



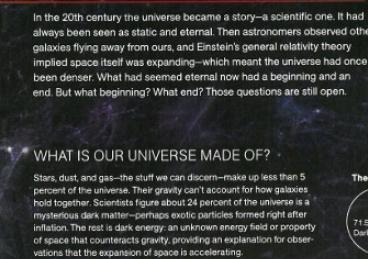
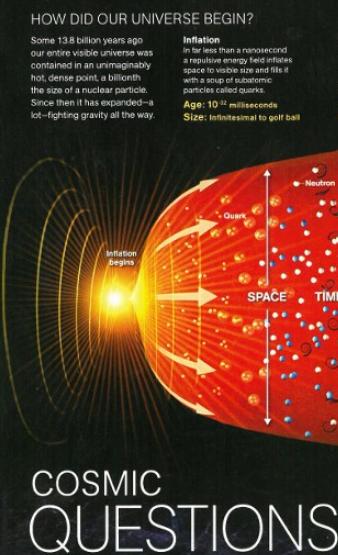
Universidad Nacional de Río Negro

Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2019

- **Unidad** 02 – Astrofísica: cálido y frío
- **Clase** UO2 CO2
- **Fecha** 04 Oct 2019
- **Cont** Estrellas – 1
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/>



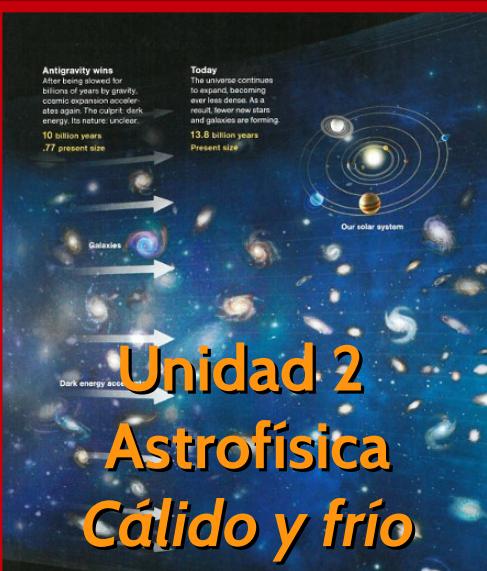
Contenidos: un viaje en el tiempo



Unidad 2 Astrofísica *Cálido y frío*

DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

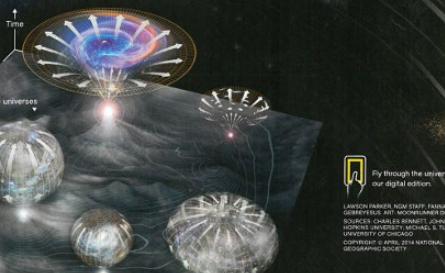
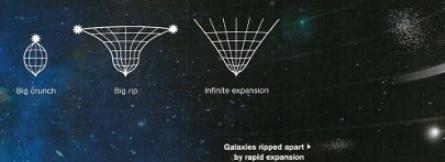
What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has density fluctuations. Inflation theory says our universe exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea 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.



Unidad 1 Partículas 1 *todo es relativo*

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.



By through the universe on
our digital edition
LONDON PHOTOS: ANDREW FERGUSON; GENEVA PHOTOS: ART MONTAGNA DESIGN: SOURCES: CHARLES BENNETT, JOHN HESTER, ANDREW LINSLEY, ANDREW LINSLEY, UNIVERSITY OF CHICAGO; COURTESY OF CERN; NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

Sin embargo, en el cielo...

