



# Universidad Nacional de Río Negro

## Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2016

- **Unidad** 02 – Astrofísica
- **Clase** 0201 – 06/16
- **Fecha** 15 Sep 2016
- **Cont** Estrellas 1
- **Cátedra** Asorey
- **Web** [github.com/asoreyh/unrn-ipac](https://github.com/asoreyh/unrn-ipac)
- **Youtube** próximamente
- **Archivo** a-2016-U02-C01-0915-estrellas



# Contenidos: un viaje en el tiempo

## HOW DID OUR UNIVERSE BEGIN?

Some 13.8 billion years ago our entire visible universe was contained in an unimaginably hot, dense point, a billion times the size of a nuclear particle. Since then it has expanded—a lot—fighting gravity all the way.

**Inflation**  
The universe expands, cools a repulsive energy field inflates space faster than light fills it with a soup of subatomic particles called quarks.

**Age:**  $10^{-3}$  milliseconds  
**Size:** Infinitesimal to golf ball

**Early building blocks**  
Quarks clump into protons and neutrons, creating blocks of atomic nuclei. Perhaps dark matter forms.

**Age:** .01 milliseconds  
**Size:** 0.1-millionth present size

**First nuclei**  
As the universe continues to cool, the lightest nuclei of hydrogen and helium arise. A thick fog of particles blocks all light.

**Age:** .01 to 200 seconds  
**Size:** 1-billionth present size

**First atoms, first light**  
As electrons begin orbiting nuclei, creating atoms, the glow from their infalling orbits is unveiled. This light is as far back as our instruments can see.

**Age:** 380,000 years  
**Size:** .0009 to 0.1 present size

**The “dark ages”**  
For 300 million years this collection of gas and dust is the only light. Clumps of matter that will become galaxies glow brightest.

**Age:** 380,000 to 300 million years  
**Size:** .0009 to 0.1 present size

**Gravity wins: first stars**  
Dense gas clouds collapse under their own gravity. Isolated of dark matter, they eventually form galaxies and stars. Galaxies glow brightest.

**Age:** 300 million years  
**Size:** 0.1 present size

**Antigravity wins**  
After being slowed for billions of years, gravity, cosmic expansion accelerates again. The culprit: dark energy. Its nature: unclear.

**Age:** 10 billion years  
**Size:** .77 present size

**Today**  
The universe continues to expand, becoming ever less dense. As a result, fewer new stars and galaxies are forming.

**Age:** 13.8 billion years  
**Size:** Present size

## COSMIC QUESTIONS

In the 20th century the universe became a story—a scientific one. It had always been seen as static and eternal. Then astronomers observed other galaxies flying away from ours, and Einstein's general relativity theory implied space itself was expanding—which meant the universe had once been dented. What had seemed eternal now had a beginning and an end. But what beginning? What end? Those questions are still open.

## 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 23 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.



## WHAT IS THE SHAPE OF OUR UNIVERSE?

Einstein discovered that a star's gravity curves space around it. But is the whole universe curved? Might space close up on itself like a sphere or curve the other way, opening out like a saddle? By studying cosmic background radiation, scientists have found that the universe is poised between the two: just dense enough with just enough gravity to be almost perfectly flat, at least the part we can see. What lies beyond we can't know.



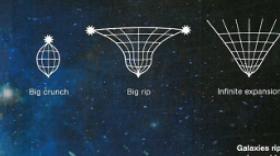
## Unidad 2 Astrofísica Cálido y frío

### 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 quantum energy fluctuations. Inflation theory suggests universes 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.

## HOW WILL IT END?

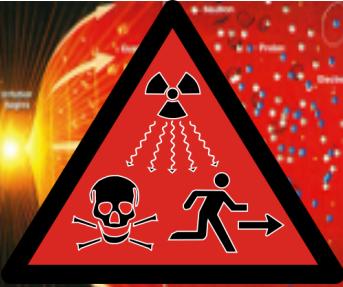
Which will win in the end, gravity or antigravity? Is the density of matter enough for gravity to halt or even reverse cosmic expansion, leading to a big crunch? It seems unlikely—especially given the power of dark energy, a kind of antigravity. Perhaps the acceleration in expansion caused by dark energy will trigger a big rip that shreds everything, from galaxies to atoms. If not, the universe may expand for hundreds of billions of years, long after all stars have died.



## Unidad 1 Partículas 1 todo es relativo



By through the universe on  
our digital edition.  
ILLUSTRATION: RICHARD HARRIS  
ART: MONTAGNE DESIGNS  
SOURCES: CHARLES BENNETT, JOHN  
HUCHENCOVICH, ANDREW LISTER,  
UNIVERSITY OF CHICAGO  
CONTRIBUTOR: ROBERT KAPPAUS/NATIONAL  
GEOGRAPHIC SOCIETY



# Ley de Decaimiento exponencial

- Ocurre con una **tasa de decaimiento constante  $\lambda$**

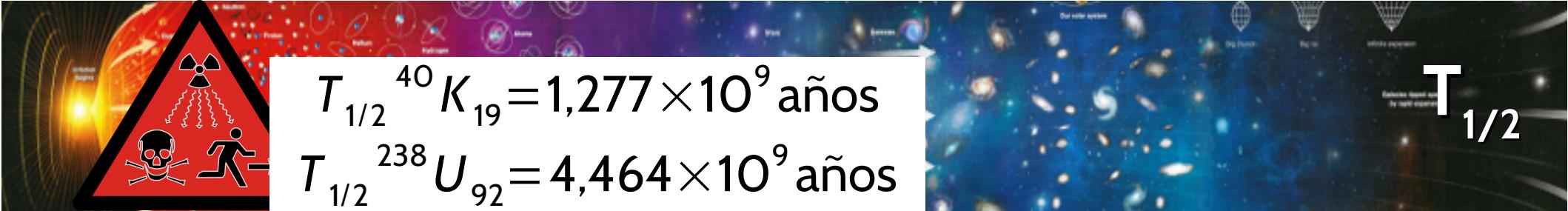
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad [\lambda] = s^{-1}$$

- A partir de  $\lambda$ , definimos la **vida media  $\tau$**

$$\tau \equiv \frac{1}{\lambda} \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\tau] = s$$

- Y además, el **período de semi-desintegración**, como el **tiempo que debe transcurrir para que la cantidad del elemento en una muestra se reduzca a la mitad**

$$T_{1/2} \text{ es tal que } N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}}$$
$$\Rightarrow T_{1/2} = \ln(2) \tau$$

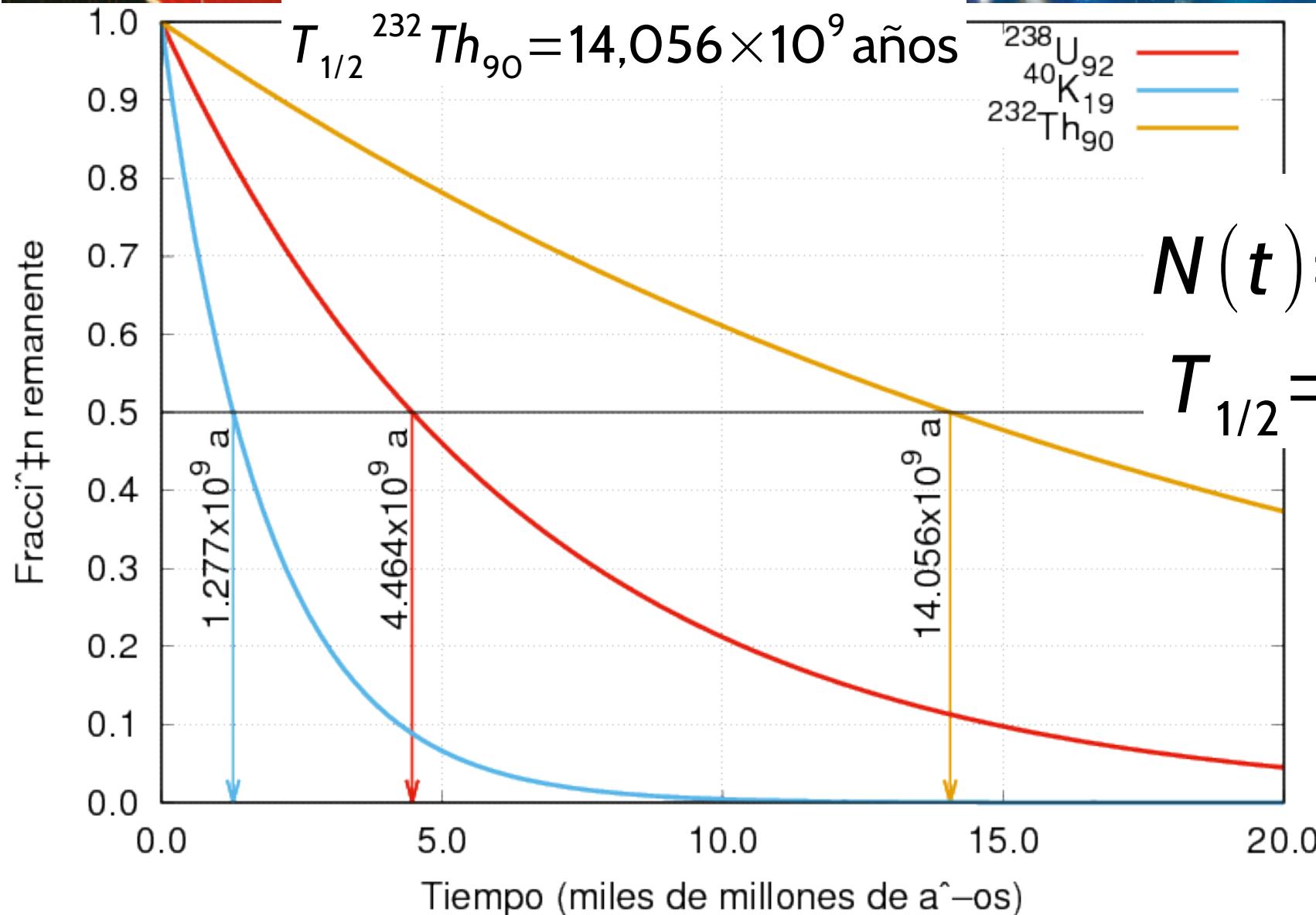


$$T_{1/2}^{40}K_{19} = 1,277 \times 10^9 \text{ años}$$

$$T_{1/2}^{238}U_{92} = 4,464 \times 10^9 \text{ años}$$

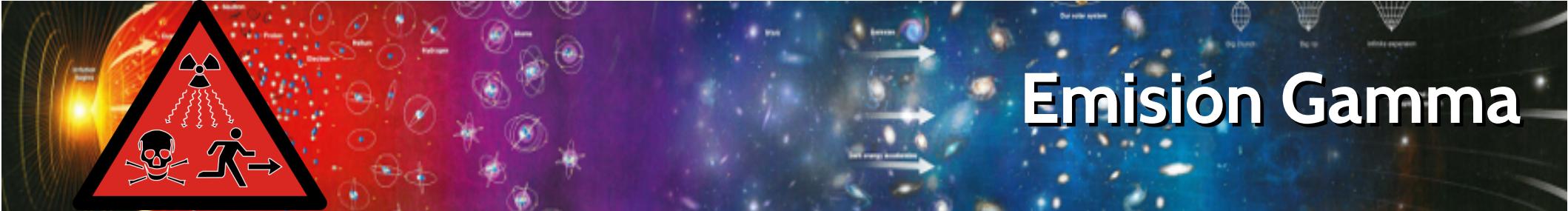
$$T_{1/2}^{232}Th_{90} = 14,056 \times 10^9 \text{ años}$$

$^{238}U_{92}$   
 $^{40}K_{19}$   
 $^{232}Th_{90}$



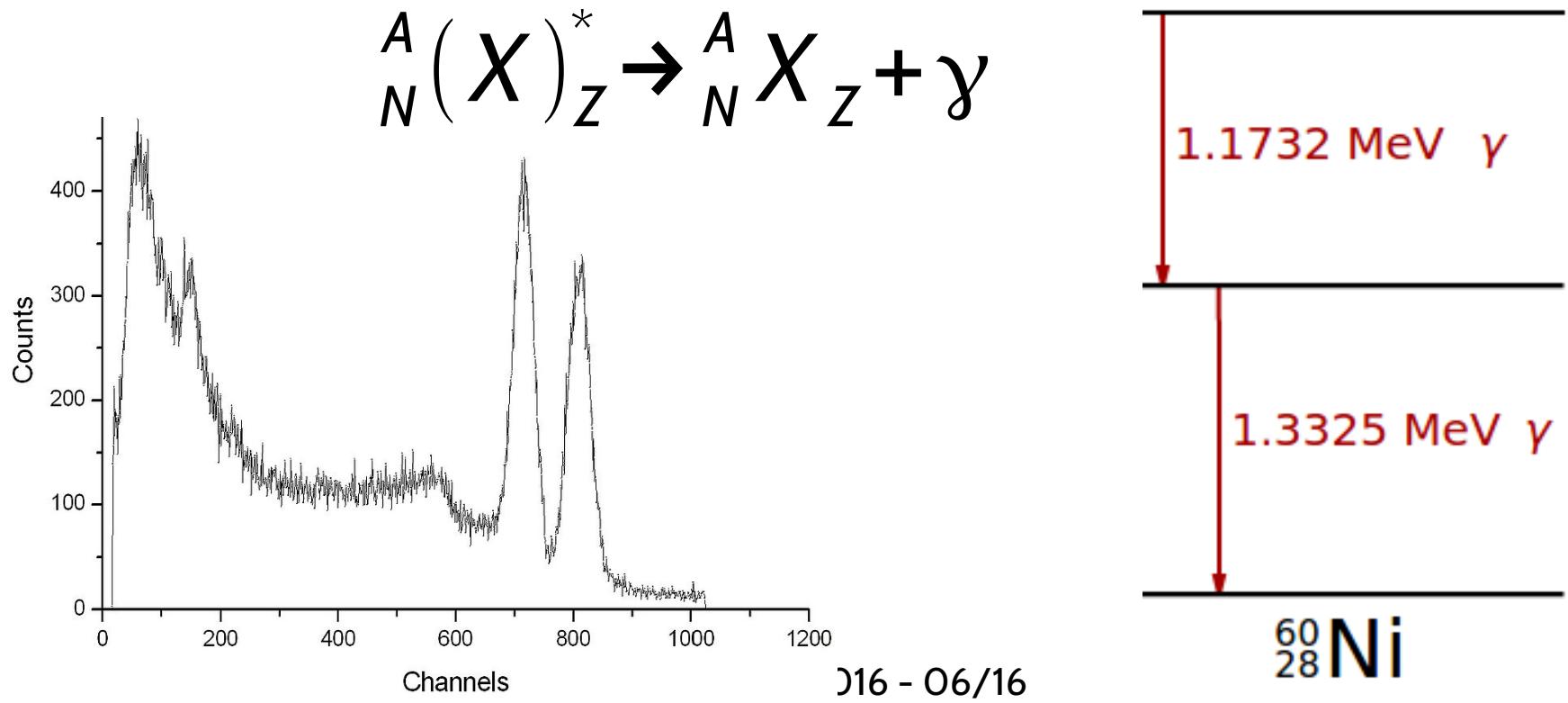
$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

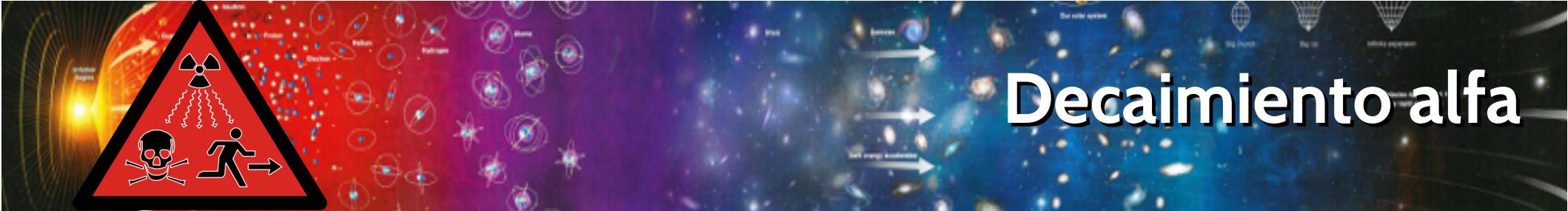
$$T_{1/2} = \ln(2)\tau$$



# Emisión Gamma

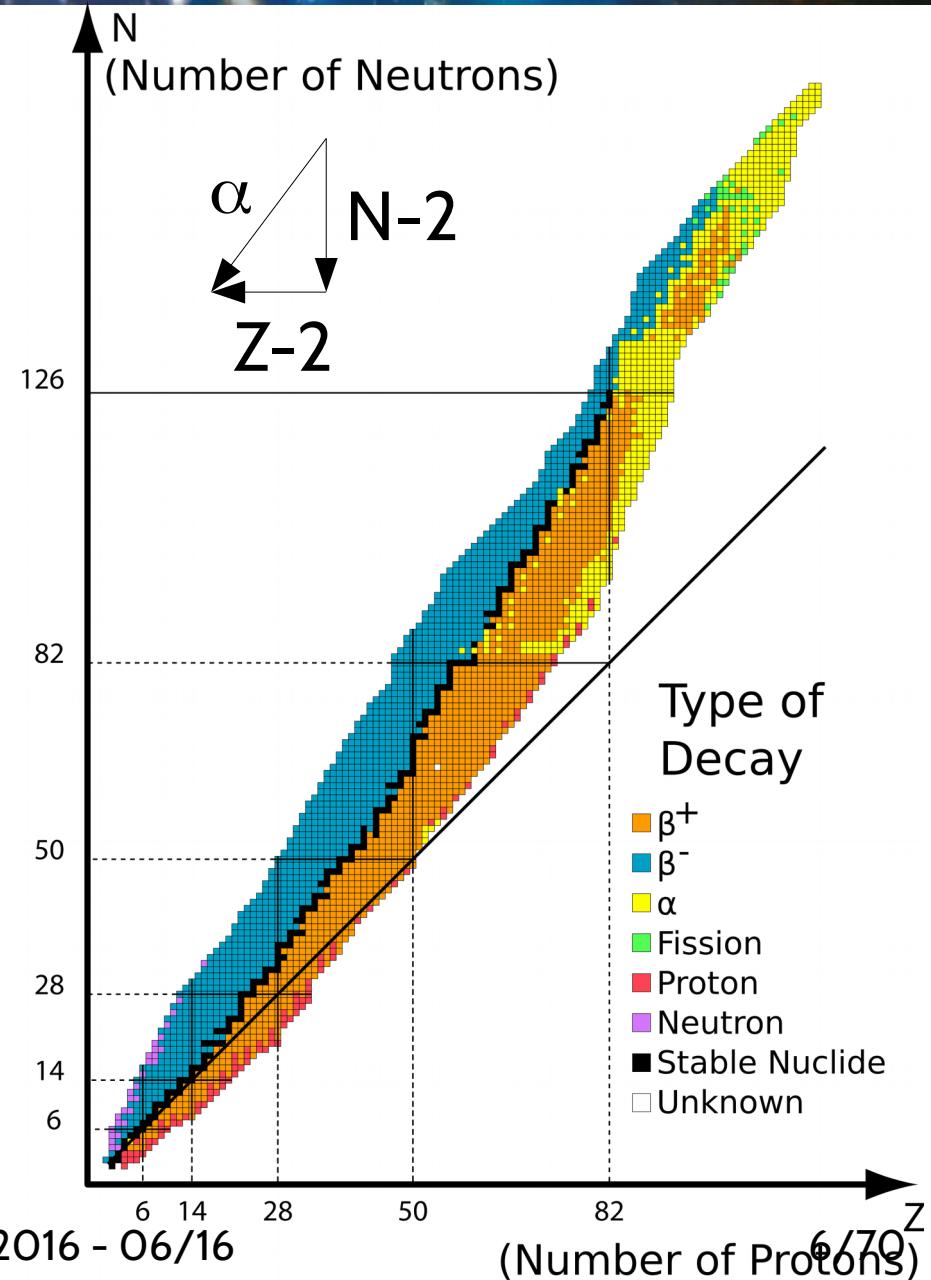
- El núcleo tiene niveles de energía
- El núcleo en un estado excitado se desexcita a través de la emisión de un fotón (gamma) con energía igual a la diferencia de energía entre los estados inicial y final

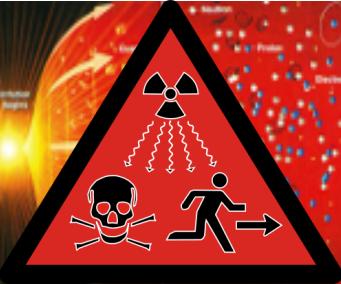




# Decaimiento alfa

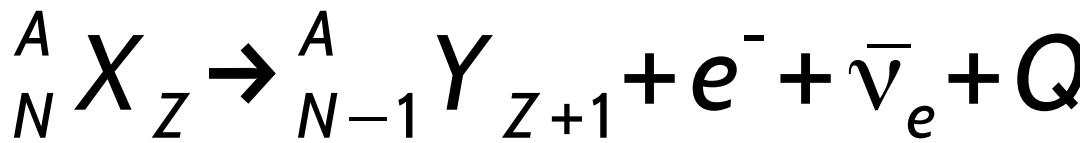
- Corresponde a la emisión espontánea de un núcleo de Helio  ${}^4\text{He}_2$  (partícula alfa, 2 neutrones, 2 protones)
- El núcleo pierde dos protones  $\rightarrow$  otro elemento!



