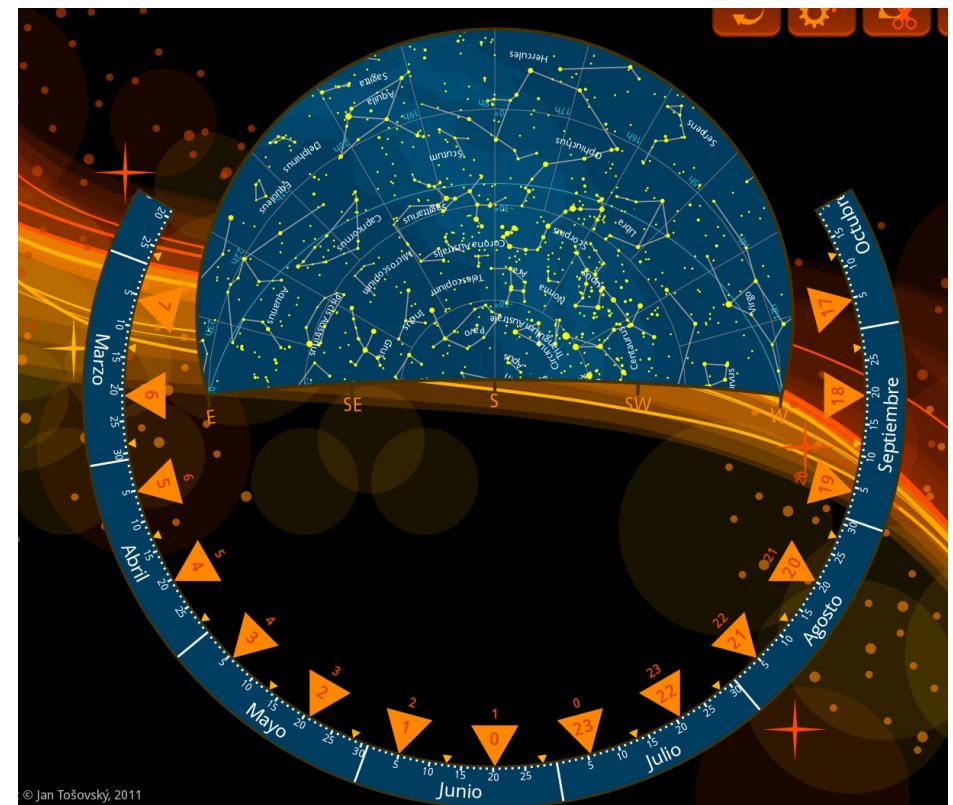
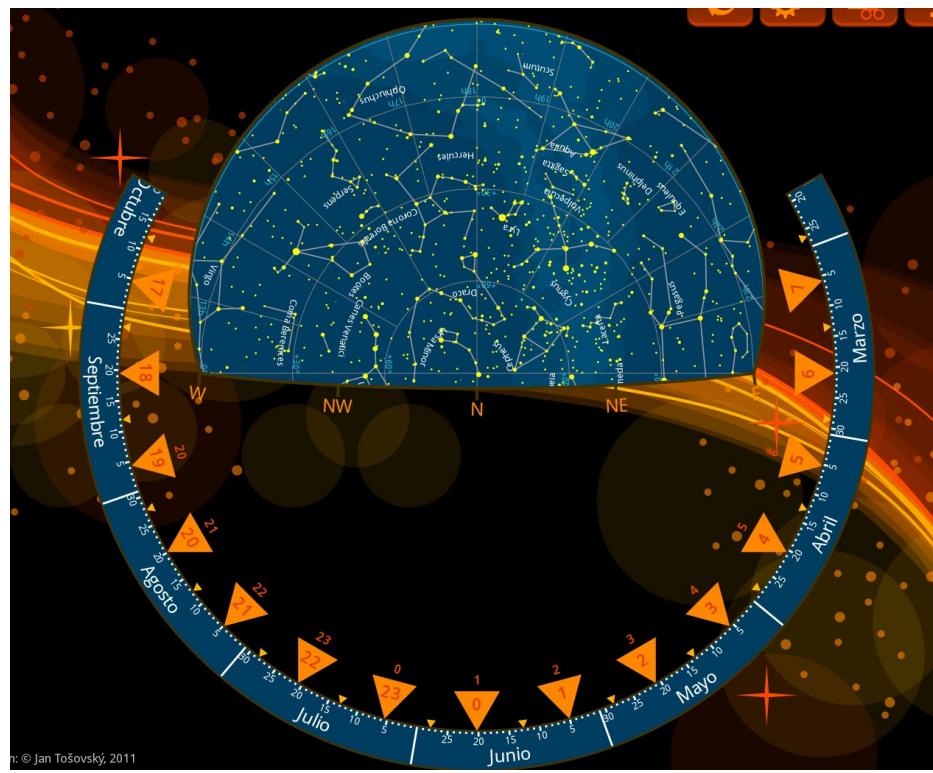