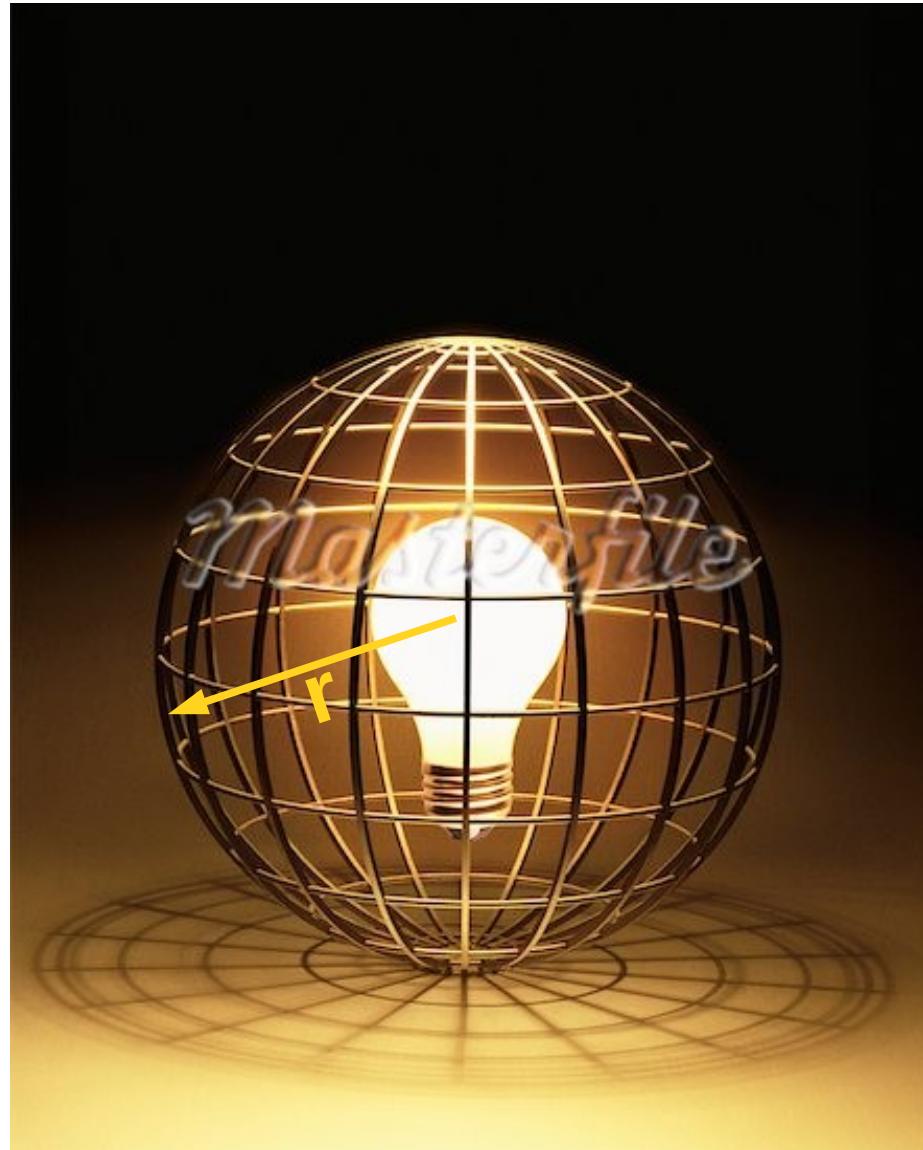
Sirio (a-CMa)

Mintaka (δ -Ori)

Betelgeuse (α -Ori)

Proción (a-CMi)

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

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

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 $m=6(m_6)$

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

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

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

$$\therefore (m_1 - m_2) \leftrightarrow b_1/b_2? \rightarrow$$

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



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)

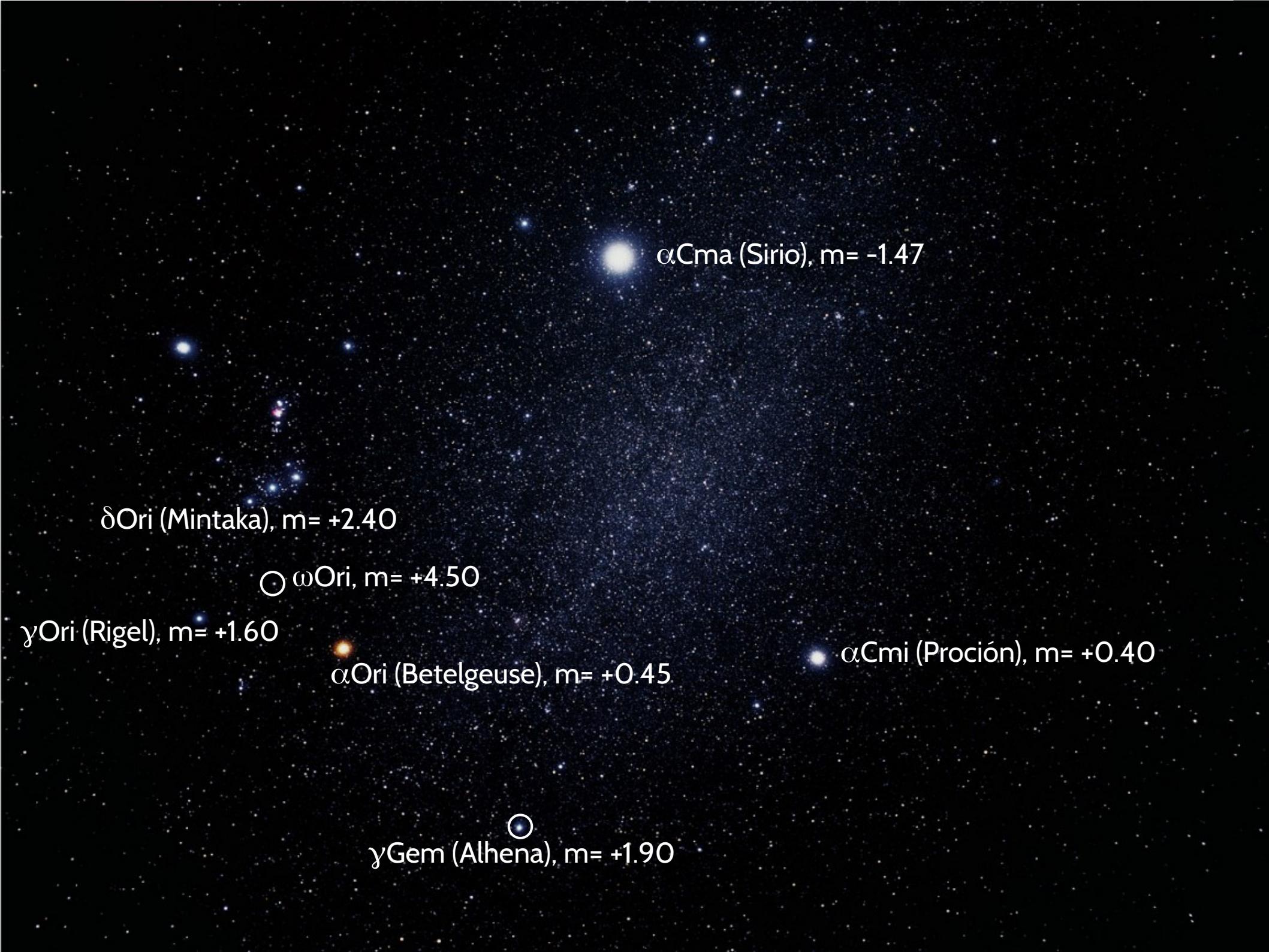
0 Vega (definición moderna)