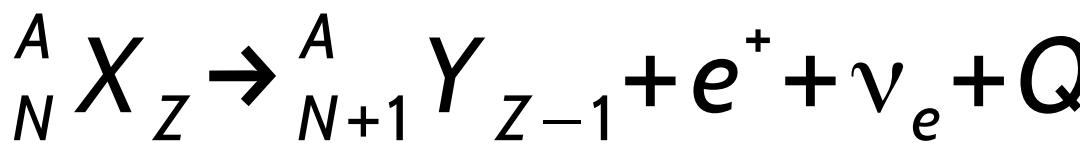


# Decaimiento beta

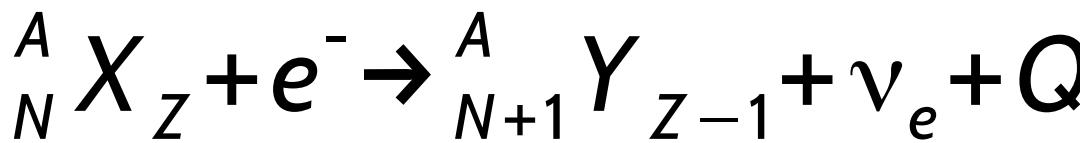
- $\beta^-$ : emisión de un electrón



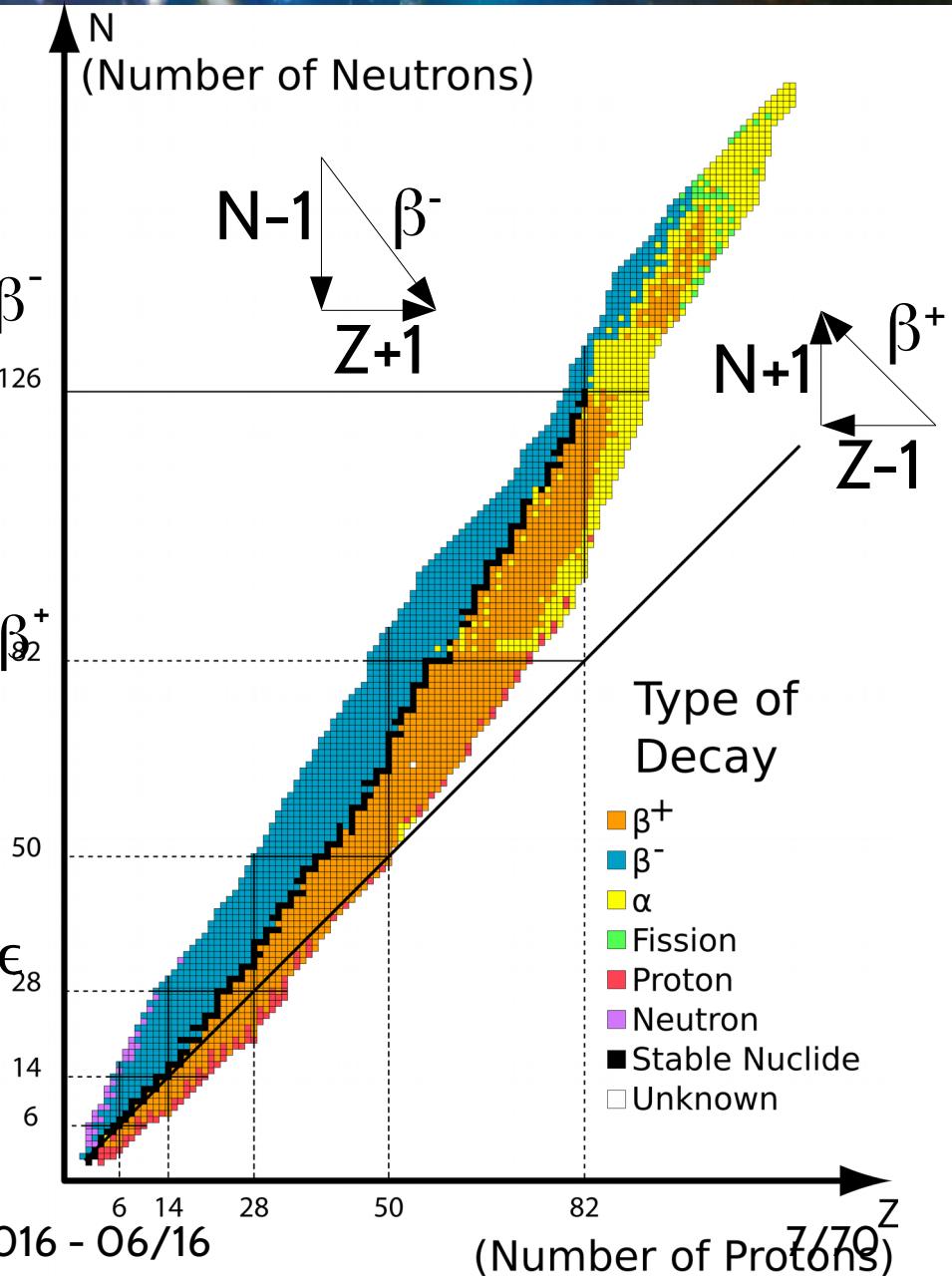
- $\beta^+$ : emisión de un **positrón**



- **ε: captura electrónica**



- ## • ¿Qué es $v_e$ ?



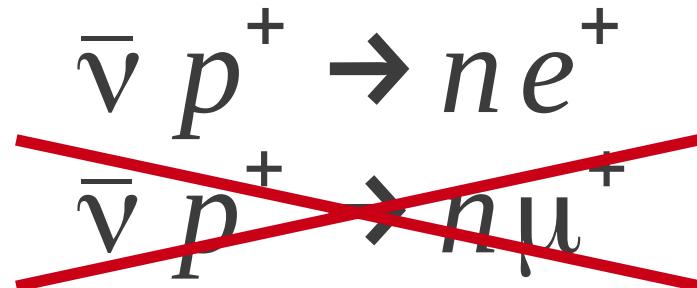
# Probemos esto

- Sección eficáz neutrinos

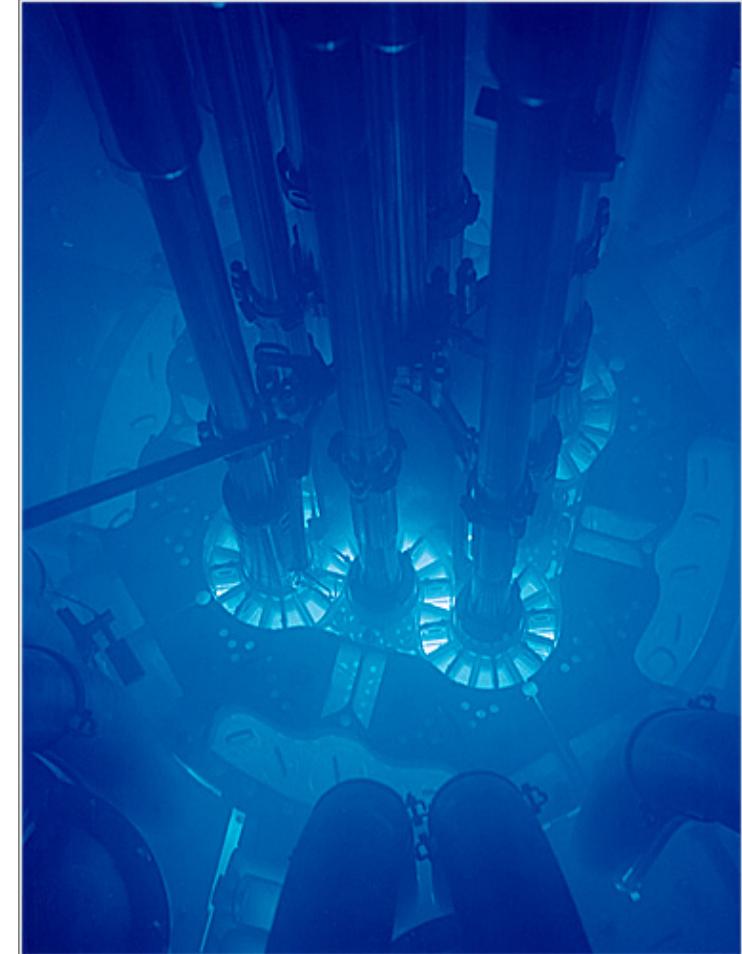
$$\sigma_\nu \simeq 10^{-44} \text{ cm}^2$$

~250 años luz de agua ( $\sim 2 \times 10^{20}$  cm)

- Usemos  $10^{20}$  neutrinos en 1 cm de agua

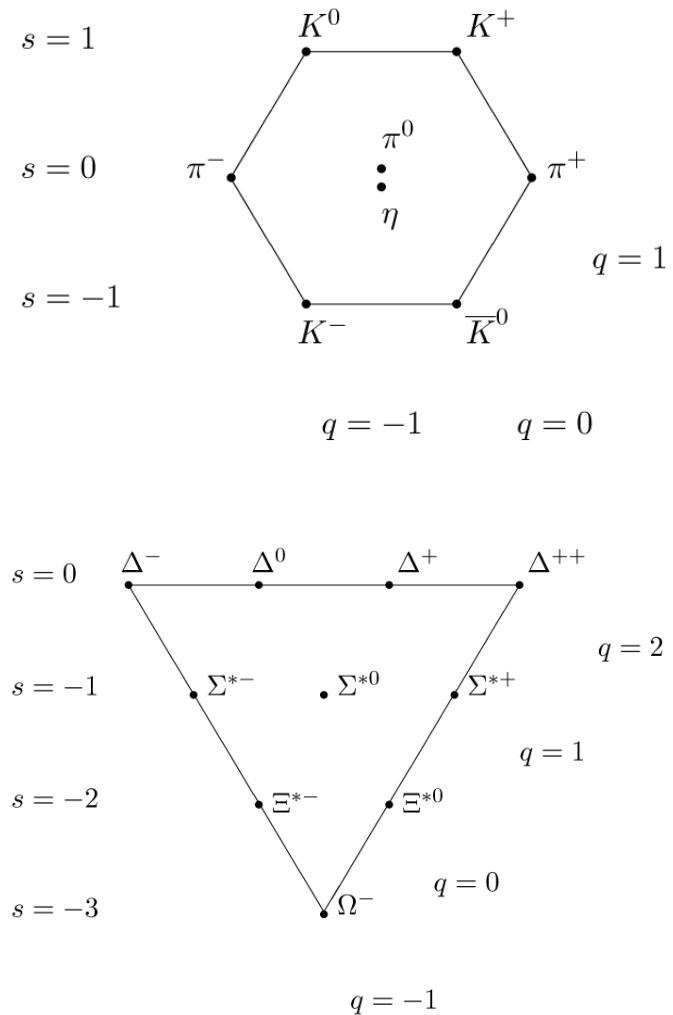


- Tiempos “largos”: Corto alcance. Interaccion Débil



# Los hadrones no pueden ser elementales

- Luego, debe haber partículas más simples
- Modelo octuple (Gell-mann, 1961)
- Quarks:
  - Se combinan para formar los hadrones
  - Tienen carga fraccionaria
  - Dos por familia



# Quarks, primera generación

- Hadrones:
  - 3 quarks: bariones
  - 2 quarks: mesones
- Primera generación
  - “up” y “down”
    - Carga eléctrica
      - u: +2/3 e
      - d: -1/3 e
    - masa
      - $m_u$ : 1.7-3.3 MeV
      - $M_d$ : 4.1-5.8 MeV

- Bariones:

$$p : (uud)$$

$$n : (udd)$$

$$\bar{p} : (\bar{u} \bar{u} \bar{d})$$

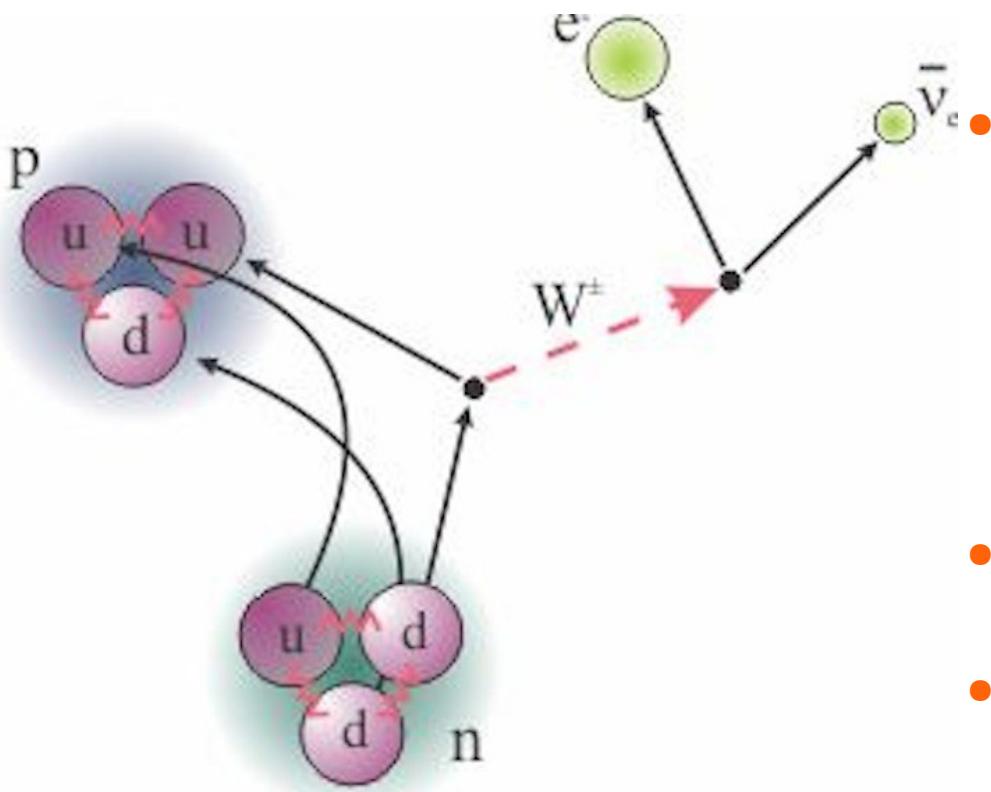
- Mesones:

$$\pi^+ : (u \bar{d})$$

$$\pi^- : (\bar{u} d)$$

$$\pi^0 : (u \bar{u} + d \bar{d})$$

# Entonces el decaimiento beta...



- Mediada por una interacción débil
- En el n<sup>o</sup>, (*udd*), uno de los quarks  $d^{-1/3}$  del neutrón cambia a  $u^{+2/3}$  emitiendo un bosón  $W^-$ .
- Ahora es un protón p<sup>+</sup> (*uud*)
- El bosón  $W^-$  decae en un electrón y un antineutrino electrónico



# Quarks, the next generation

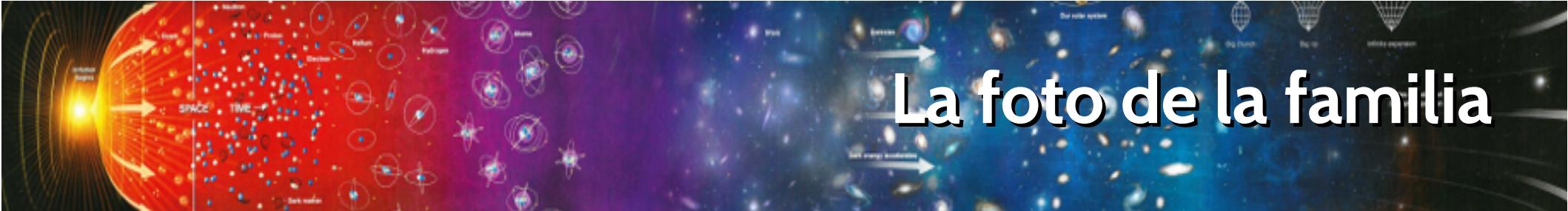
- Segunda generación

- “charm” y “strange”
  - Carga eléctrica
    - c: +2/3 e
    - s: -1/3 e
  - masa
    - $m_c: (1.27 \pm 0.07) \text{ GeV}$
    - $m_s: (101 \pm 29) \text{ MeV}$

- Tercera generación

- “top” y “bottom”
  - Carga eléctrica
    - t: +2/3 e
    - b: -1/3 e
  - masa
    - $m_t: (172 \pm 2) \text{ GeV}$
    - $M_b: (4.19 \pm 0.18) \text{ GeV}$





# La foto de la familia

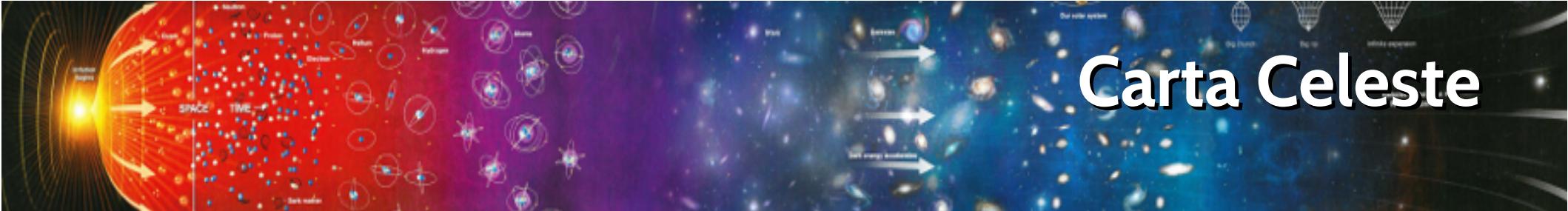
THE STANDARD MODEL

Fermions				Bosons	Force carriers
Quarks	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	$\gamma$ photon	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	Z Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	W W boson	
	e electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	g gluon	