# En otras latitudes: +50

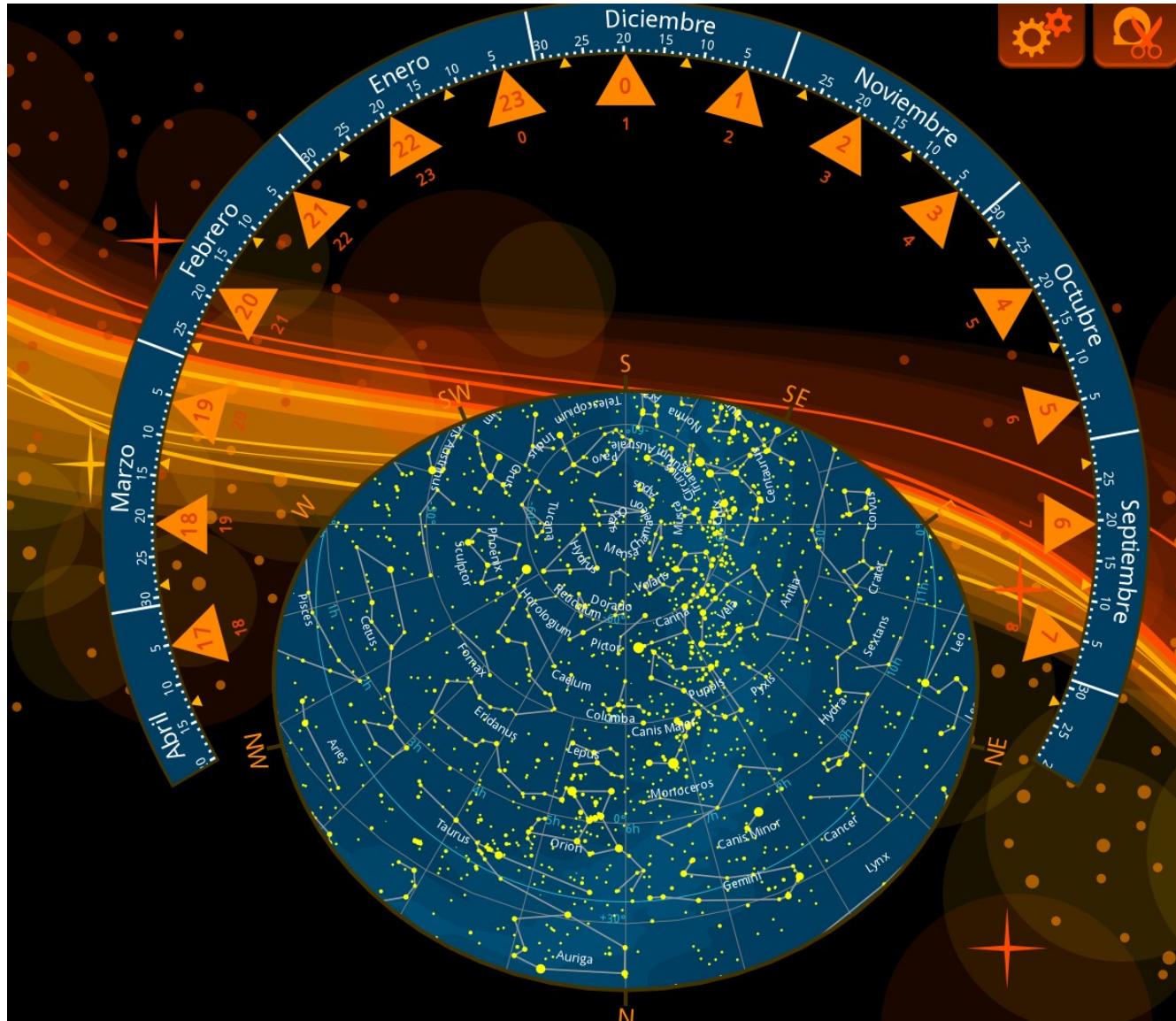




# En otras latitudes: +5



# En otras latitudes: -40





# Carta celeste

- <http://drifted.in/planisphere/>
- <http://drifted.in/planisphere-app/>
- Uso de la carta celeste:
  1. Determinar el tiempo local (¡reloj más o menos!)
  2. Encontrar los puntos cardinales en el lugar.
    - Mirando al Norte, el oriente está a la derecha
    - Mirando al Sur, el oriente está a la izquierda
  3. Se orienta la carta al polo celeste respectivo
  4. Se gira la parte móvil de manera que las estrellas aparezcan por el oriente y se pongan por el occidente



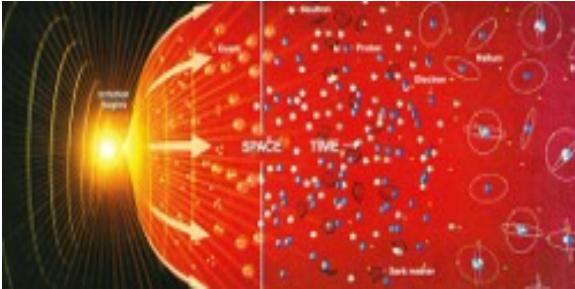
# Miremos al cielo...