+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)



α Cma (Sirio), m= -1.47

δ Ori (Mintaka), m= +2.40

ω Ori, m= +4.50

γ Ori (Rigel), m= +1.60

α Ori (Betelgeuse), m= +0.45

α Cmi (Proción), m= +0.40

γ Gem (Alhena), m= +1.90



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 (δ Ori): $m=2.4$, $M=-4.84$
 - Sirio (aCMa): $m=-1.45$, $M=1.44$

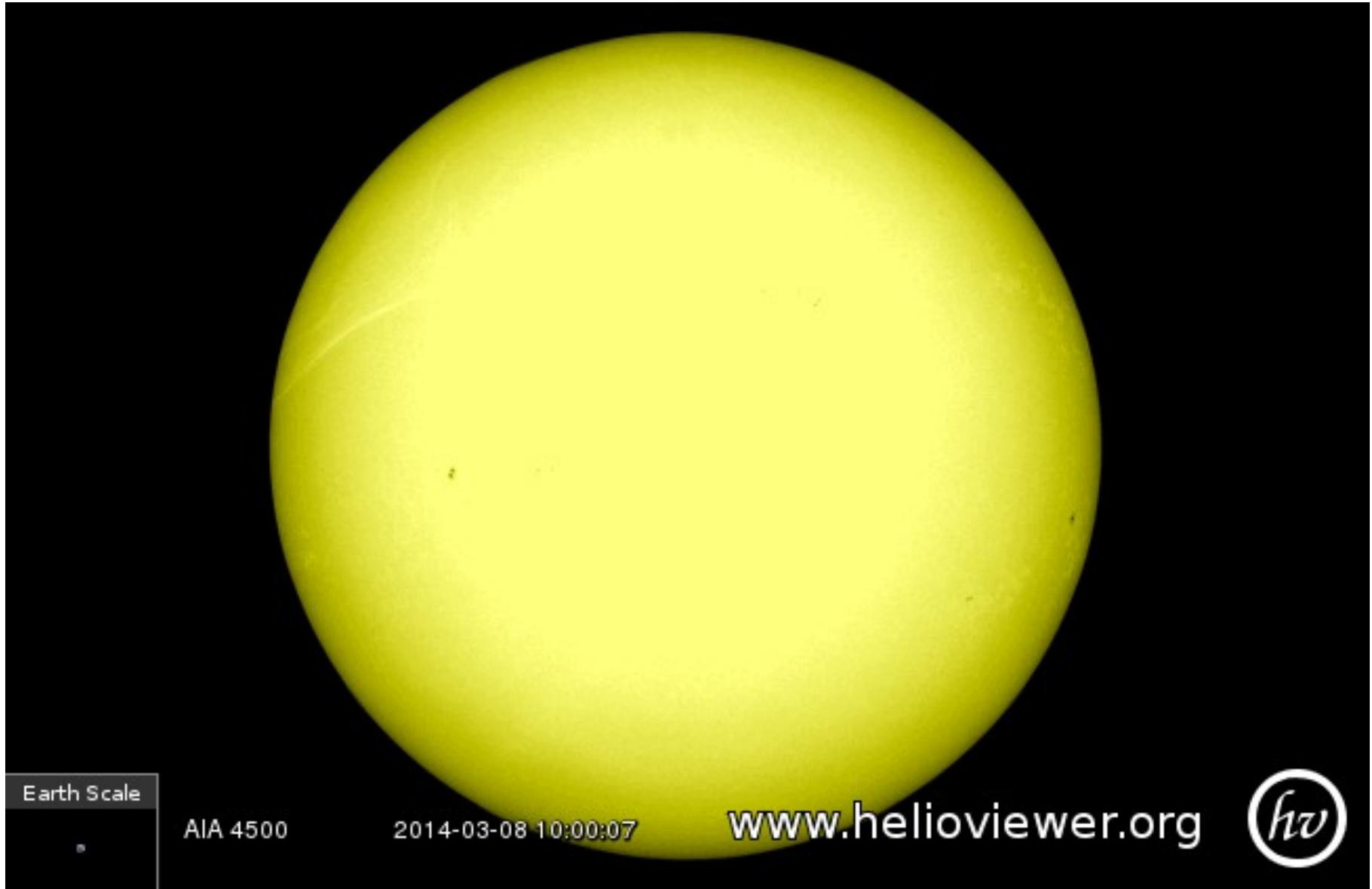


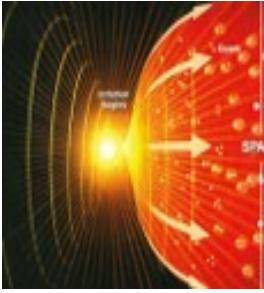
Nuestra fuente de energía



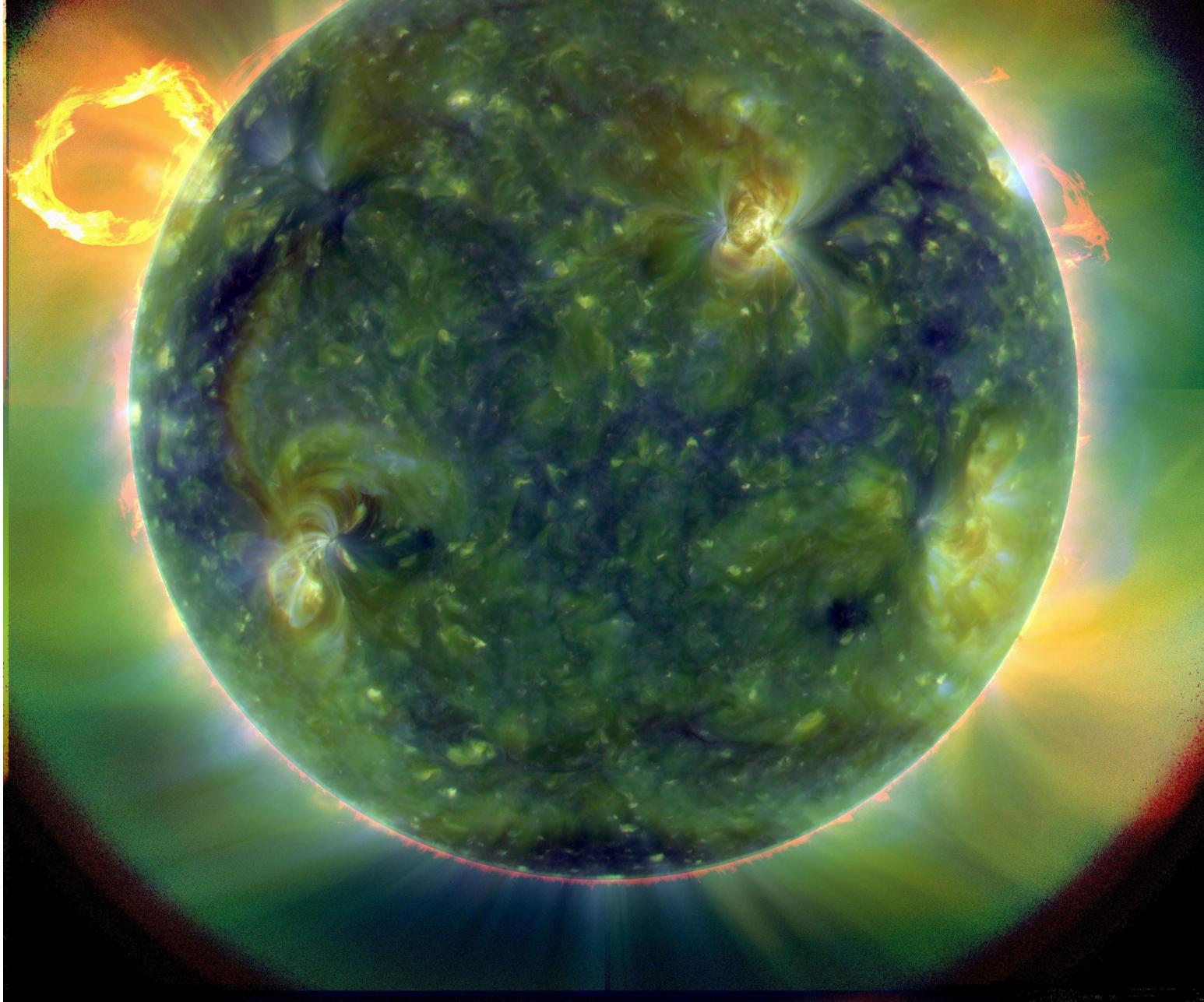


¿Amarillo o verde?