\*Yet to be confirmed

Higgs  
boson\*

Source: AAAS



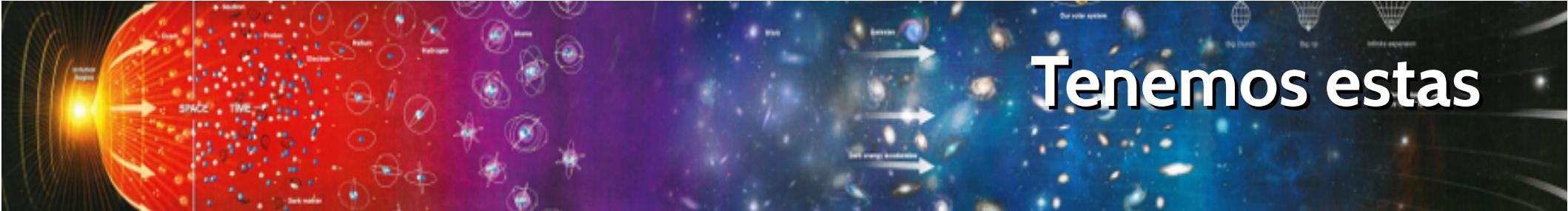
# Carta Celeste

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

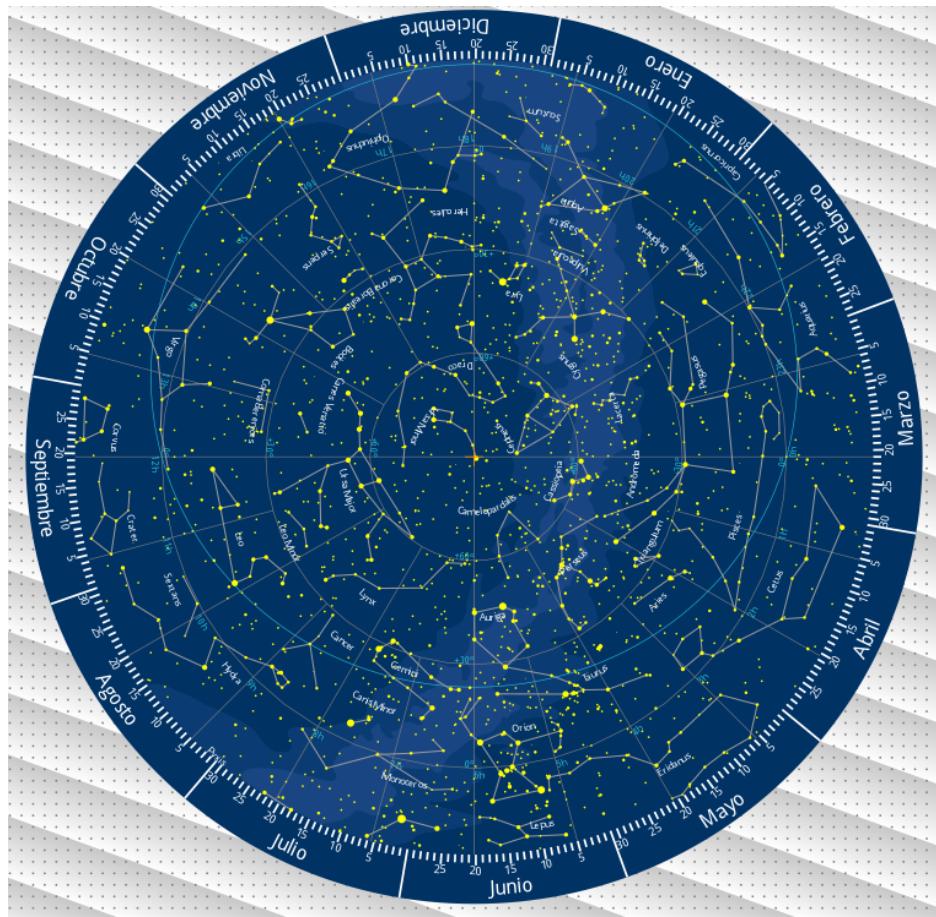


Quiero una de estas



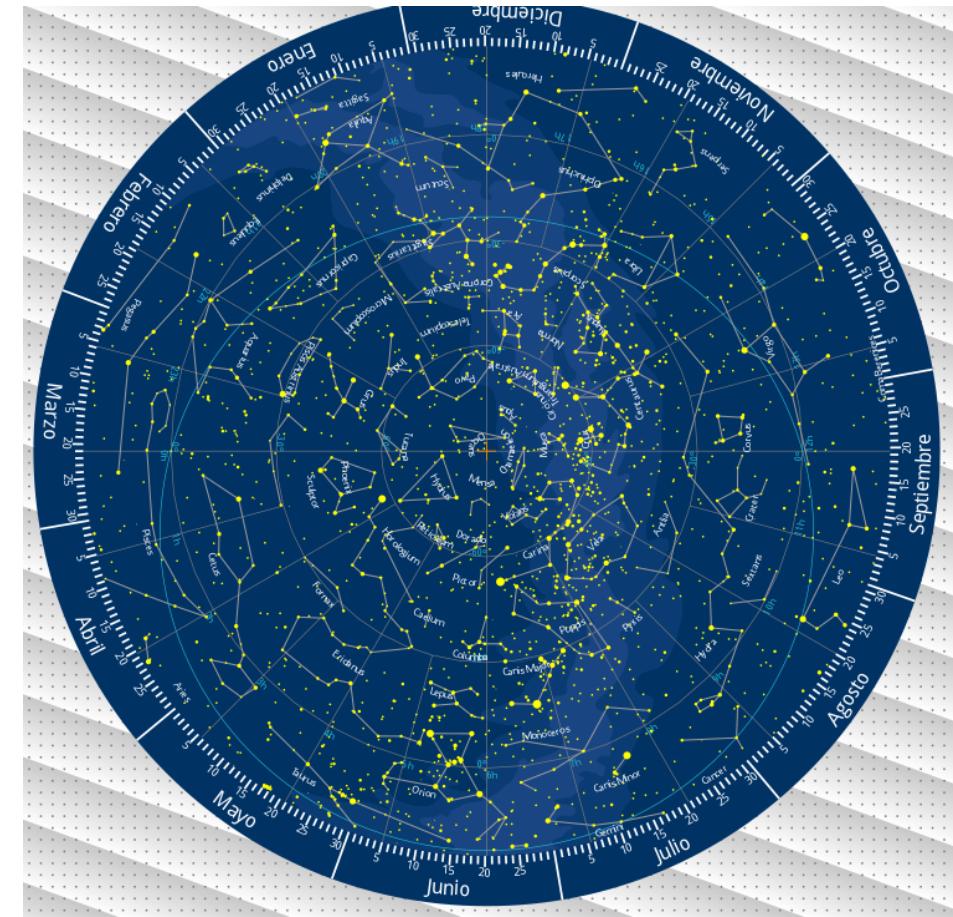


# Tenemos estas



Hemisferio Norte Celeste

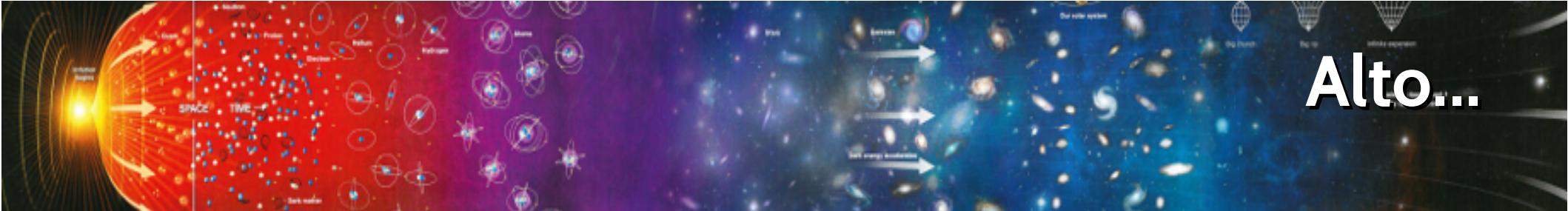
Sep 15, 2016



Hemisferio Sur Celeste

H. Asorey - IPAC 2016 - 06/16

16/70



# Alto...

- Dos problemas:

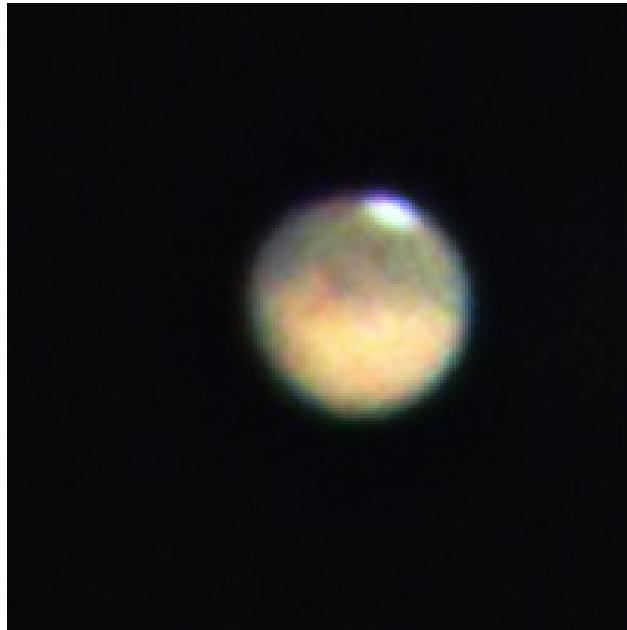
- ¿Los planetas?
  - Planeta = errante, ya que los planetas presentan movimientos propios respecto a la esfera celeste
  - Los planetas están cerca de la eclíptica y “no titilan”

# Planetas

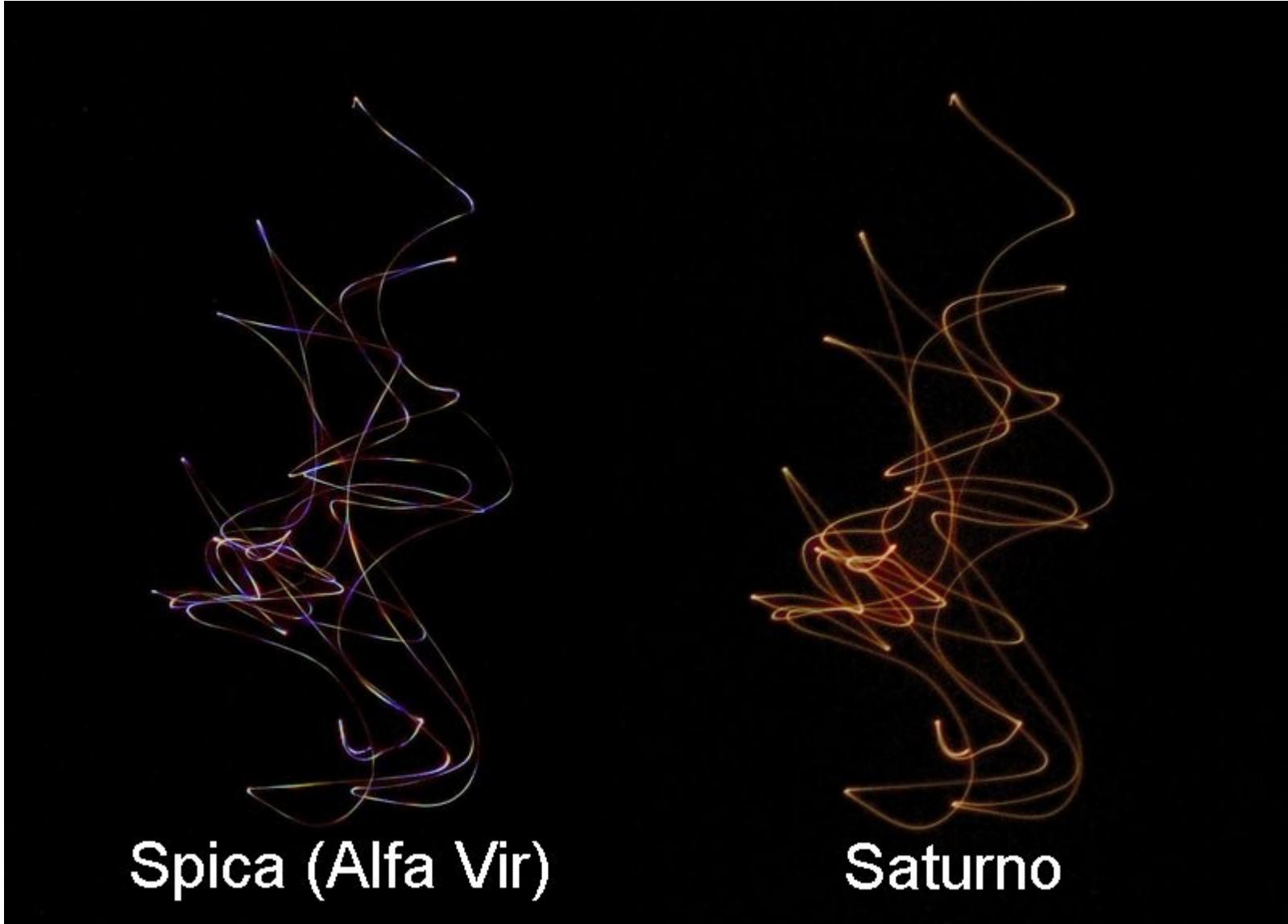
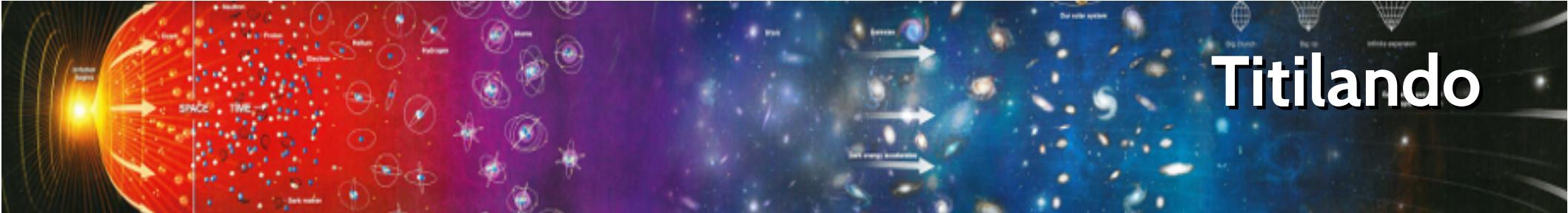


- Planetas

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



# Titilando



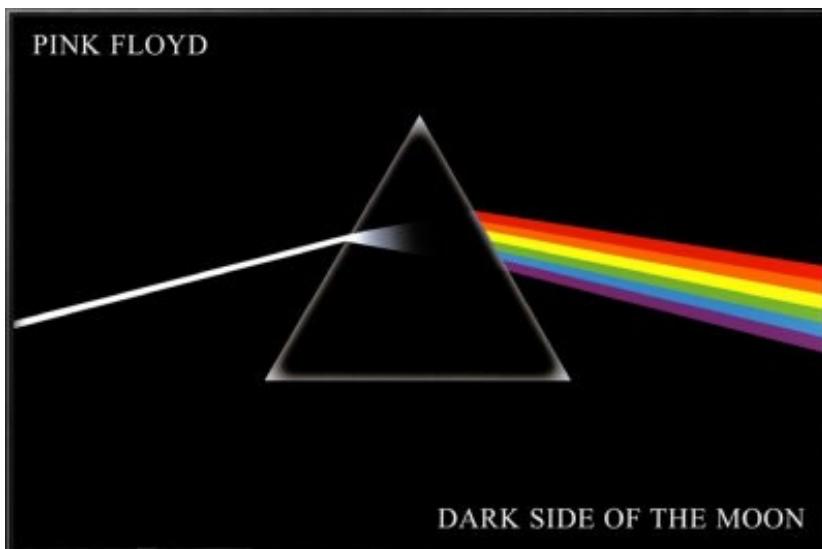
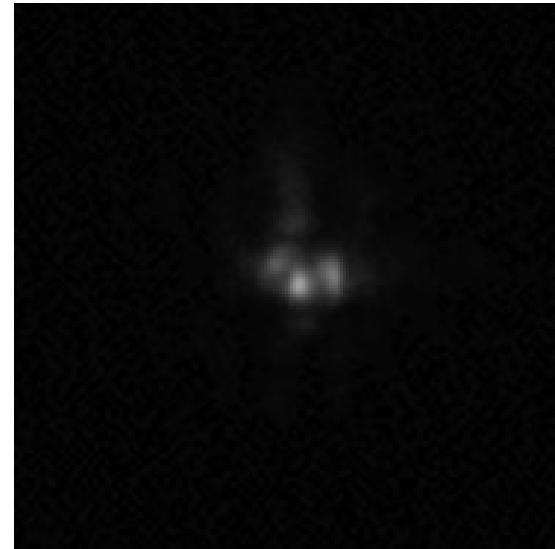
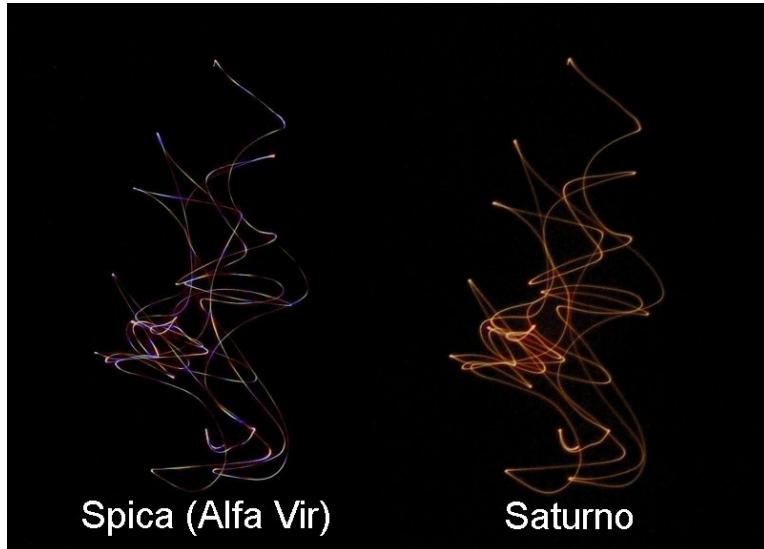
Spica (Alfa Vir)

Saturno

# Titiland



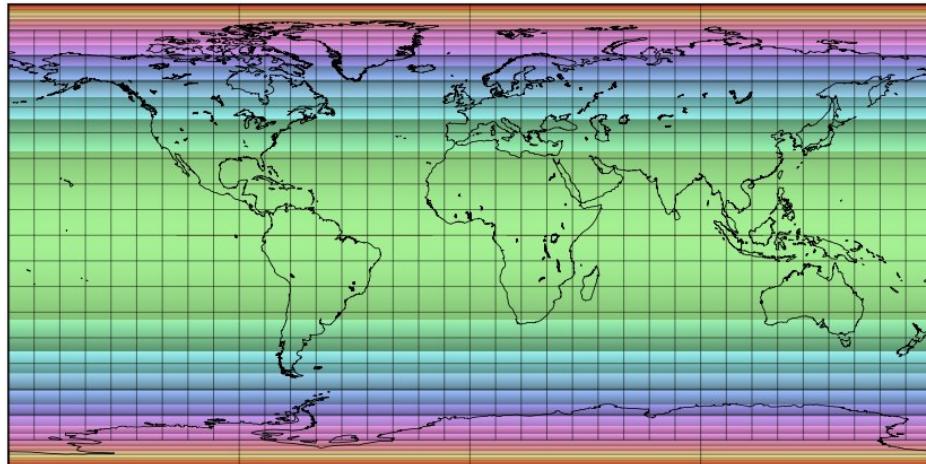
<http://www.atoptics.co.uk/>



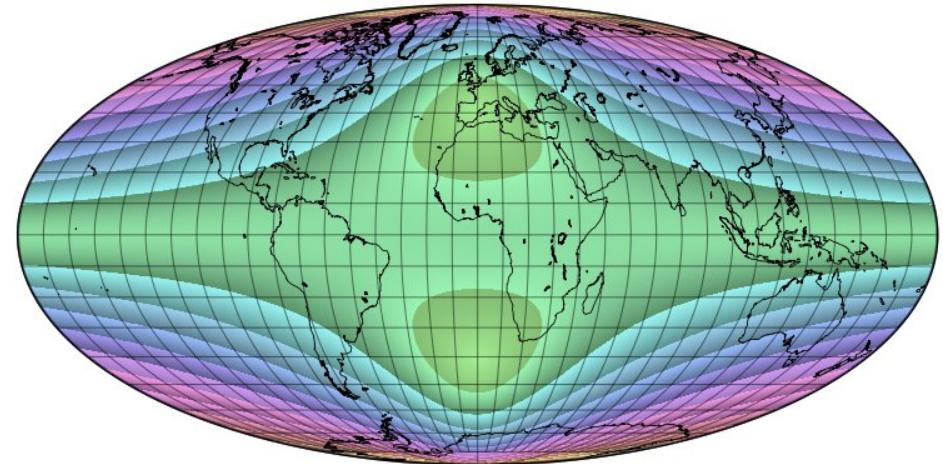
- Dos problemas:

- ¿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

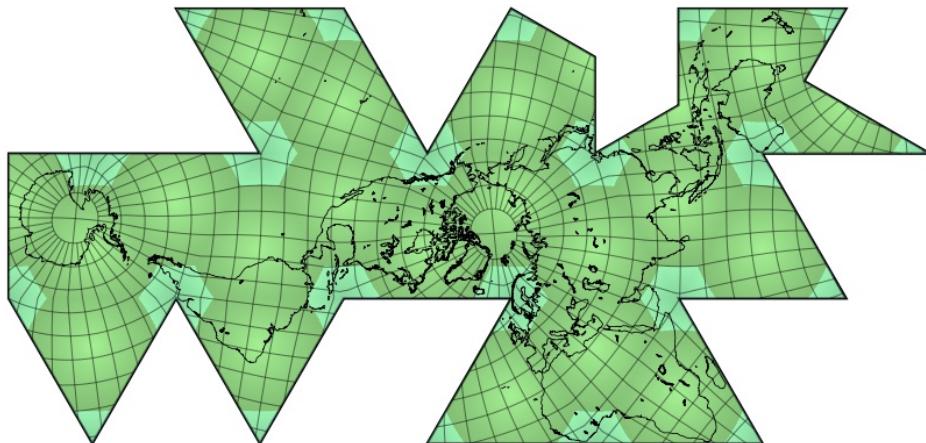
# Deformación en cuatro proyecciones



Proyección Cilíndrica Equidistante

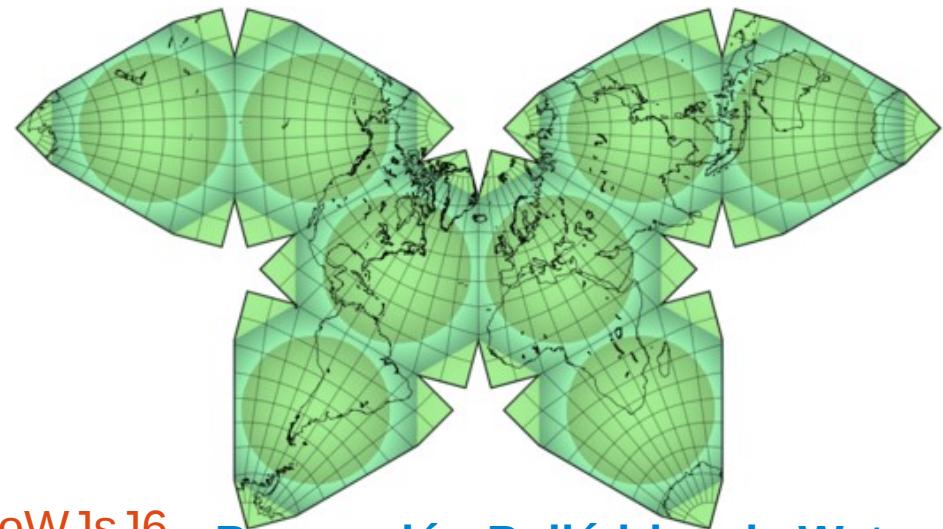


Proyección Mollweide



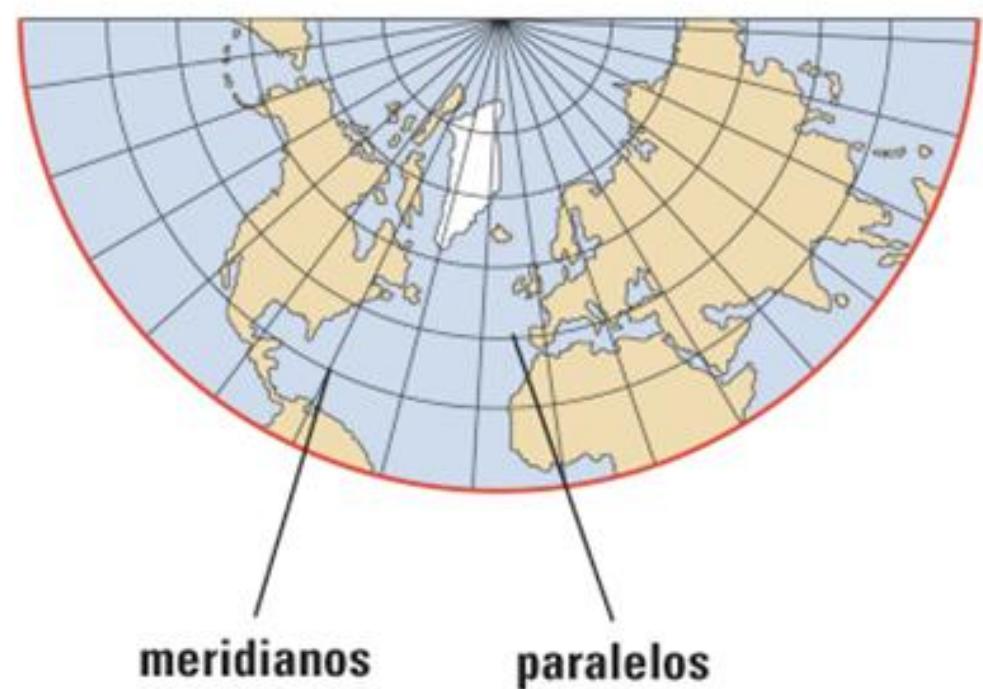
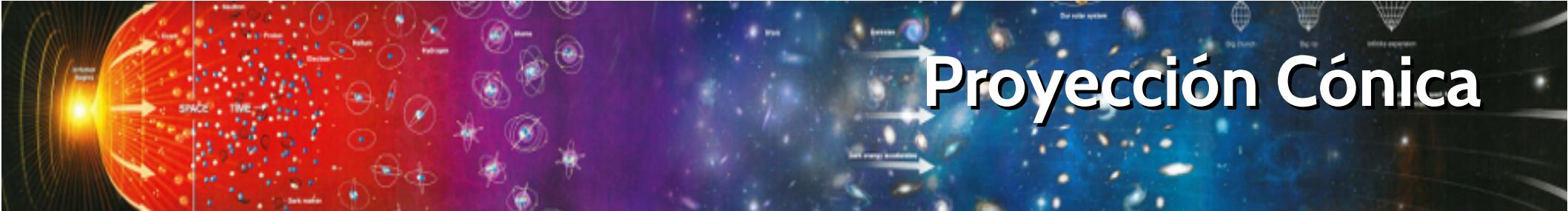
Proyección Dymaxion