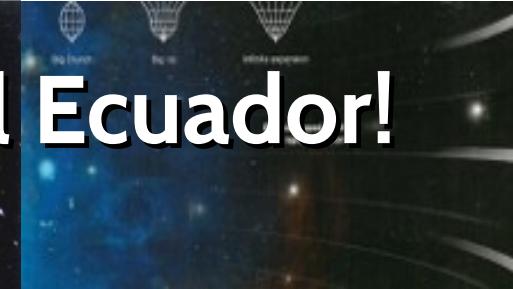


# Miremos al cielo... en el Norte!





# Miremos al cielo... en el Ecuador!





# Miremos al cielo... en el Sur!

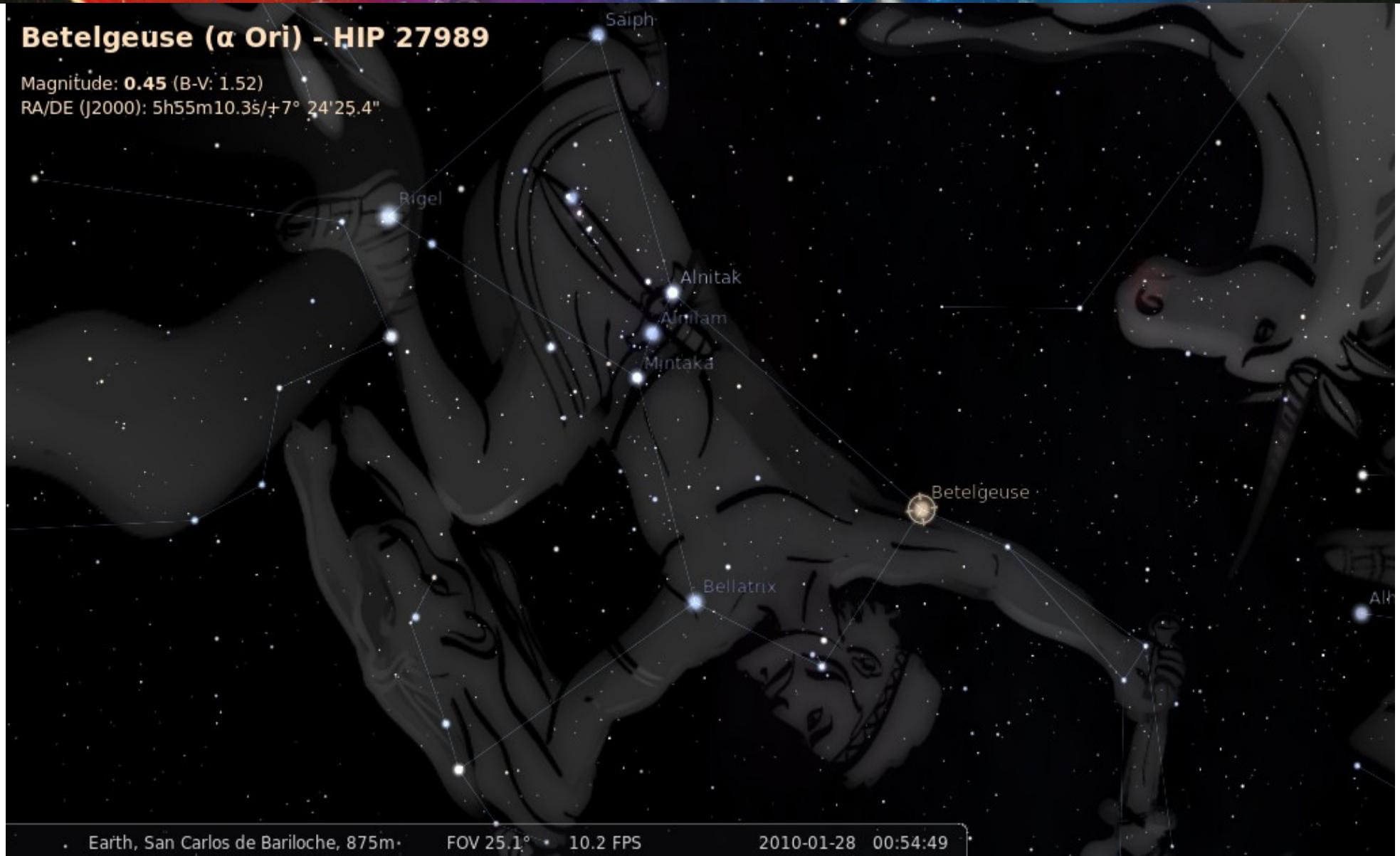


# Miremos al cielo... en el Sur!

## Betelgeuse ( $\alpha$ Ori) - HIP 27989

Magnitude: **0.45** (B-V: 1.52)