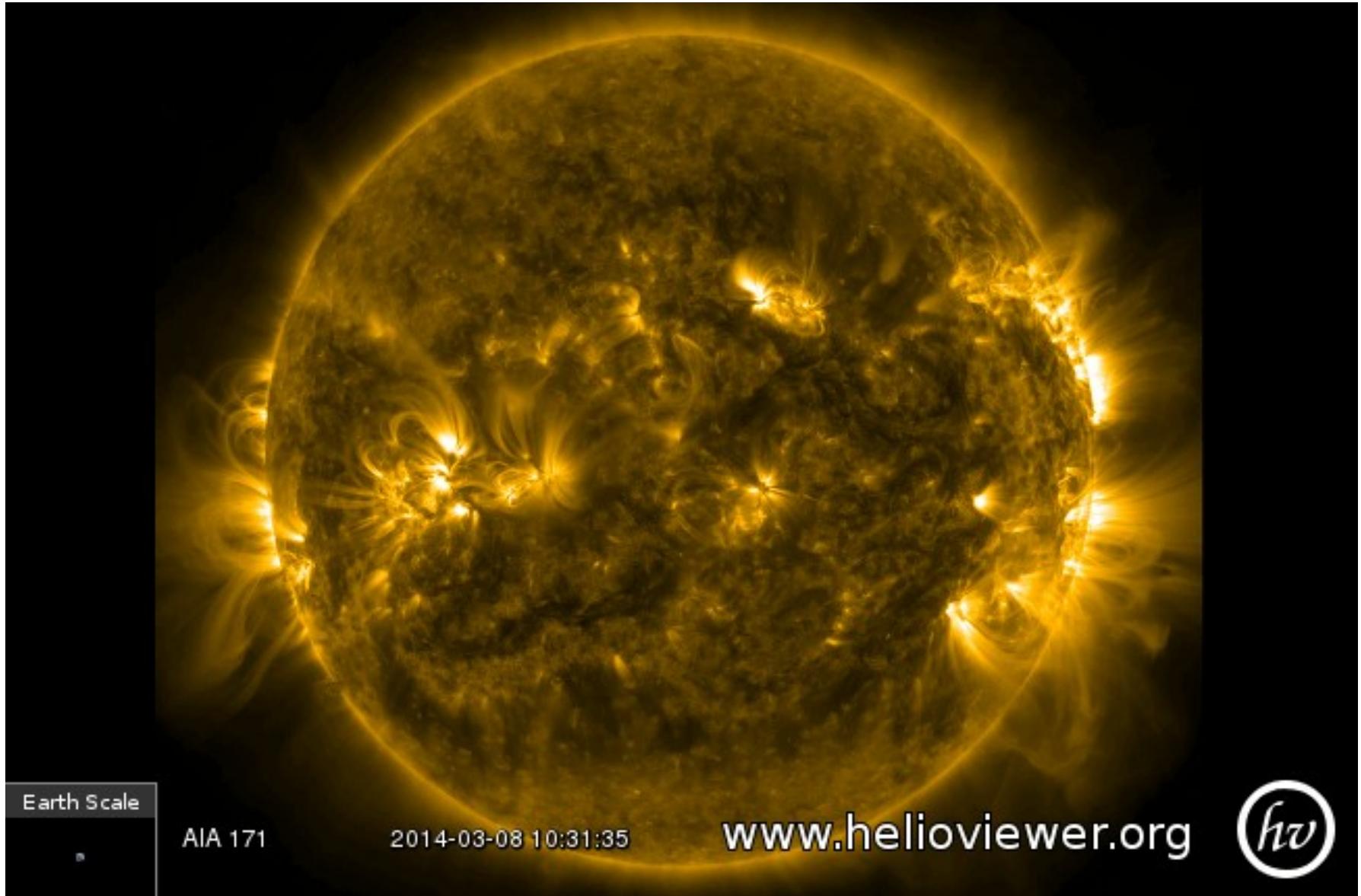




Así es nuestro Sol



Mirando en otras longitudes de onda





Es cómodo medir las cosas en términos solares

- Masa Solar:

$$M_{\text{Sol}} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg} \simeq 1000 M_{\text{Júpiter}} \simeq 333000 M_{\text{Tierra}}$$

- Radio Solar:

$$R_{\text{Sol}} = 6.96 \times 10^8 \text{ m} = 696000 \text{ km}$$

- Luminosidad Solar:

$$L_{\text{Sol}} = 3.83 \times 10^{26} \text{ W}$$

- Alto:

**1 segundo de energía liberada en el Sol
equivale a 800000 años de consumo humano (2013)**

Nebulosa de Orion

Saiph

Betelgeuse

Alnitak

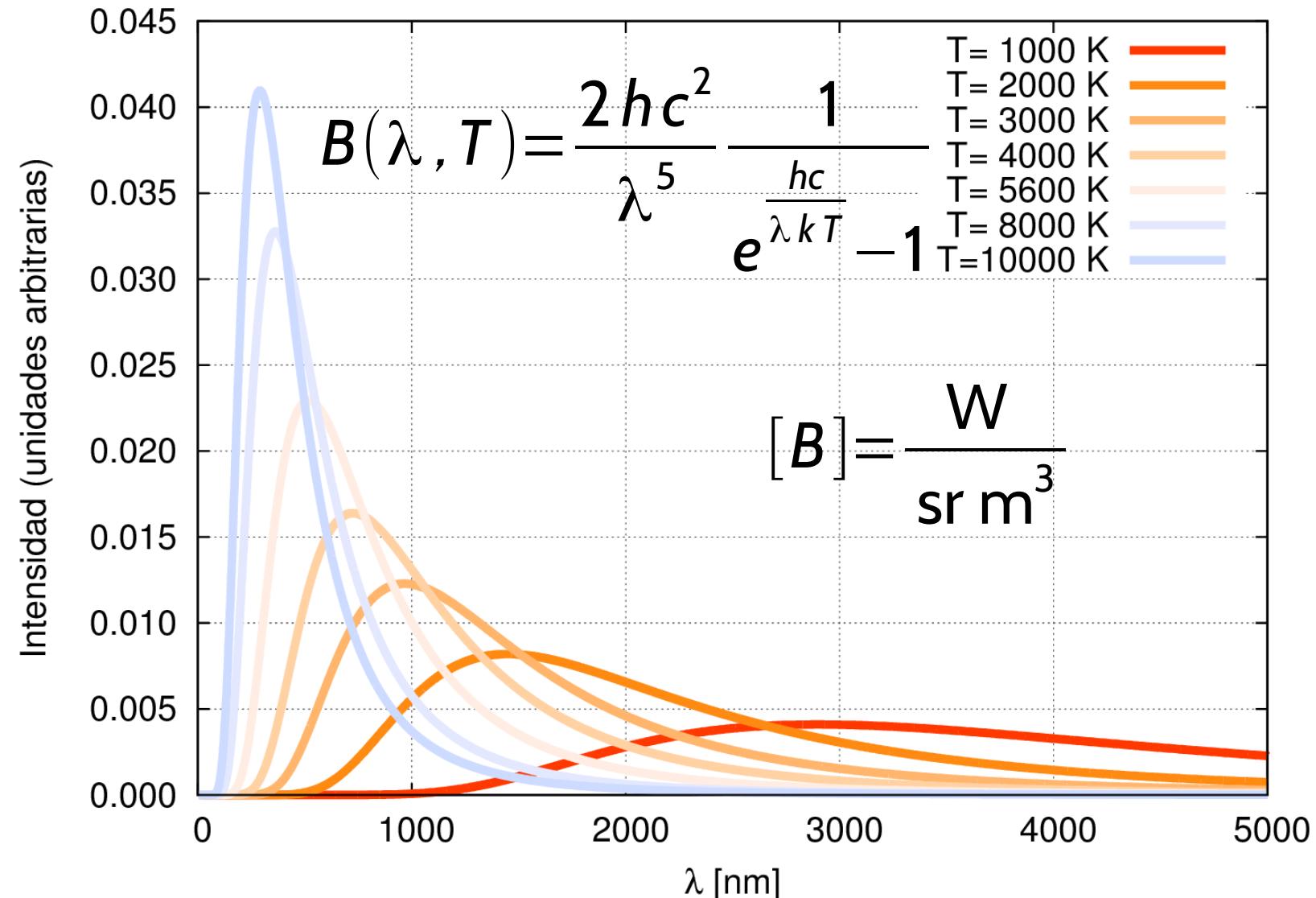
Alnilam

Mintaka

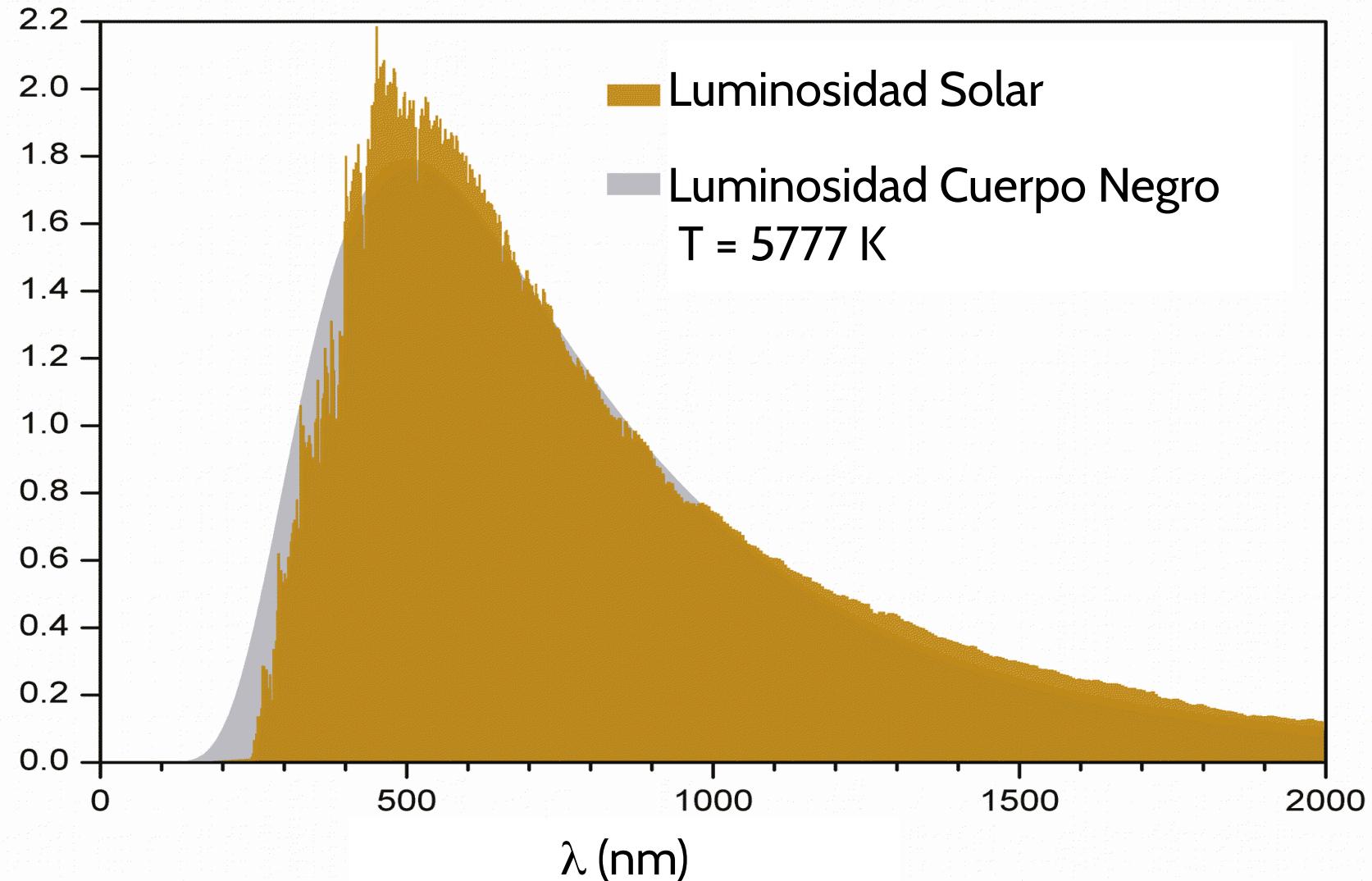
Bellatrix

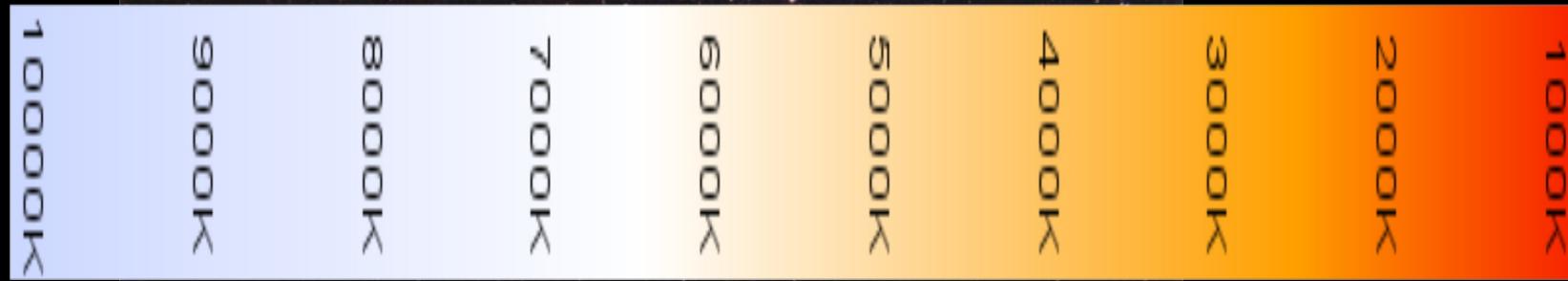