<http://bit.ly/1oWJsJ6>

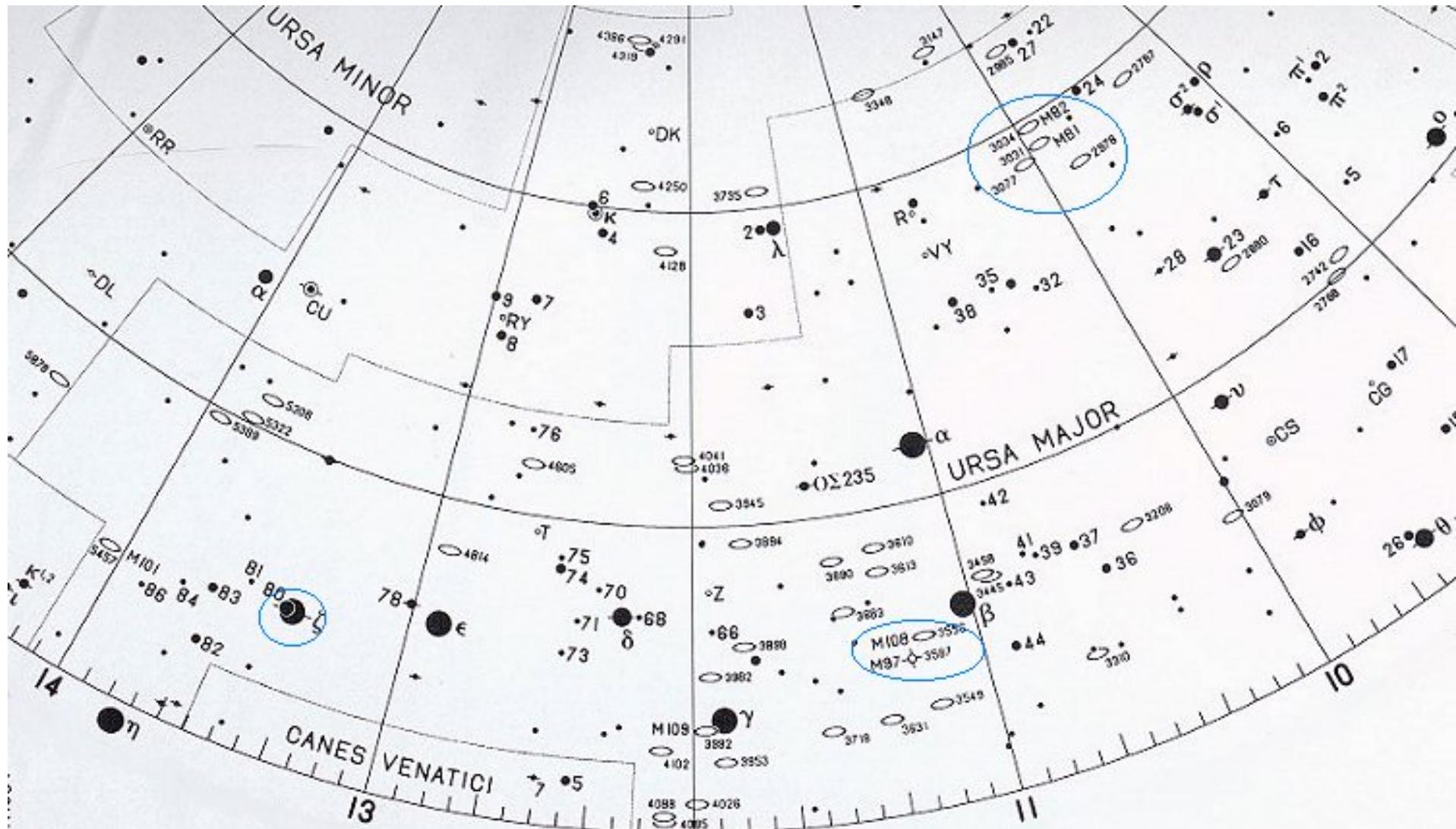


Proyección Poliédrica de Waterman

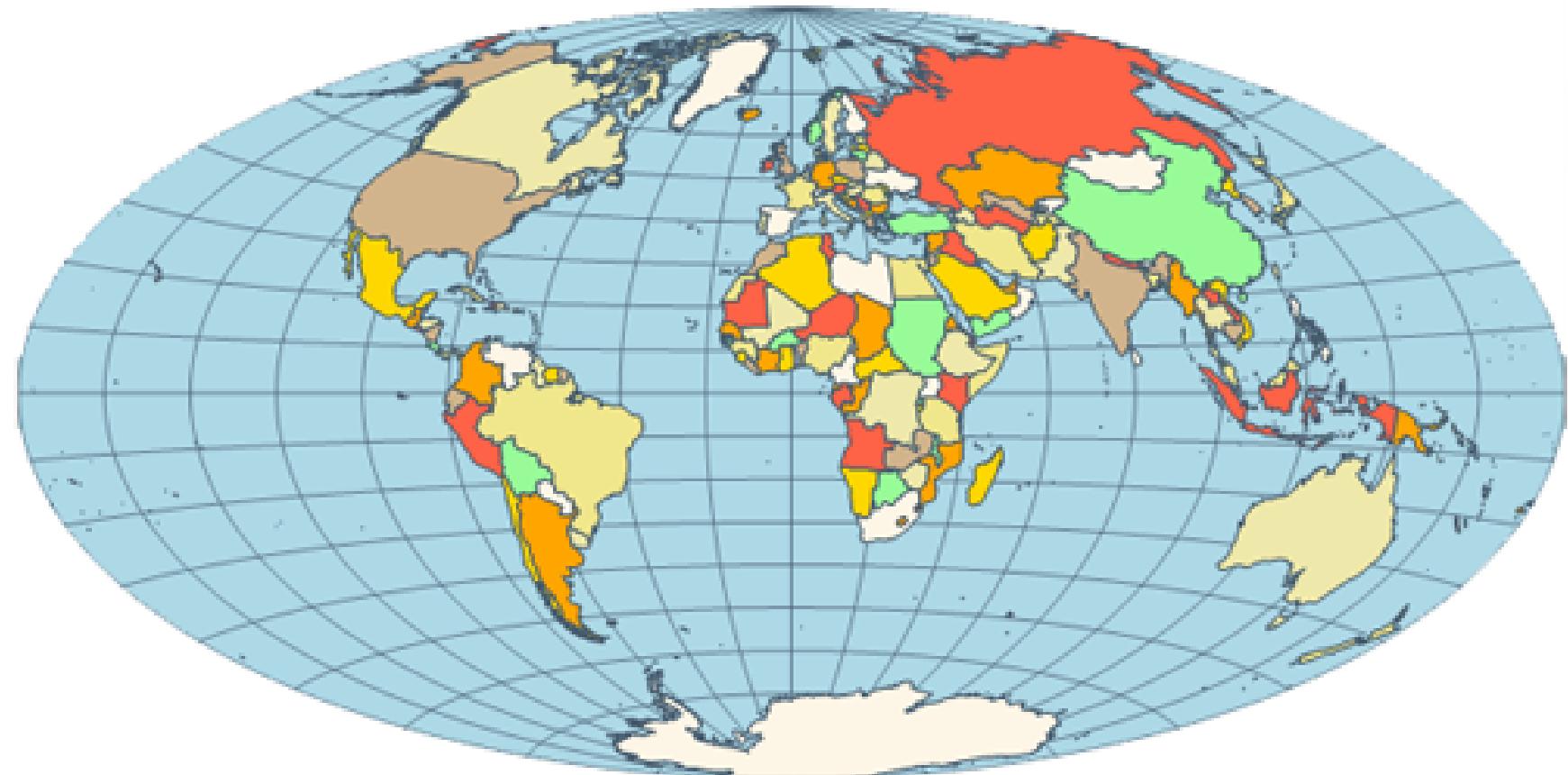
# Proyección Cónica



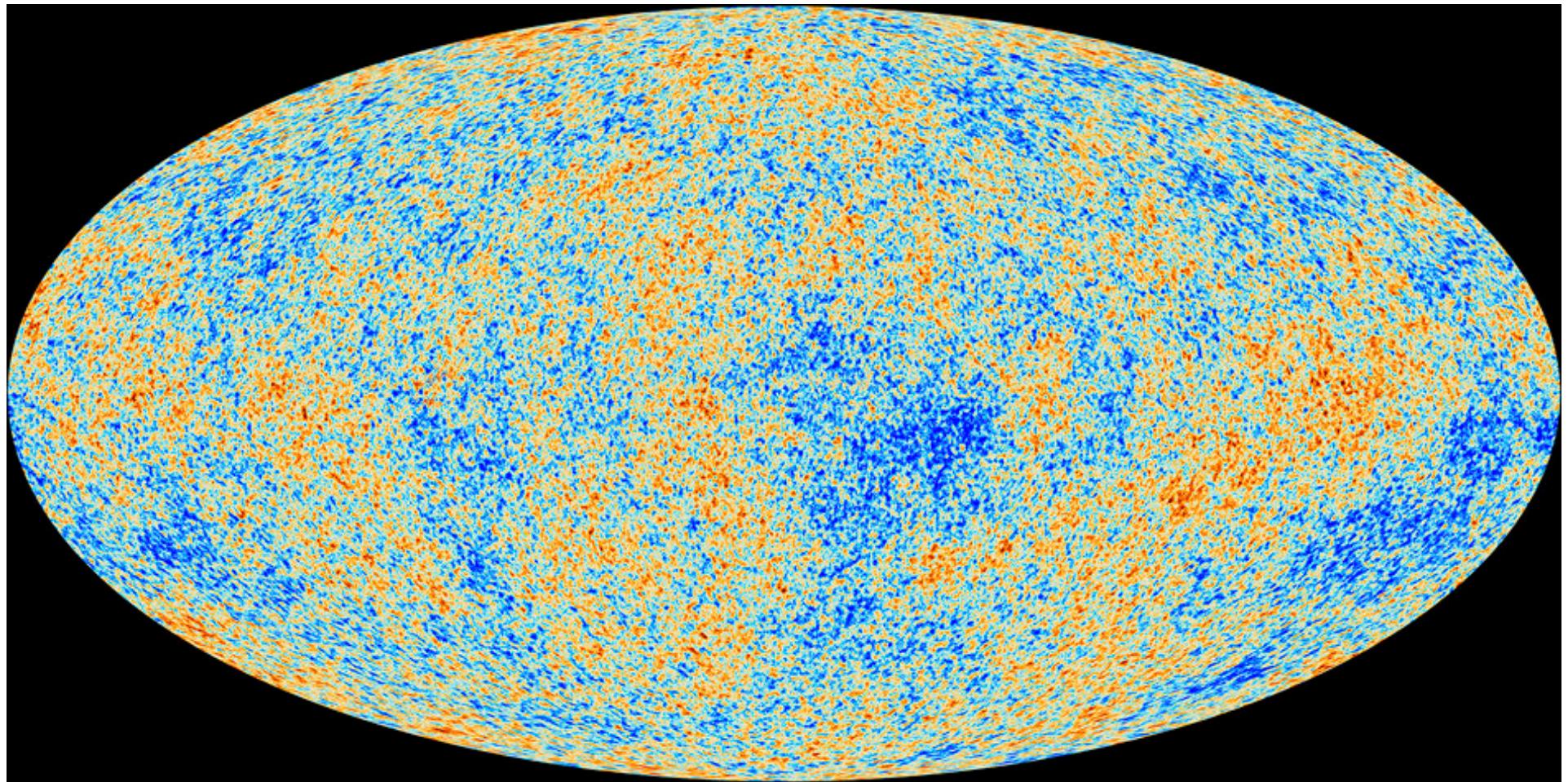
# Proyección Cónica



# Proyección de Hammer

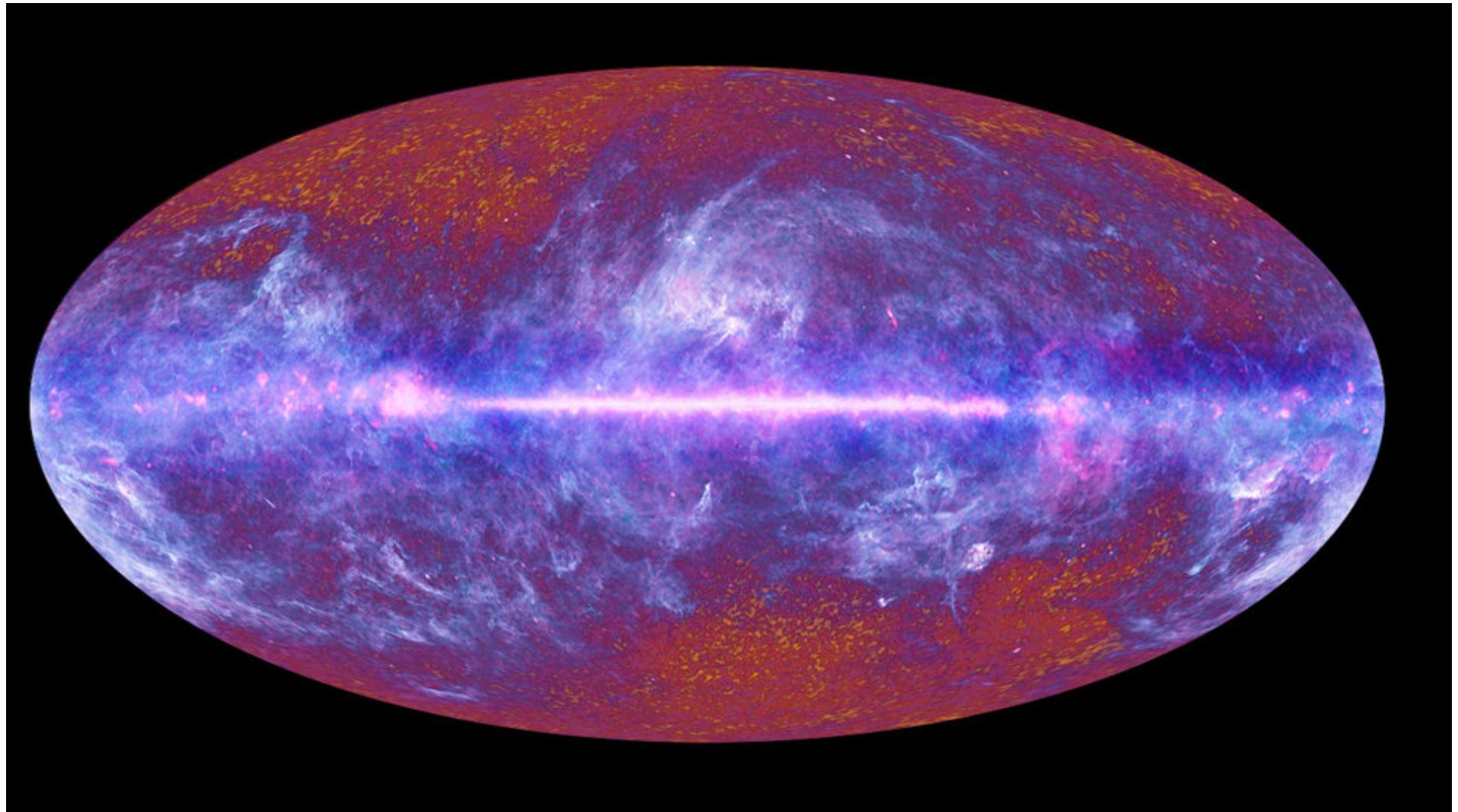


# Diferencias de temperaturas en el cielo

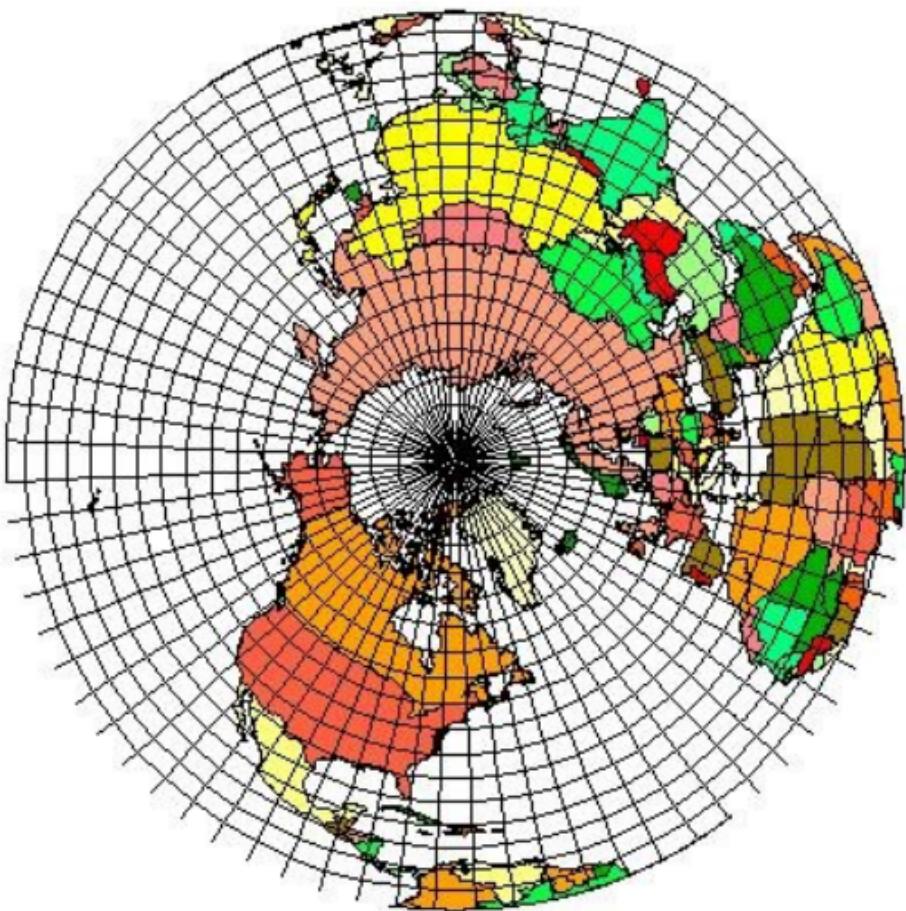




# El Cielo en microondas



# Proyección de Lambert

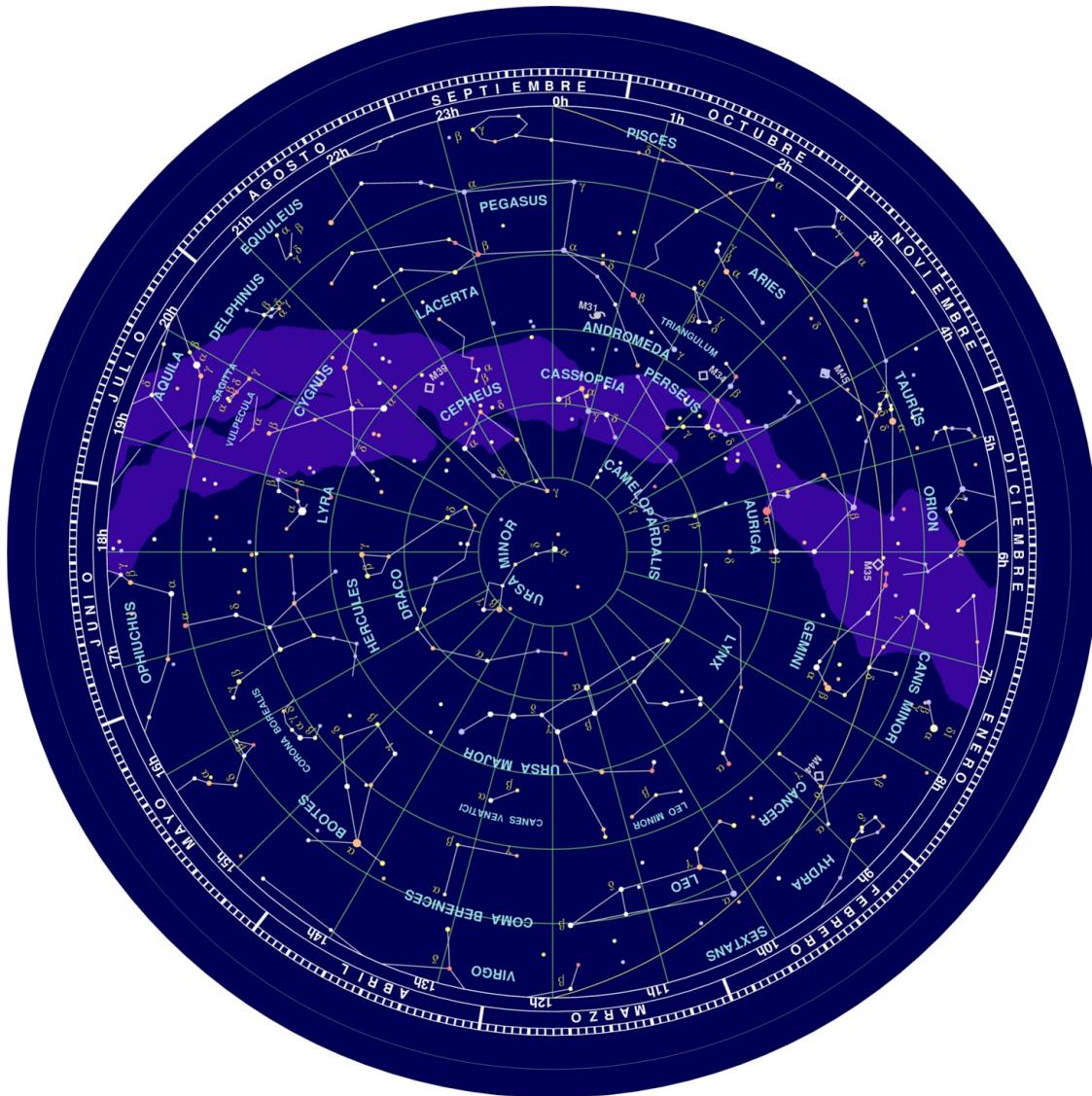


- El borde de la proyección es uno de los círculos máximos de la esfera
- El centro de la proyección es un polo respecto al que se realiza la proyección