RA/DE (J2000): 5h55m10.35s /  $+7^{\circ} 24' 25.4''$



Earth, San Carlos de Bariloche, 875m

FOV 25.1° 10.2 FPS

2010-01-28 00:54:49

Saiph

Rigel

Nebulosa de Orion

Alnitak  
Alnilam  
Mintaka

Betelgeuse

Bellatrix





# No todas son iguales

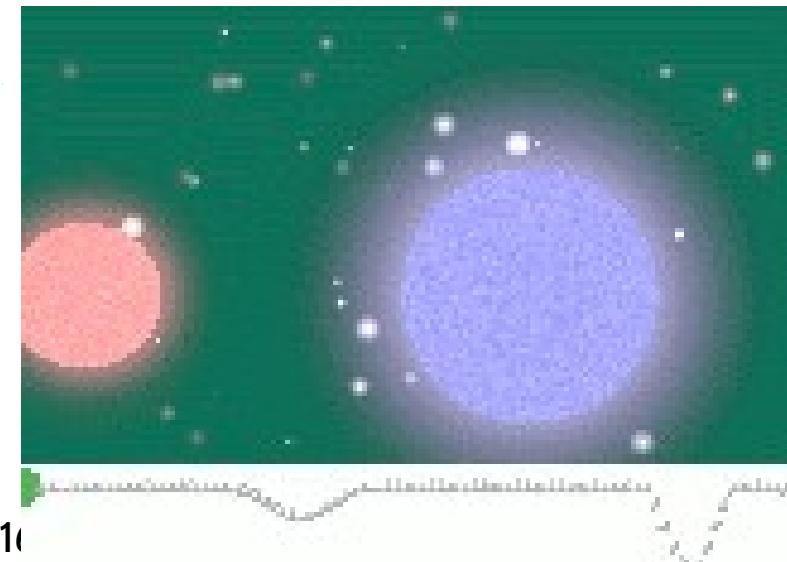
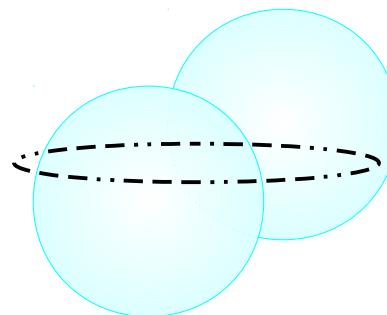
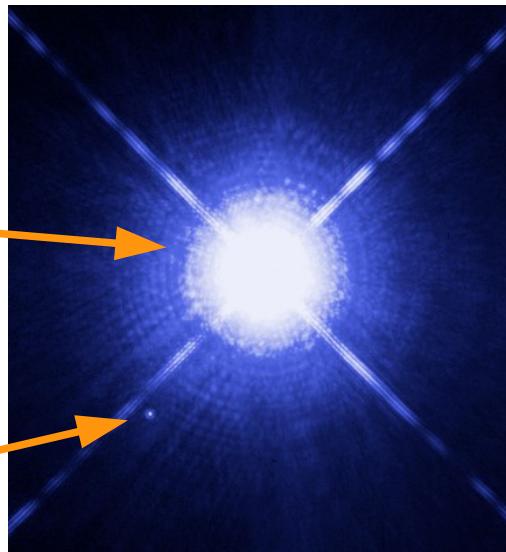
- Estado de evolución (edad)
- Temperatura
- Constitución inicial
- Masa
- **Energía emitida por unidad de tiempo: Luminosidad**
- Y además...

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

**No todas están a la misma distancia**

# Dos sistemas binarios

- Sistema Sirio ( $\alpha$ -CMa), 8.6 al
- Binaria (50.1a):  
Sirio A (A1), Sirio B(dA2)  
 $M=2 M_{\odot}$   $T=9900K$   
 $L=25 L_{\odot}$   $R=1.7R_{\odot}$
- Sistema Mintaka ( $\delta$ -Ori), 900 al
- Binaria Eclipsante(5.73d): Mintaka A (O9.5) y Mintaka B (B0.5)  
 $M=20M_{\odot}$   $T=33000K$   
 $L=90000 L_{\odot}$   $R=16R_{\odot}$



**Sin embargo, en el cielo...**



# Sin embargo, en el cielo...

Sirio (a-CMa)

Mintaka ( $\delta$ -Ori)

Betelgeuse ( $\alpha$ -Ori)

Proción (a-CMi)



# ¿Cuál les parece que es la diferencia?

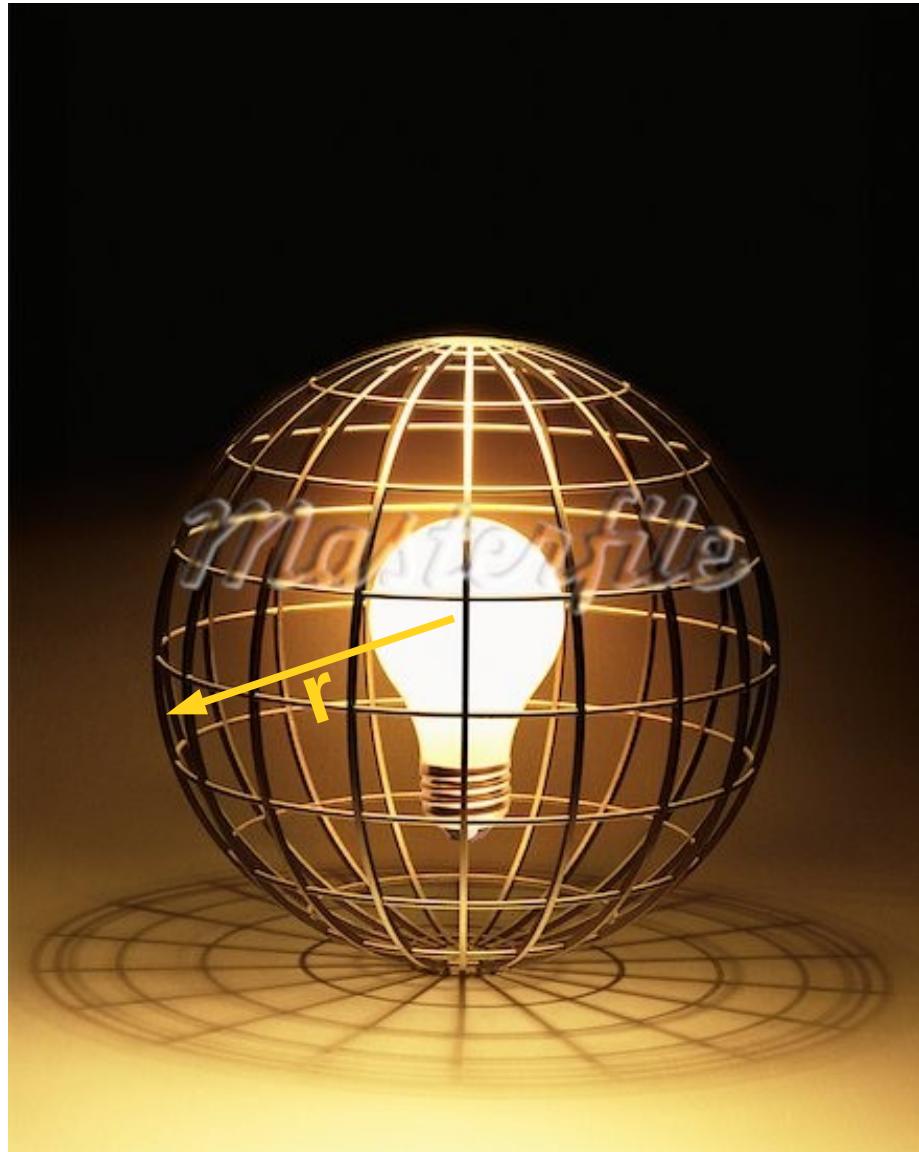
- Mintaka

$(2 \times 90000L_o / 25L_o) \sim 7000$  veces más luminosa que  
Sirio

- pero está

$(900\text{al} / 8.6\text{al}) \sim 100$  veces más lejos respecto a Sirio

# Cómo determinar la relación



- El Flujo se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo por unidad de área:

$$F \equiv \frac{\Delta E}{A(\Delta t)} = \frac{L}{A}$$

- El área de una esfera es

$$A = 4\pi r^2$$

- Entonces

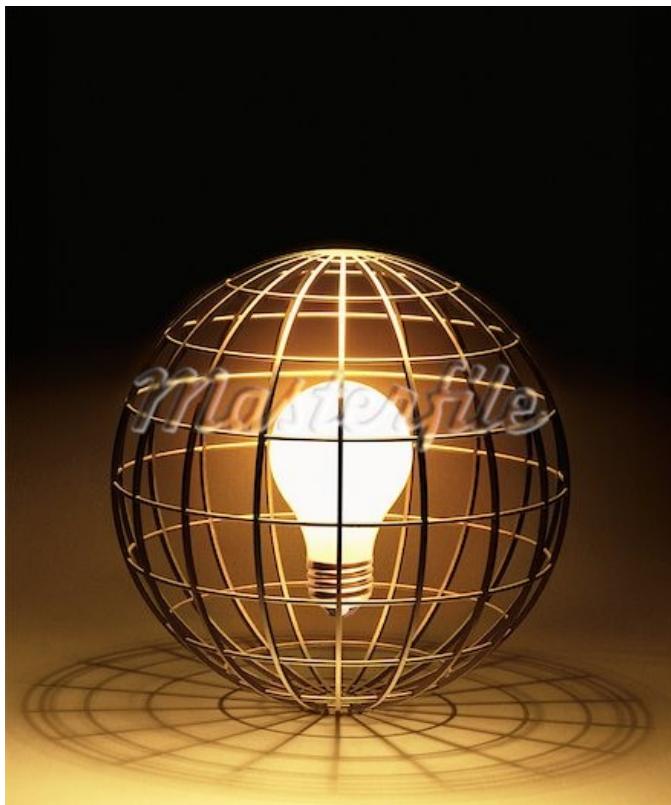
$$\Rightarrow F = \frac{L}{4\pi r^2}$$



# Constante solar

- Determine el flujo de energía solar sobre la superficie terrestre

Datos:  $L=3.84 \times 10^{26} \text{ J/s}$ ,  $r=1.5 \times 10^{11} \text{ m}$



$$\Rightarrow F = \frac{L}{4\pi r^2} = 1358 \text{ W m}^{-2}$$



# Flujo → Brillo



- El **flujo de energía en la banda visible** determina el **brillo visual del objeto**
- La sensibilidad del ojo es un concepto **subjetivo**
- Más brillante, igual de brillante, menos brillante ¿?

# Magnitud aparente



- **Magnitud aparente (m)**

- Brillo (b) de un cuerpo “visto” desde La Tierra
- Hiparco de Nicea (190AC-120AC) 850 est. ← Ptolomeo:  
Clasificó las estrellas en seis magnitudes:  
Magnitud 1: Top 20, Magnitud 6: Apenas visibles
- Norman Pogson (1829-1891):
  - Una estrella  $m=1(m_1)$  es 100 veces más brillante que una  $m=6(m_6)$

$$\frac{b_1}{b_6} = 100$$

- ¿Cómo se relacionan entre sí?

# Relación entre magnitudes

- Conviene usar un factor uniforme  $k$ :

$$\frac{b_1}{b_6} = 100 \rightarrow \frac{b_1}{b_2} = k, \frac{b_2}{b_3} = k, \dots \rightarrow b_1 = k b_2, b_2 = k b_3 \dots$$

- Entonces,

$$b_1 = (k k k k k) b_6 \rightarrow \frac{b_1}{b_6} = k^5$$

Finalmente,

$$k^5 = 100 \rightarrow k = \sqrt[5]{100} = 2.51189 \rightarrow k \approx 2.5$$

Una estrella de brillo  $b_1$  es  
dos veces y media más brillante  
que una estrella de brillo  $b_2$

$$b_i \approx 2.5 b_{i+1}$$



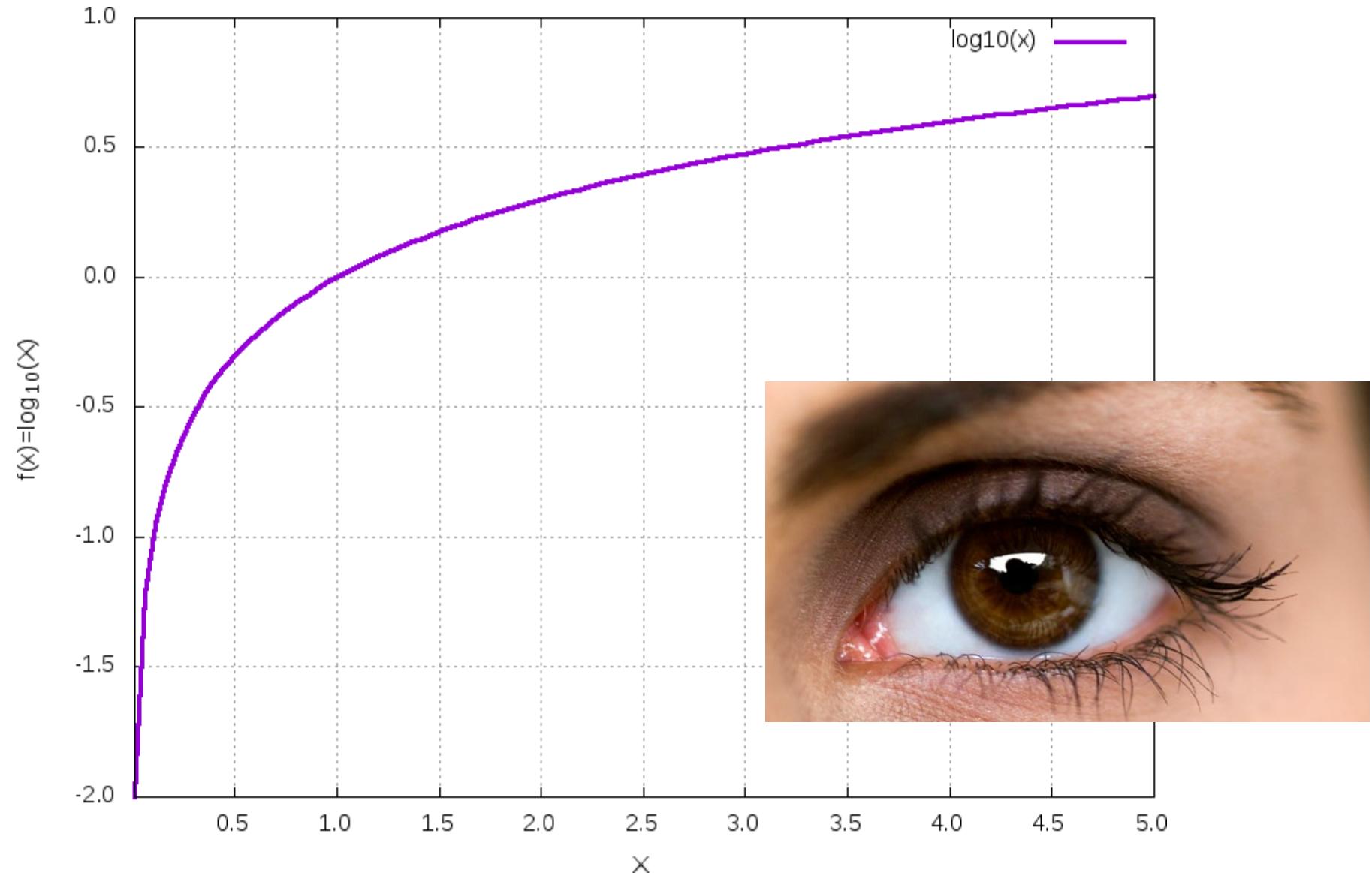
# Relación entre brillo y magnitud

- Ahora
  - a la estrella con brillo  $b_1$  le asignamos magnitud  $m_1$
  - a la estrella con brillo  $b_2$  le asignamos magnitud  $m_2$
- ¿Cómo se relaciona el factor de brillo con la diferencia en magnitudes?

$$\text{¿ } (m_1 - m_2) \leftrightarrow b_1/b_2?$$

- La respuesta del ojo es logarítmica:

# Logaritmo base 10: $f(x) = \log_{10}(x)$



# Relación entre brillo y magnitud

- Proponemos

$$\left( \frac{b_1}{b_2} \right) = 2.5 \rightarrow \left( \frac{b_i}{b_j} \right) = 2.5^{(m_j - m_i)}$$

- Si,  $m_i = m_j \rightarrow m_i - m_j = 0 \rightarrow b_i = b_j$
- Si,  $m_i = m_j + 1 \rightarrow m_i - m_j = 1 \rightarrow b_i = 2.5 b_j$
- Si,  $m_i = m_j - 1 \rightarrow m_i - m_j = -1 \rightarrow b_i = b_j / 2.5$
- Despejando, se puede verificar que:

$$\left( \frac{b_i}{b_j} \right) = 2.5^{(m_j - m_i)} \rightarrow (m_i - m_j) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{b_i}{b_j} \right)$$



# ¿Es cierto? Veamos

Supongamos dos estrellas,  $m_i = 1$  y  $m_j = 6$

$$m_i - m_j = -2.5 \log_{10}(b_i/b_j)$$

$$\rightarrow -5 = -2.5 \log_{10}(b_i/b_j)$$

$$(-5/-2.5) = \log_{10}(b_i/b_j)$$

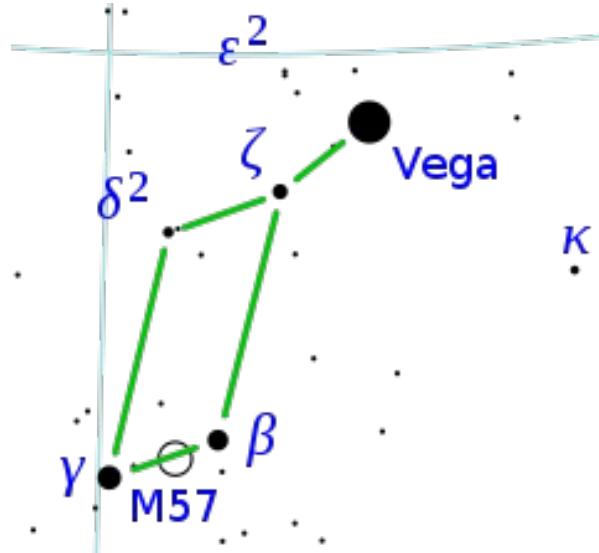
$$2 = \log_{10}(b_i/b_j)$$

$$10^2 = b_i/b_j$$

$$b_i = 100 b_j$$

**La estrella i es 100 veces más brillante que la estrella j**

# Cuando comparamos necesitamos referencias



- La escala de magnitudes es **comparativa**
- Es necesario establecer una referencia (brillo)
- **Referencia de magnitud: Estrella Vega ( $\alpha$ Lyr),  $m=0$**
- Vega, AO, blanca