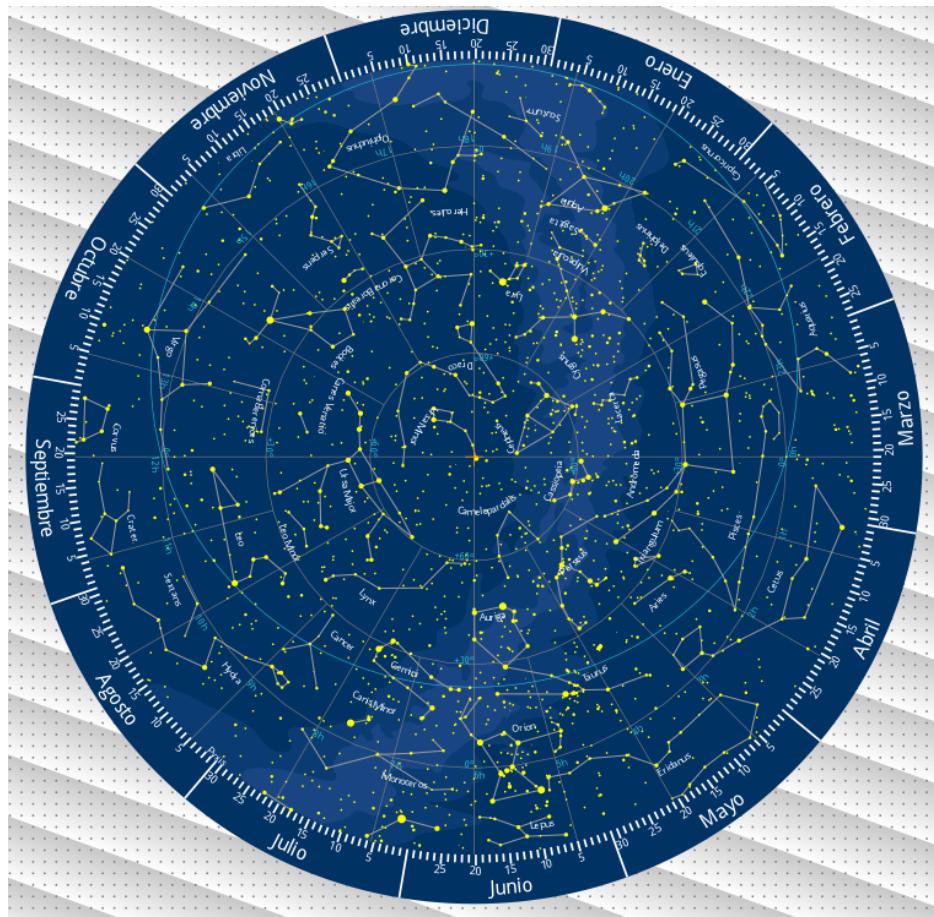


## • Meridianos celestes

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



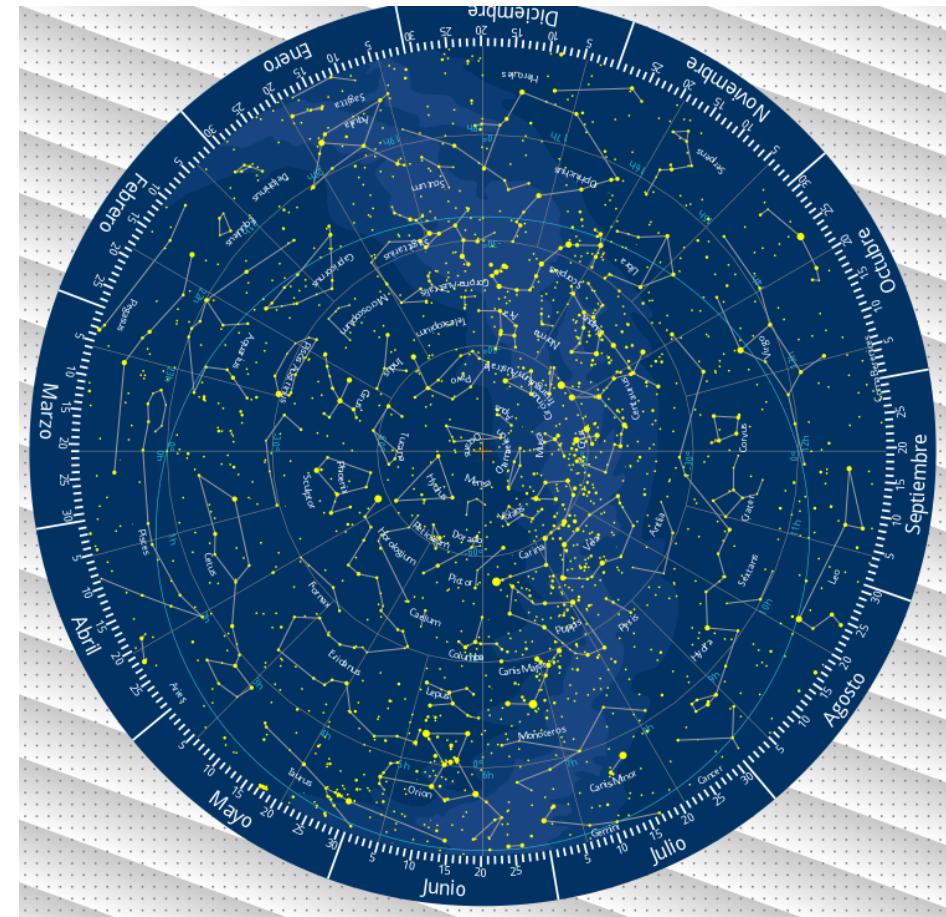
# Carta celeste



Hemisferio Norte Celeste

Sep 15, 2016

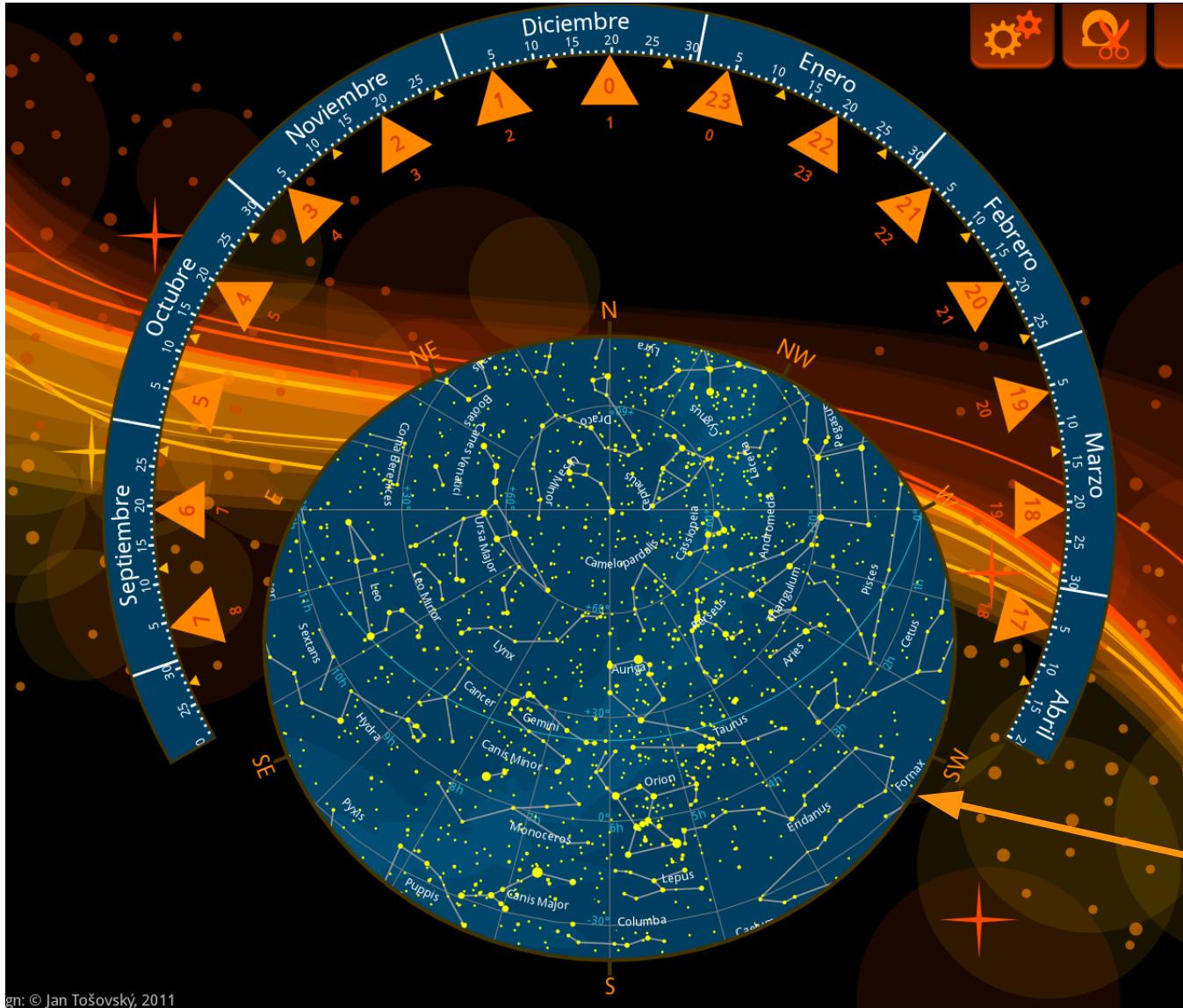
H. Asorey - IPAC 2016 - 06/16



Hemisferio Sur Celeste

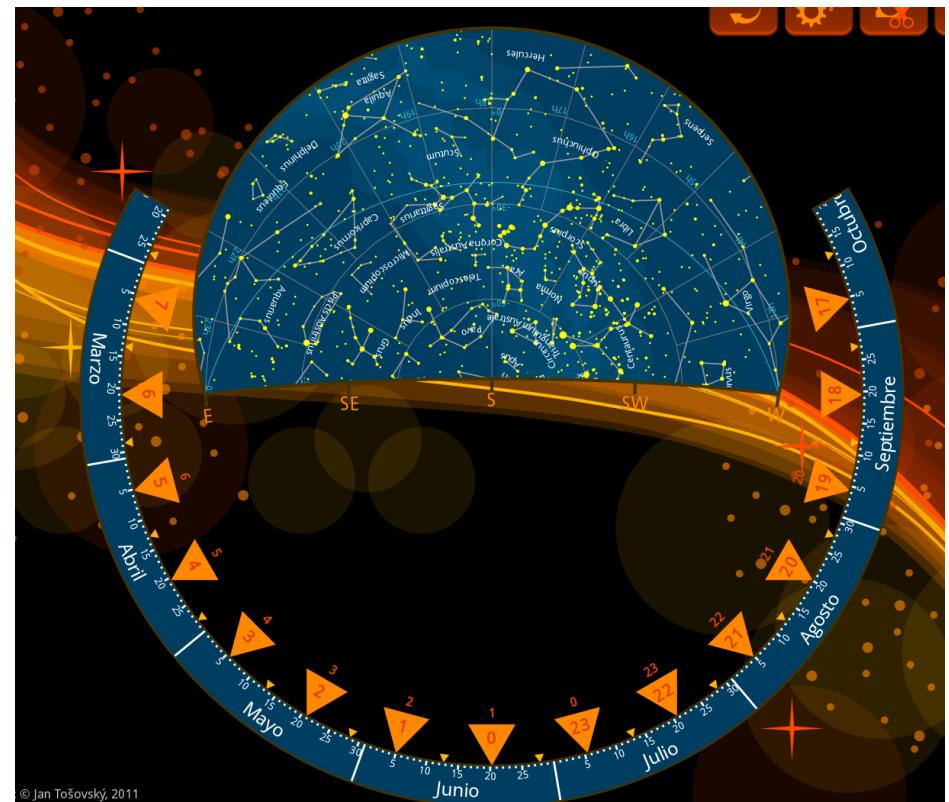
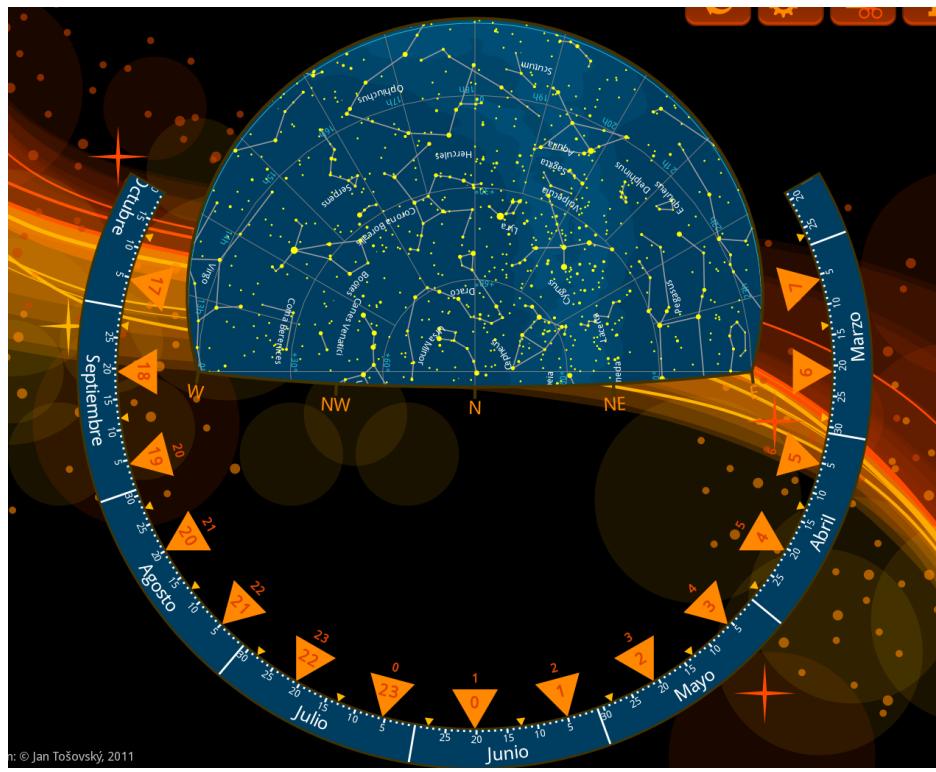
30/70

# En otras latitudes: +50

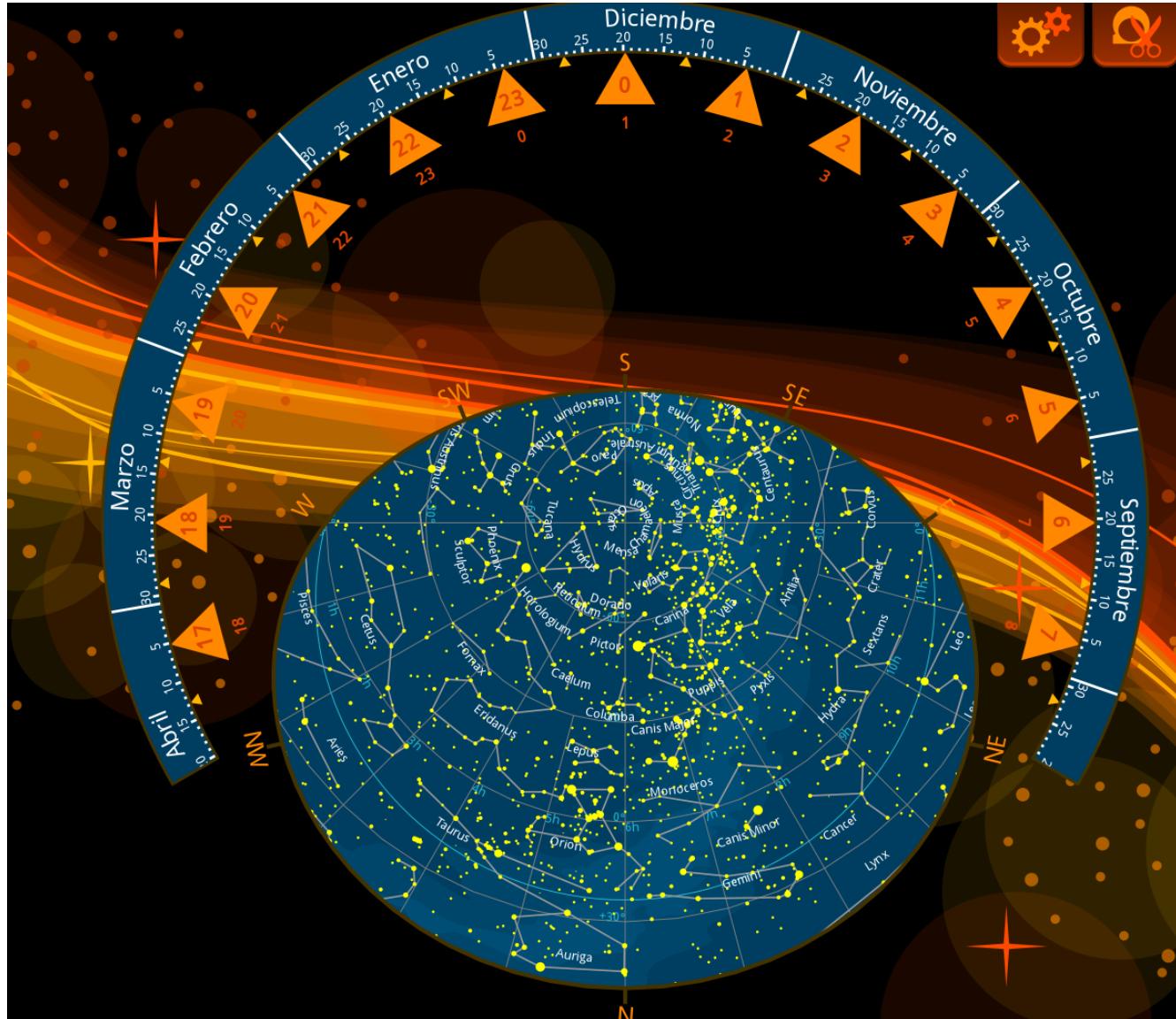


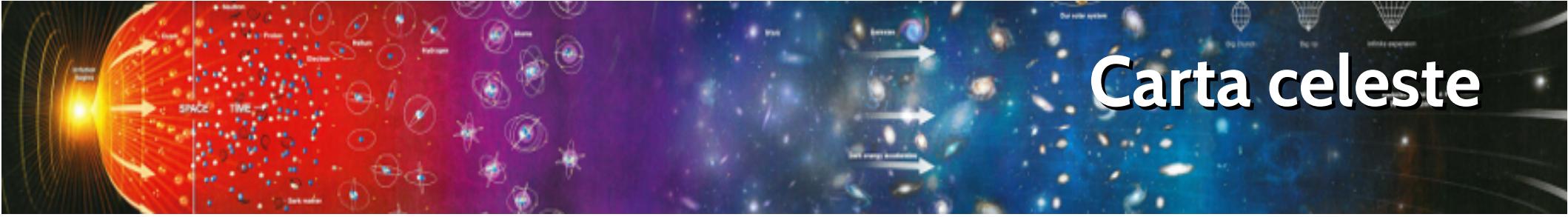


# En otras latitudes: +5



# En otras latitudes: -40





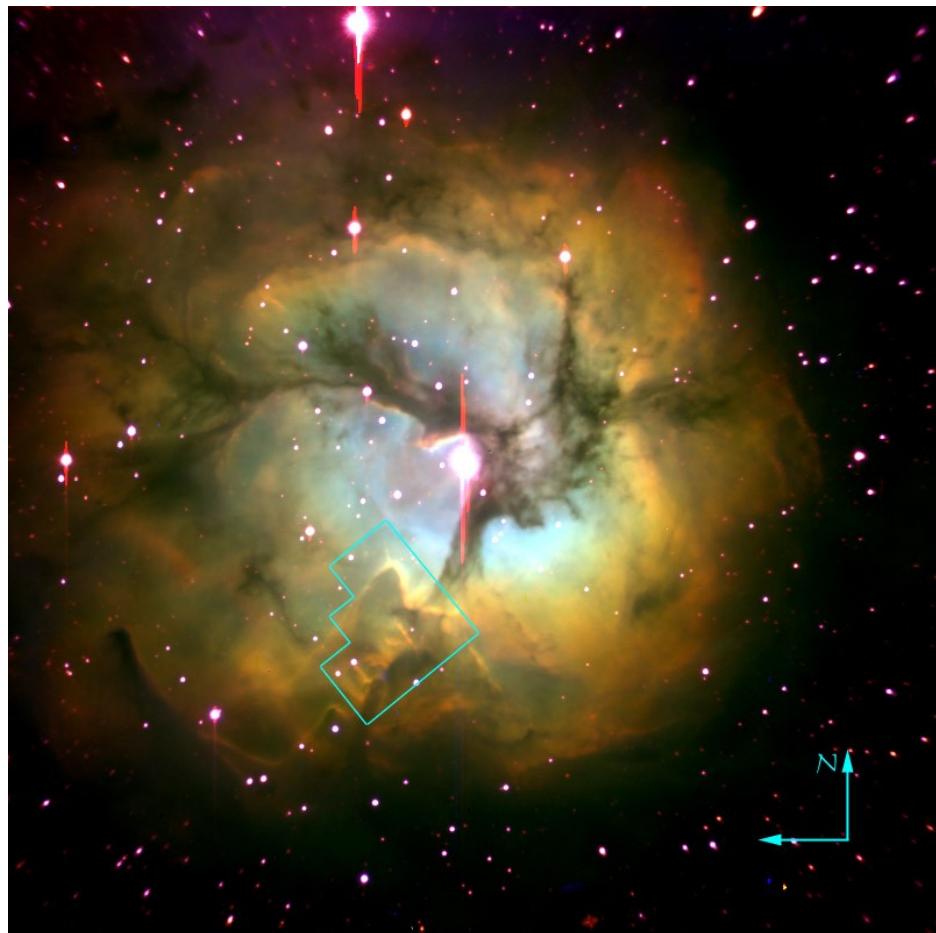
# Carta celeste

- <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

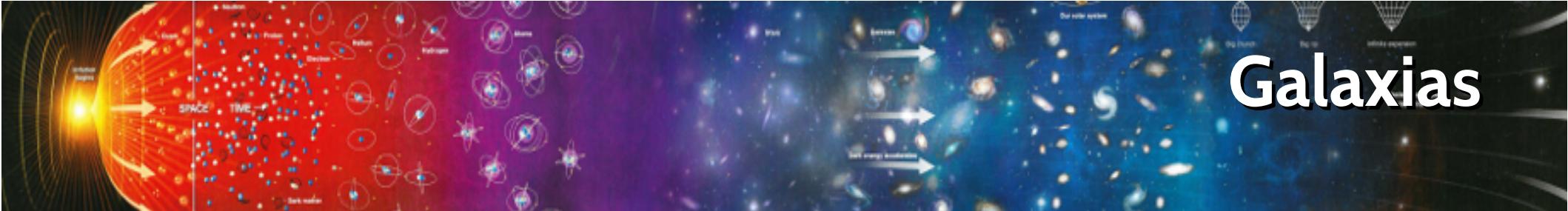


- **Catálogo Messier**
  - Compilado por Charles Messier entre 1774 y 1781
  - “Catálogo de las Nebulosas y Cúmulos de Estrellas, que se observan entre las estrellas fijas sobre el Horizonte en París”
- 103 objetos → 110 objetos
- Objetivo: eliminar los objetos difusos del cielo para la búsqueda de cometas
- Recibien la denominación Mnnn
- Nebulosas, Cúmulos Abiertos, Cúmulos Globulares y Galaxias

# Nebulosas (Nebulosa Trífida M20)



- Regiones gaseosas en el medio interestelar
  - Principalmente H y He
- Lugares de formación estelar
- Remanentes de explosiones estelares
- Objetos celeste de apariencia difusa



# Galaxias

- Conjunto de nubes de gas, polvo y estrellas que se mantienen unidos por su propia gravedad



# Cumulo Globular M80



- Agrupación de 100000 a 1000000 de “estrellas viejas”
- Es aproximadamente esférico
- Típicamente color dorado

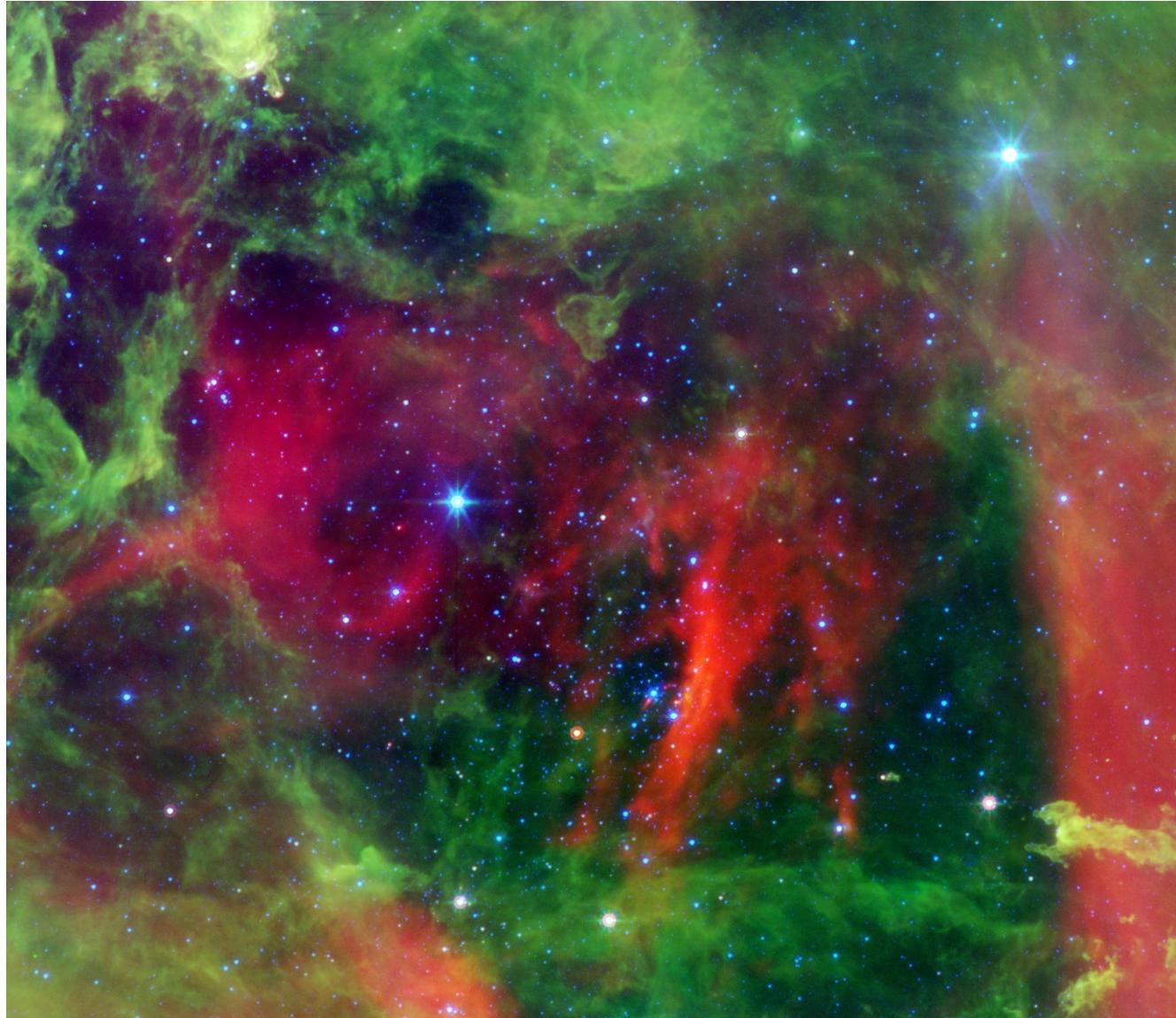


# Cúmulo Abierto M11



- Grupos de estrellas formadas a partir de la misma nube molecular
- Estrellas Jóvenes, Masivas y muy calientes
- Tamaño: 30 años luz

# NGC 2244



Sep 15, 2016

H. Asorey - IPAC 2016 - 06/16

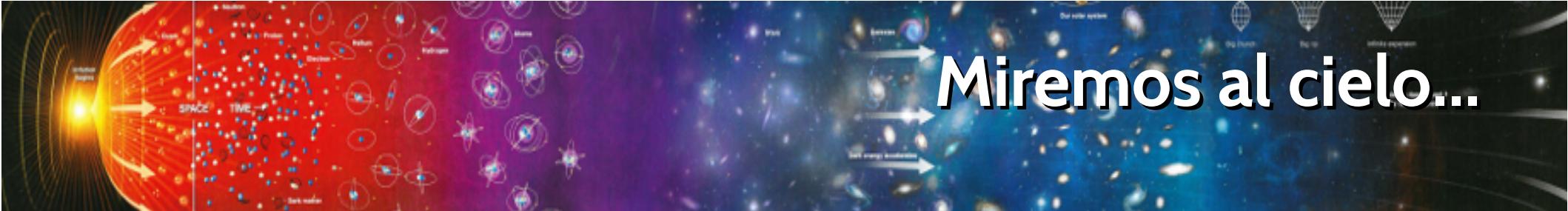
40/70



# New General Catalog (NGC)

- Nuevo Catálogo General (de Nebulosas y Cúmulos de estrellas)
  - Compilado en 1880 por Johan Dreyer
  - Observaciones de Herschel
- Contiene 7840 objetos difusos

<http://spider.seds.org/ngc/ngc.html>



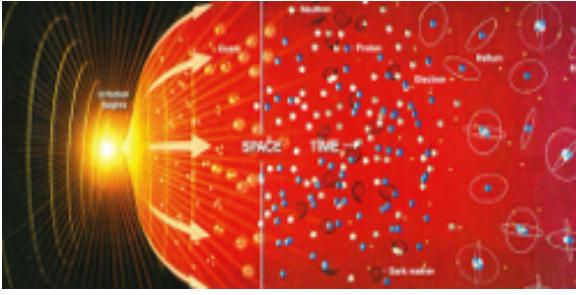
Miremos al cielo...





# Miremos al cielo... en el Norte!





# Miremos al cielo... en el Ecuador!





# Miremos al cielo... en el Sur!

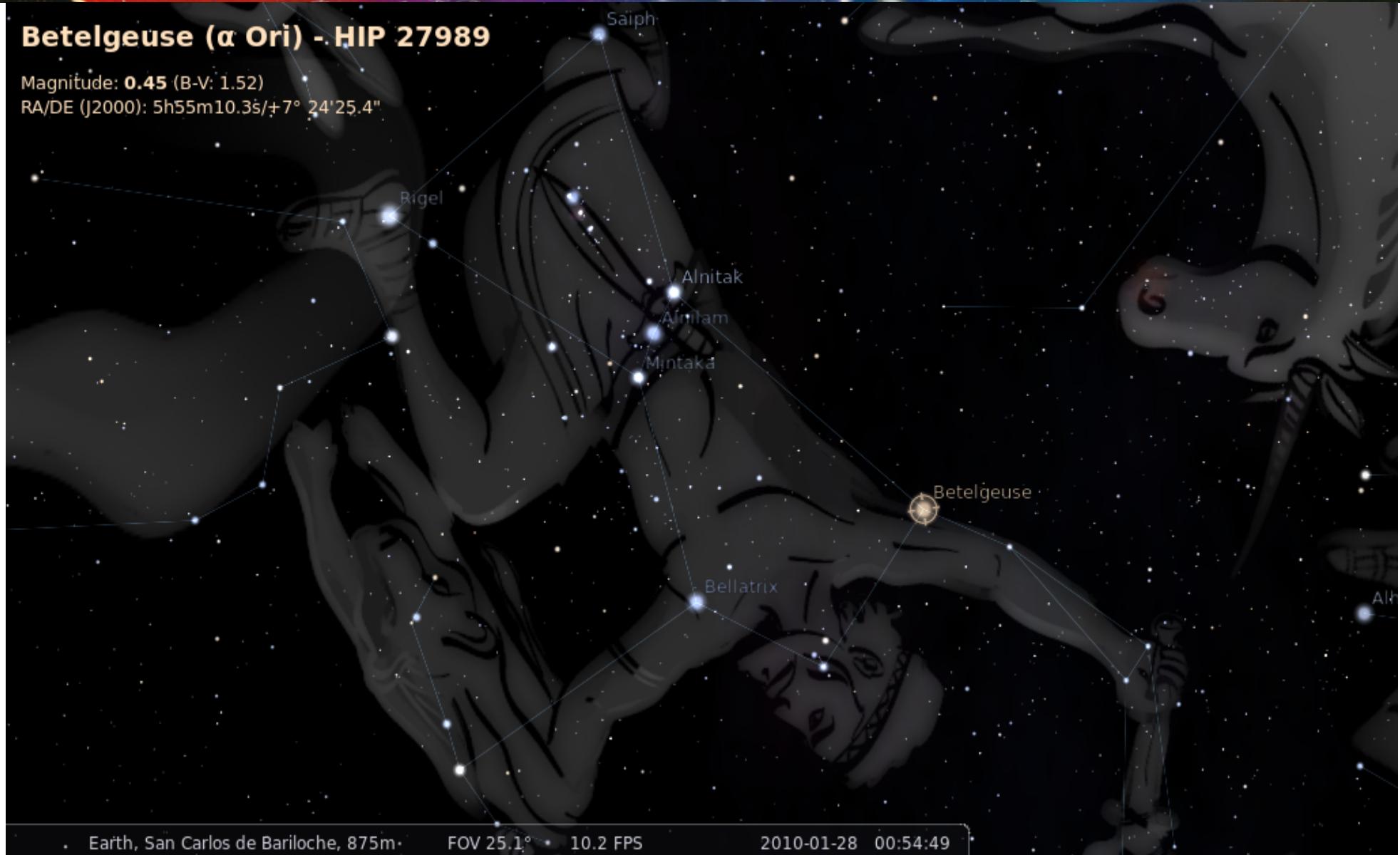


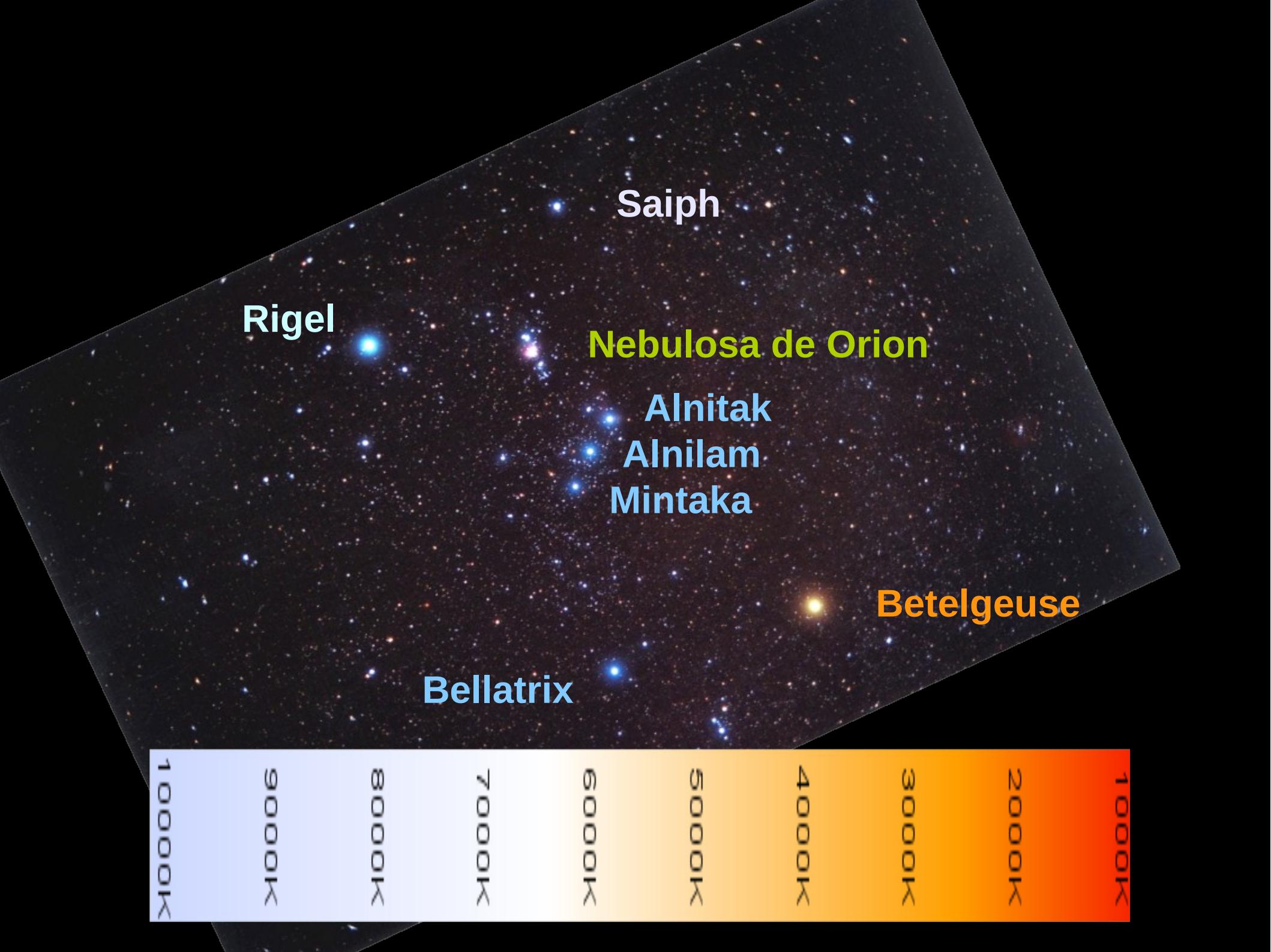
# Miremos al cielo... en el Sur!

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

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

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





Saiph

Rigel

Nebulosa de Orion

Alnitak  
Alnilam  
Mintaka

Betelgeuse

Bellatrix





# No todas son iguales

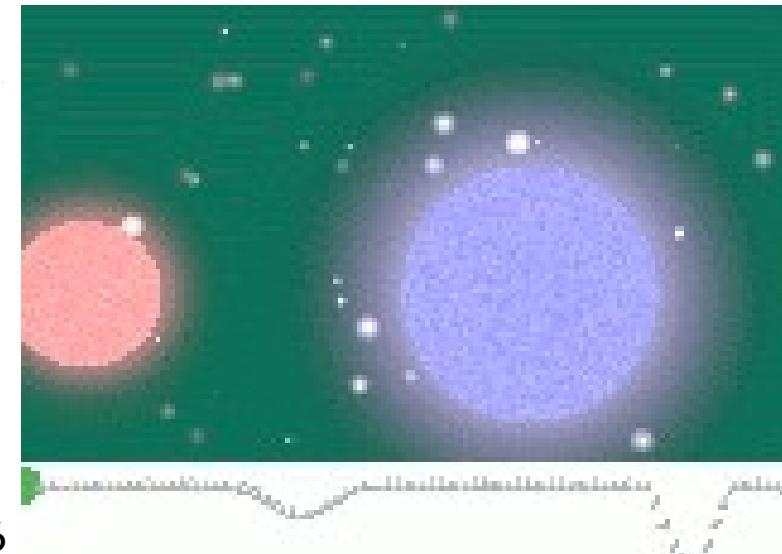
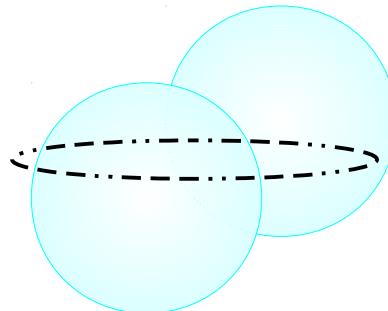
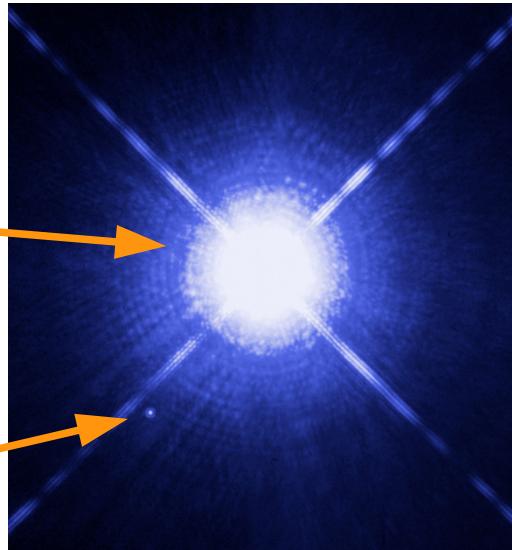
- Estado de evolución (edad)
- Temperatura
- Constitución inicial
- Masa
- **Energía emitida por unidad de tiempo: Luminosidad**
- Y además...

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

**No todas están a la misma distancia**

# Dos sistemas binarios

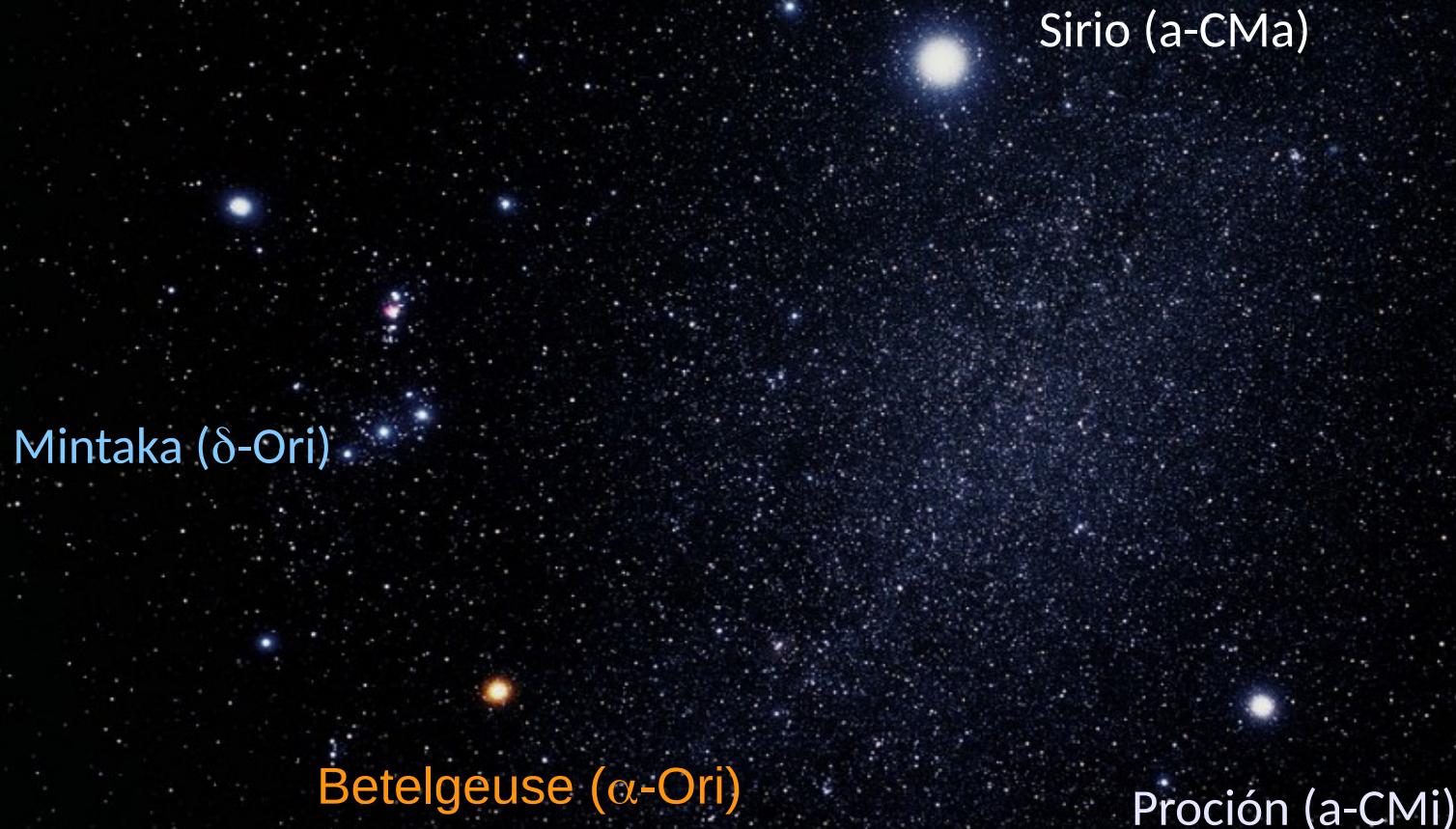
- Sistema Sirio ( $\alpha$ -CMa), 8.6 al
  - Binaria (50.1a):  
Sirio A (A1), Sirio B(dA2)  
 $M=2 M_{\odot}$   $T=9900K$   
 $L=25 L_{\odot}$   $R=1.7R_{\odot}$
- Sistema Mintaka ( $\delta$ -Ori), 900 al
  - Binaria Eclipsante(5.73d): Mintaka A (O9.5) y Mintaka B (B0.5)  
 $M=20M_{\odot}$   $T=33000K$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



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



# Sin embargo, en el cielo...





# ¿Cuál les parece que es la diferencia?

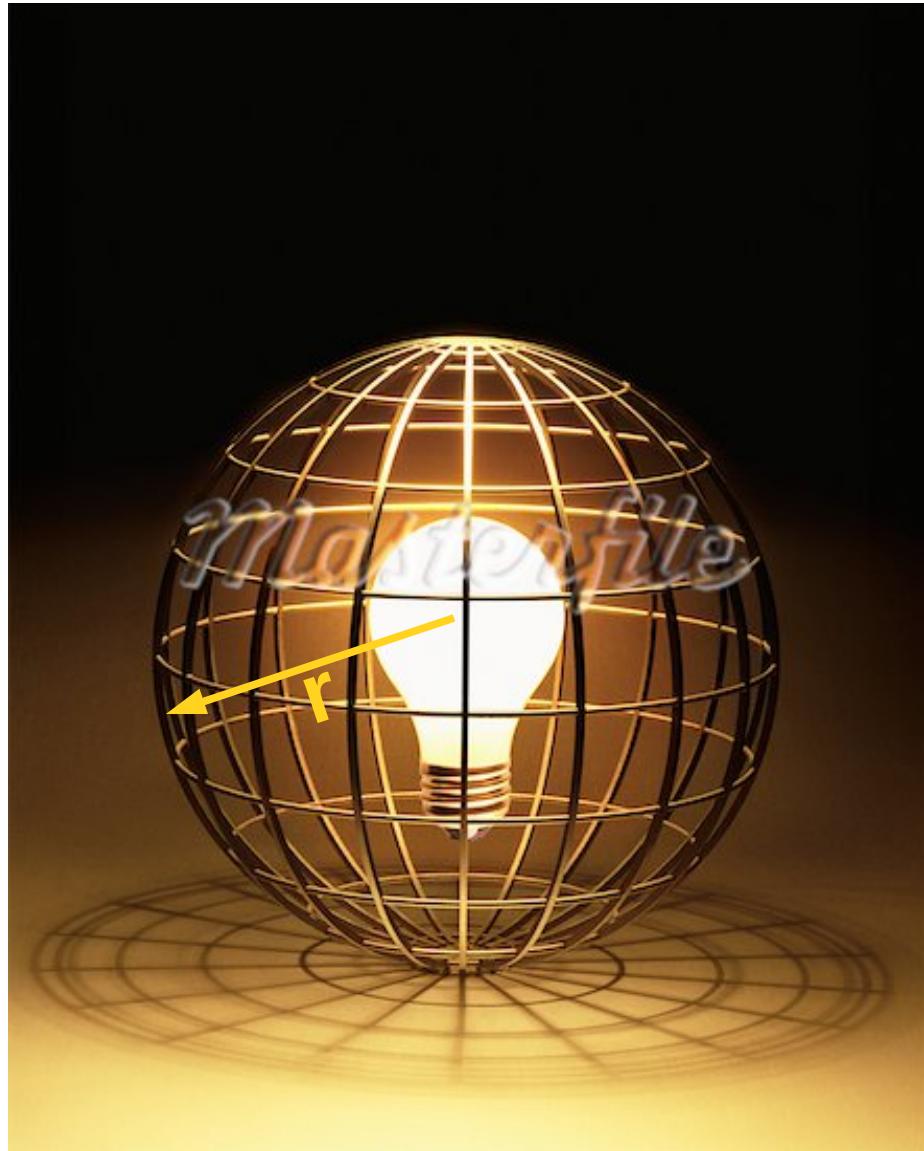
- Mintaka

$(2 \times 90000L_o / 25L_o) \sim 7000$  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:

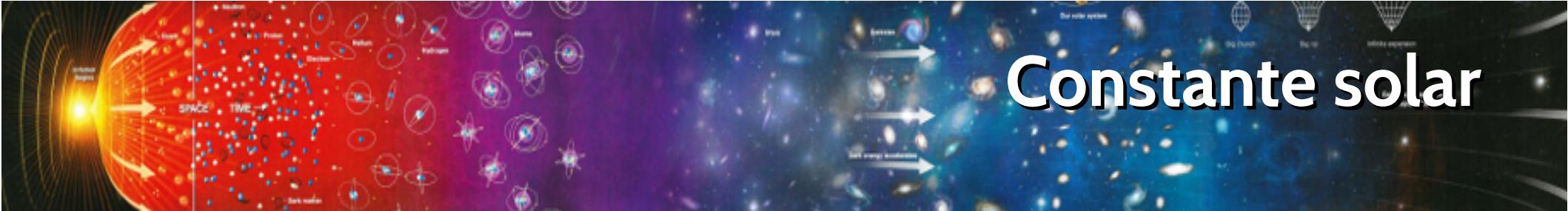
$$F \equiv \frac{\Delta E}{A(\Delta t)} = \frac{L}{A}$$