# Escala moderna

-26.73 Sol (449000 veces la Luna)

-12.6 Luna llena

-6.0 Supernova del Cangrejo (SN 1054)

-4.7 Venus (máximo)

-3.0 Marte (máximo)

-1.47 Sirio (estrella más brillante)

-0.7 Canopus (2da estrella)

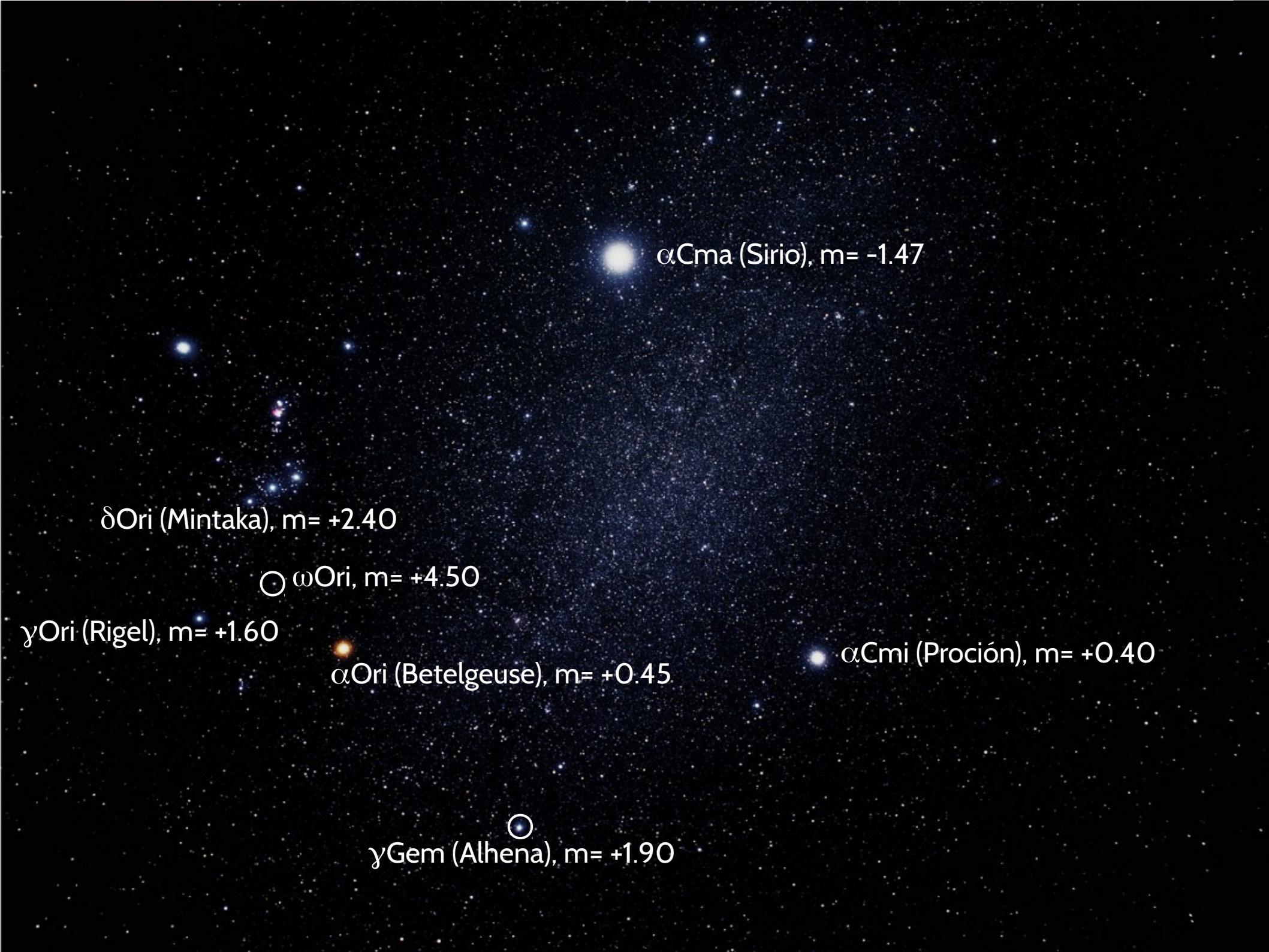
0 Vega (definición moderna)

+3 Estrellas más débiles en una ciudad

+4.6 Ganímides (Luna de Júpiter)

+6 límite de visibilidad del ojo

+30 estrellas más débiles observadas (Telescopio espacial Hubble)



$\alpha$ Cma (Sirio), m= -1.47

$\delta$ Ori (Mintaka), m= +2.40

$\omega$ Ori, m= +4.50

$\gamma$ Ori (Rigel), m= +1.60

$\alpha$ Ori (Betelgeuse), m= +0.45

$\alpha$ Cmi (Proción), m= +0.40

$\gamma$ Gem (Alhena), m= +1.90



# Pero... “no todas están a la misma distancia”

- El brillo se relaciona con el flujo, y el flujo es
  - Proporcional a la luminosidad
  - Inversamente proporcional a la distancia al cuadrado
- ¿Cómo cambia la magnitud aparente de una estrella si multiplico por 10 su distancia?