- El área de una esfera es

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

- Entonces

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



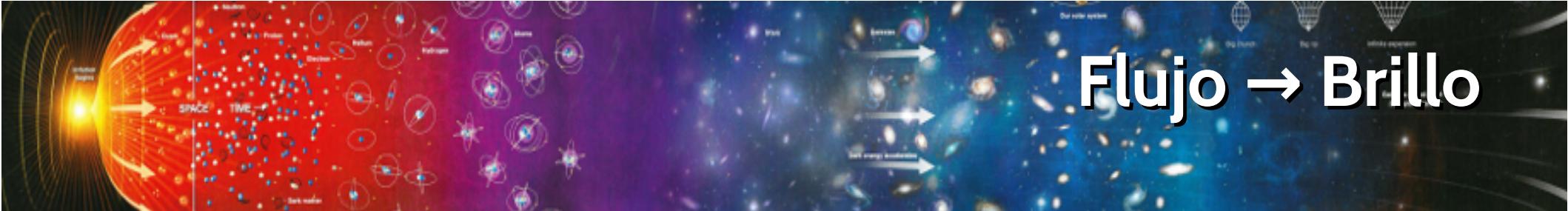
# Constante solar

- 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,

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

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

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



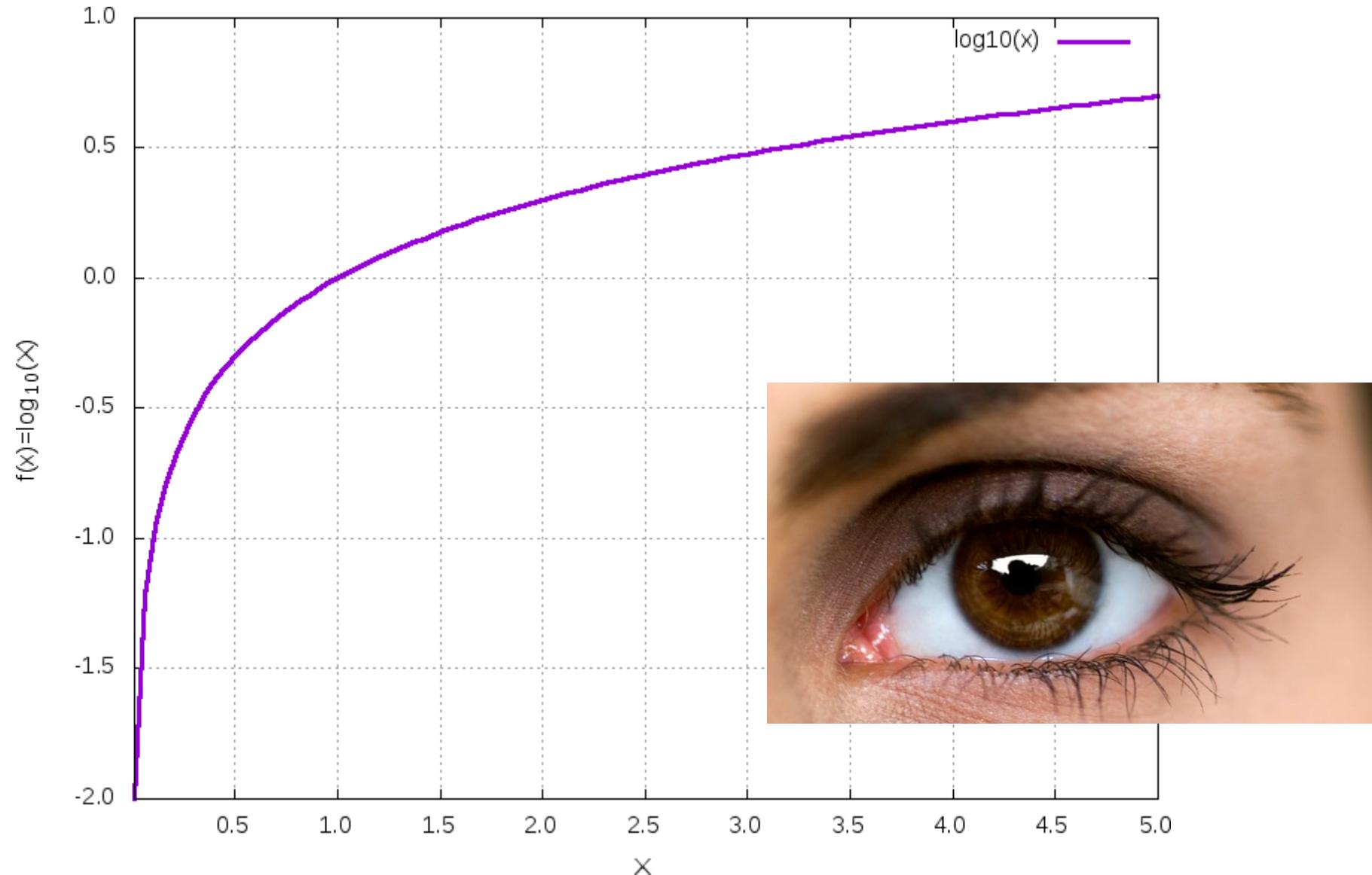
# Relación entre brillo y magnitud

- 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: $f(x) = \log_{10}(x)$



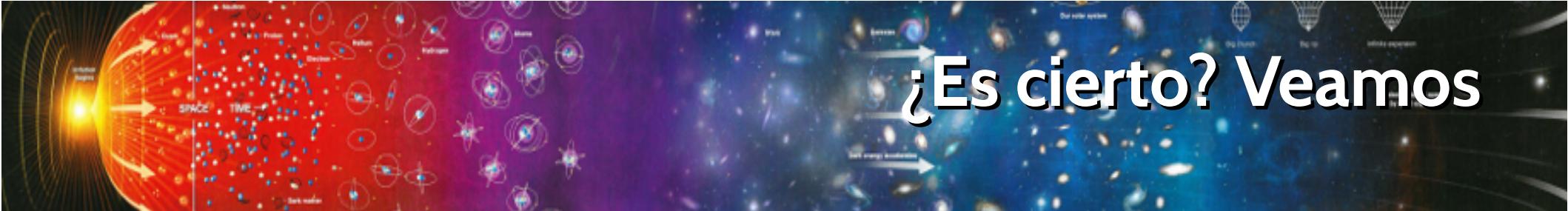
# Relación entre brillo y magnitud

- 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  $m_j = 6$

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

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

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

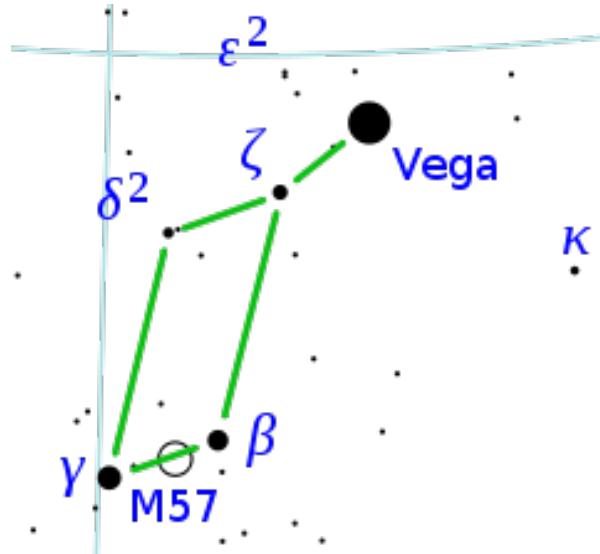
$$2 = \log_{10}(b_i/b_j)$$

$$10^2 = b_i/b_j$$

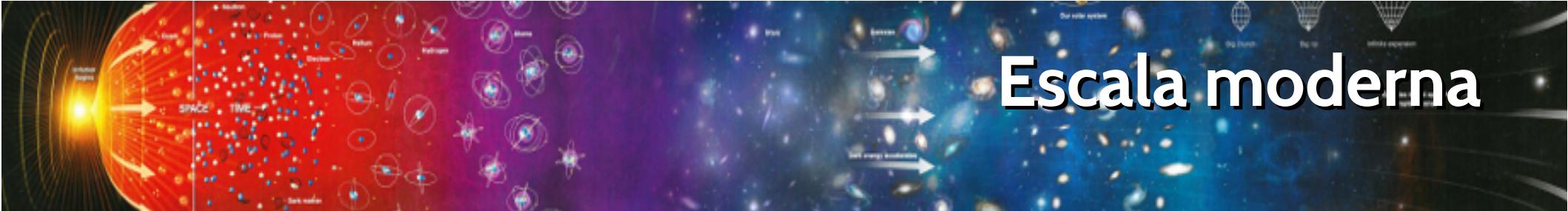
$$b_i = 100 b_j$$

**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)

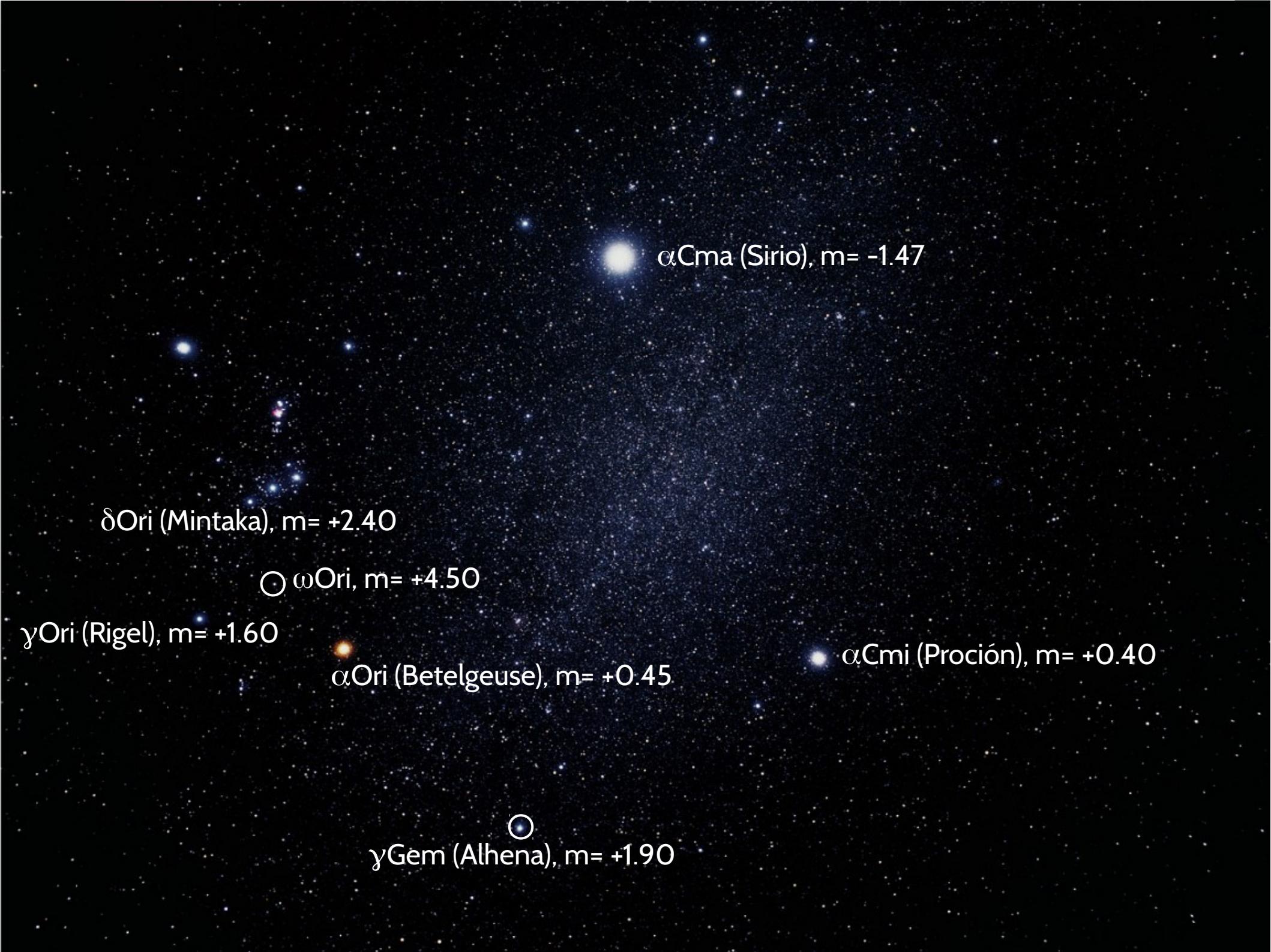
0 Vega (definición moderna)

+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

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

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

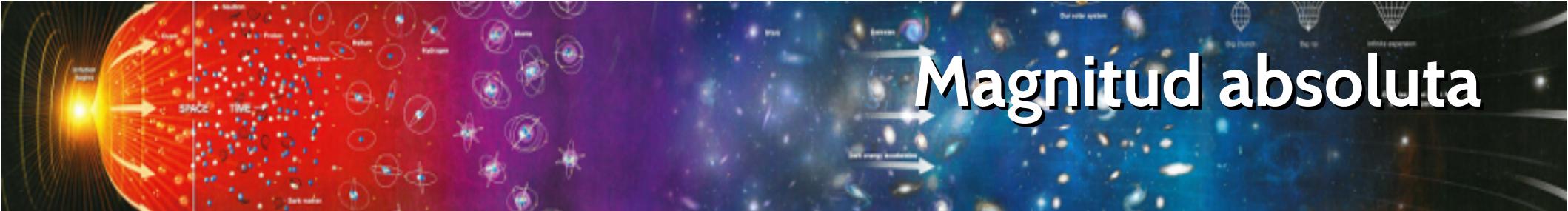
$$m_{\text{nueva}} - m_{\text{vieja}} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{1}{100} \right)$$

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

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

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

**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**

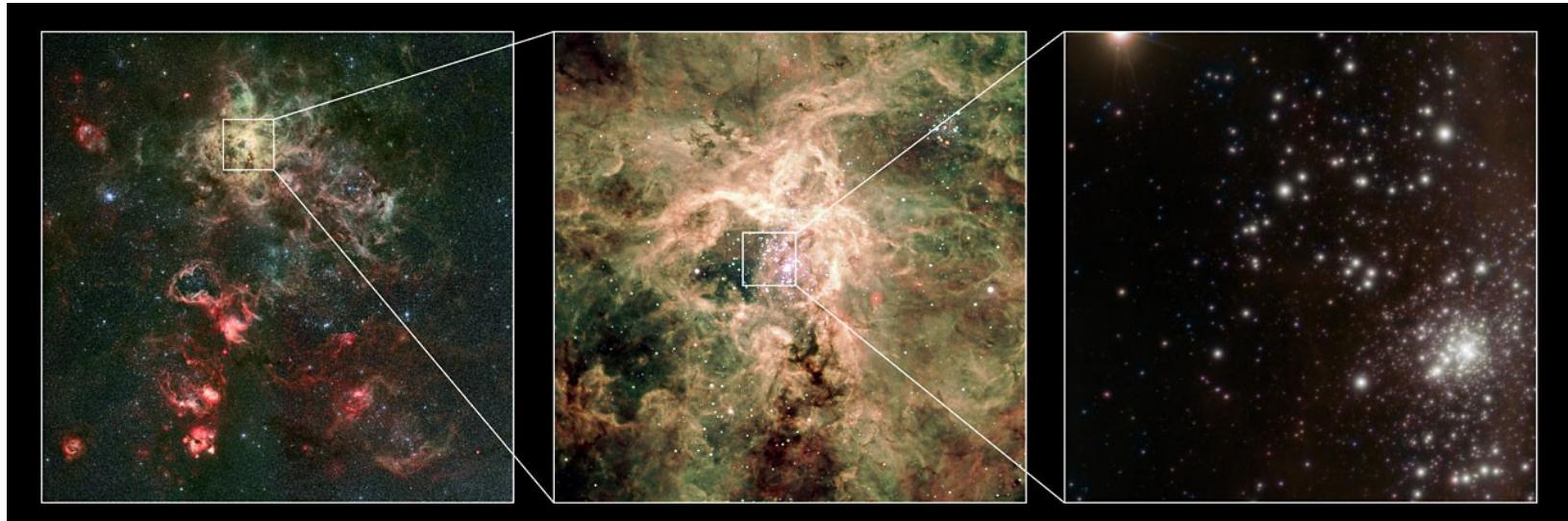
- Relación con la magnitud aparente  $m$  y la distancia  $d$ : (medida en parsecs):

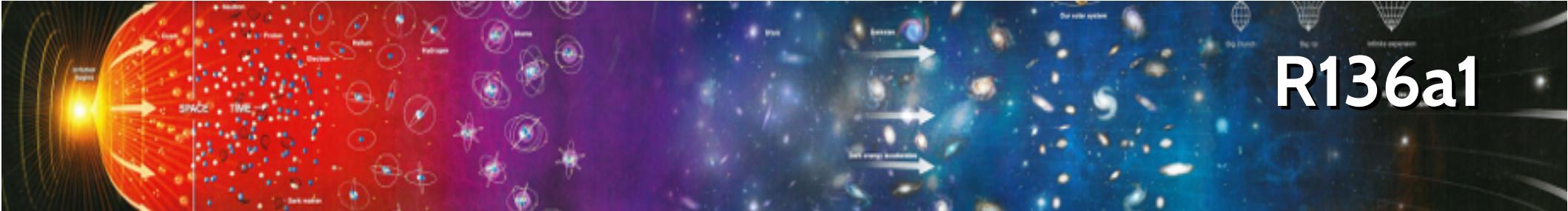
$$M = m - 5(\log_{10}(d) - 1)$$

- 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):  $m=-1.45$ ,  $M=1.44$

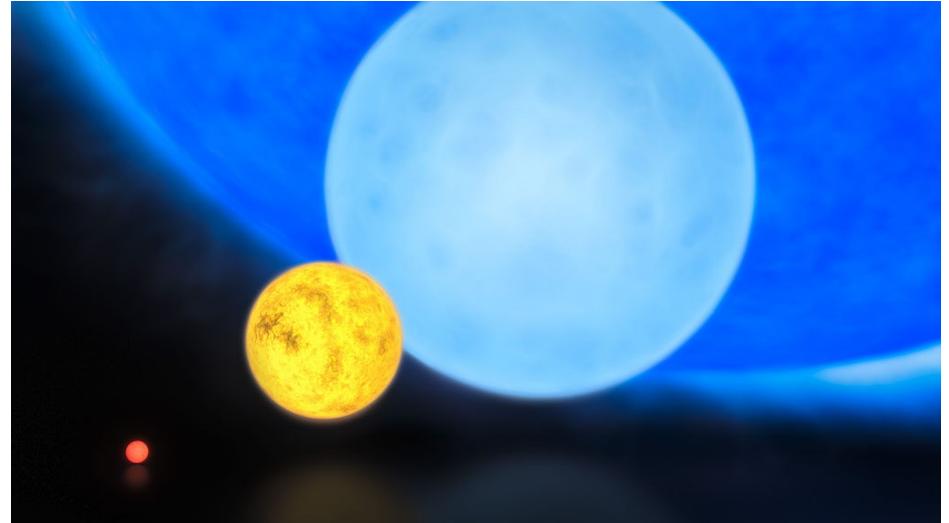
# La estrella más brillante

- 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)