# Pero... “no todas están a la misma distancia”

- Decuplicar distancia: flujo  $\rightarrow$  flujo/100 y brillo  $\rightarrow$  brillo/100

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{b_{\text{nueva}}}{b_{\text{vieja}}} \right)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{b_{\text{vieja}}/100}{b_{\text{vieja}}} \right)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{1}{100} \right)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \times (-2)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = 5$$

$$m_{\text{nueva}} = m_{\text{vieja}} + 5$$

# Pero... “no todas están a la misma distancia”

- Decuplicar distancia: flujo  $\rightarrow$  flujo/100 y brillo  $\rightarrow$  brillo/100

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{b_{\text{nueva}}}{b_{\text{vieja}}} \right)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{b_{\text{vieja}}/100}{b_{\text{vieja}}} \right)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{1}{100} \right)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \times (-2)$$

$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = 5$$

$$m_{\text{nueva}} = m_{\text{vieja}} + 5$$

**Si aumento 10 veces la distancia de una estrella, su brillo disminuye 100 veces, y su magnitud aumenta en 5  
Si era  $m=1$ , pasa a  $m=6$**



# Magnitud absoluta

- **Magnitud absoluta  $M$ , es la magnitud aparente que tendría una estrella si su distancia fuera de 10pc**

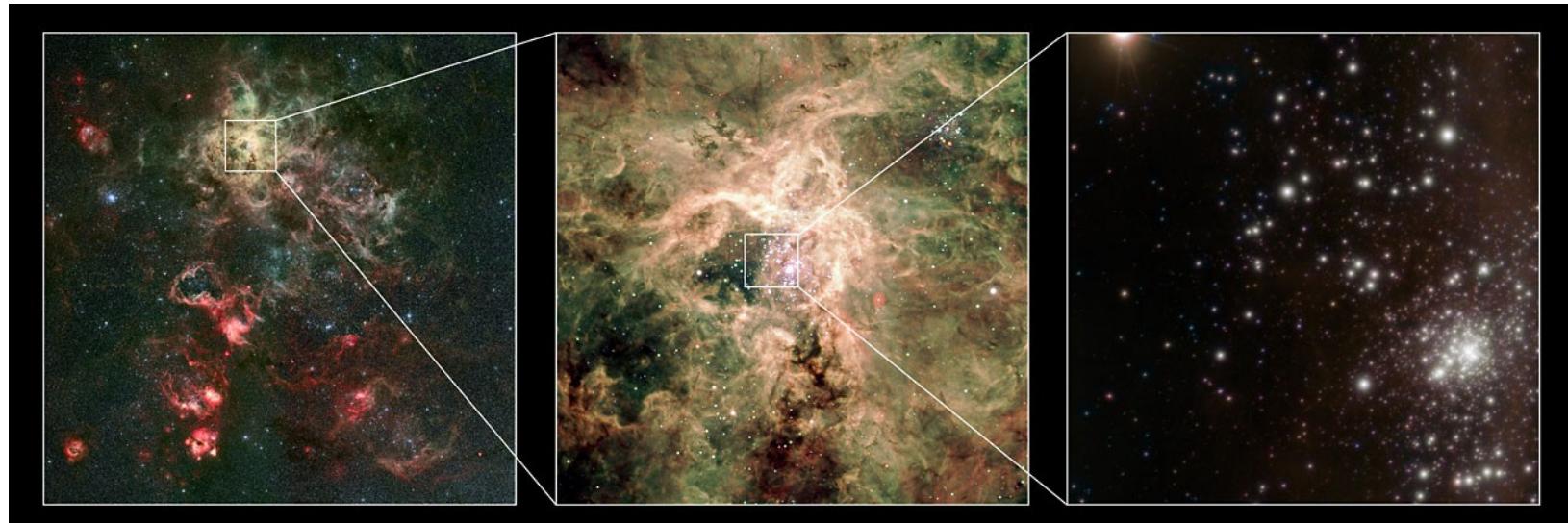
- Relación con la magnitud aparente  $m$  y la distancia  $d$ : (medida en parsecs):

$$M = m - 5 \left( \log_{10}(d) - 1 \right)$$

- P.ej.: Si  $d=10$  pc,  $M = m - 5 [1-1] = m - 5(0) = m$
- Magnitudes absolutas y aparentes:
  - Sol:  $m=-26.73$ ,  $M=4.75$
  - Mintaka ( $\delta$ Ori):  $m=2.4$ ,  $M=-4.84$
  - Sirio (aCMa):  $m=-1.45$ ,  $M=1.44$

# La estrella más brillante

- R136a1 es la estrella más masiva y brillante conocida
  - Masa ~ 265 Masas solares
  - Luminosidad ~ 8.7 millones de luminosidades solares
  - Forma parte del supercúmulo estelar 30 Doradus (Nebulosa Tarántula)
  - Se encuentra en la Gran Nube de Magallanes, a 165000 al (~50000 pc)





# R136a1



- $m=12.28$ ,  $M= -12.6$
- ¡Si  $d=10$  pc (32.6 al) brillaría tanto como la Luna llena!!
- Las más brillantes
  - [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_most\\_luminous\\_known\\_stars](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_most_luminous_known_stars)