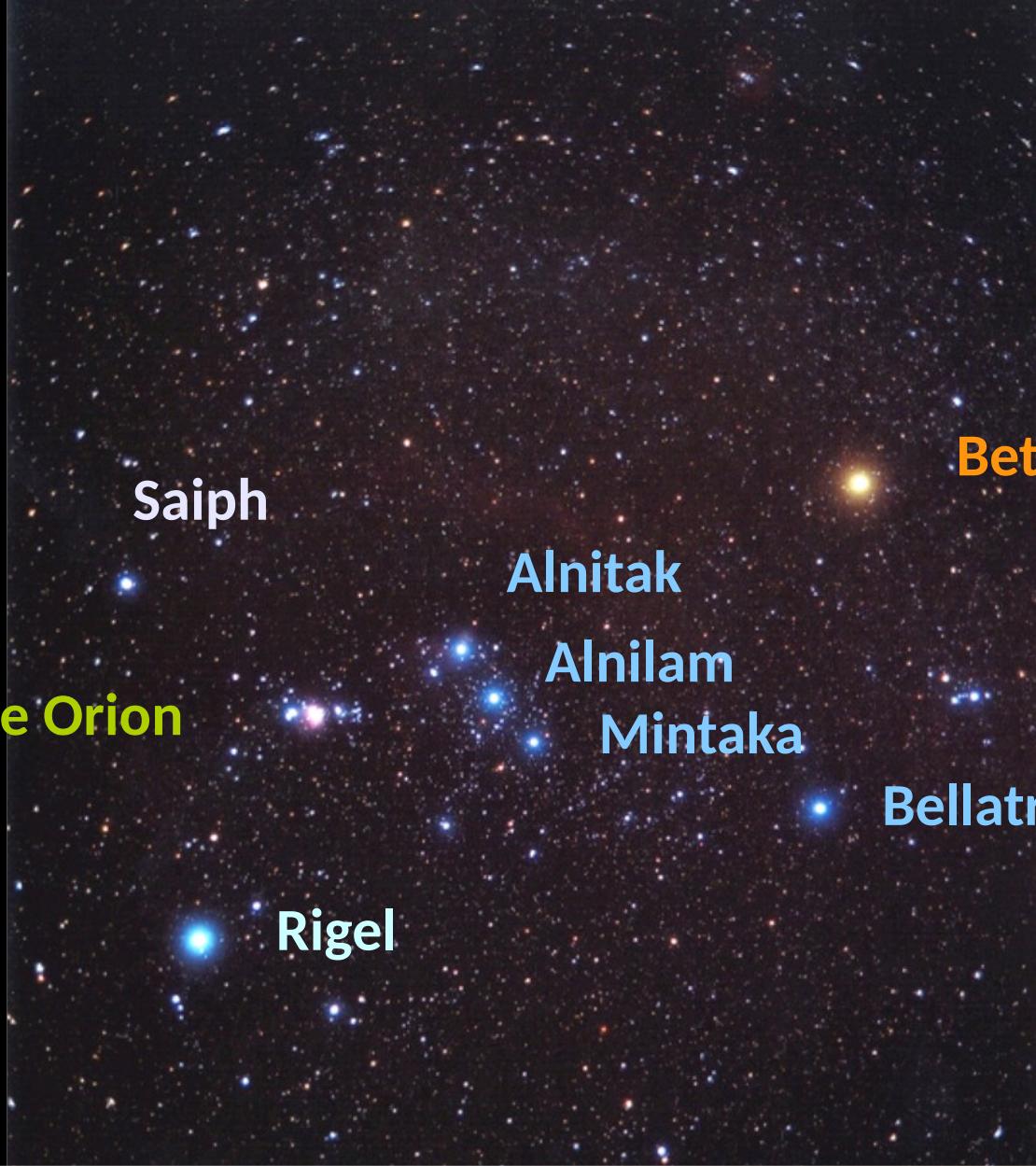
Rigel

¿Qué ruido hace un fotón al caer? ¡Planck!



El Sol como un cuerpo negro

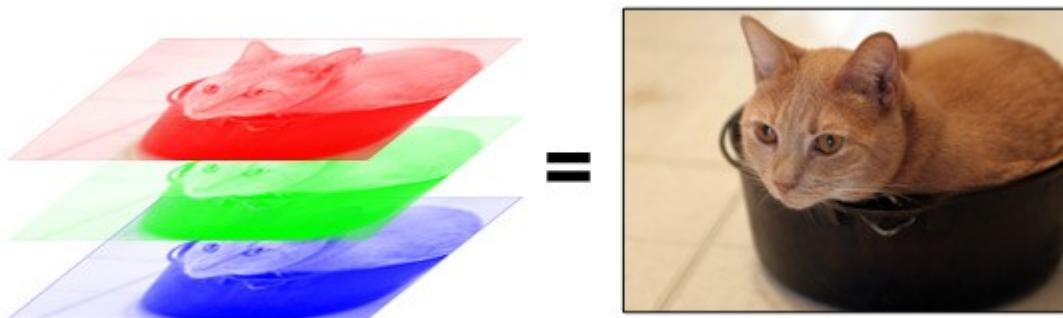
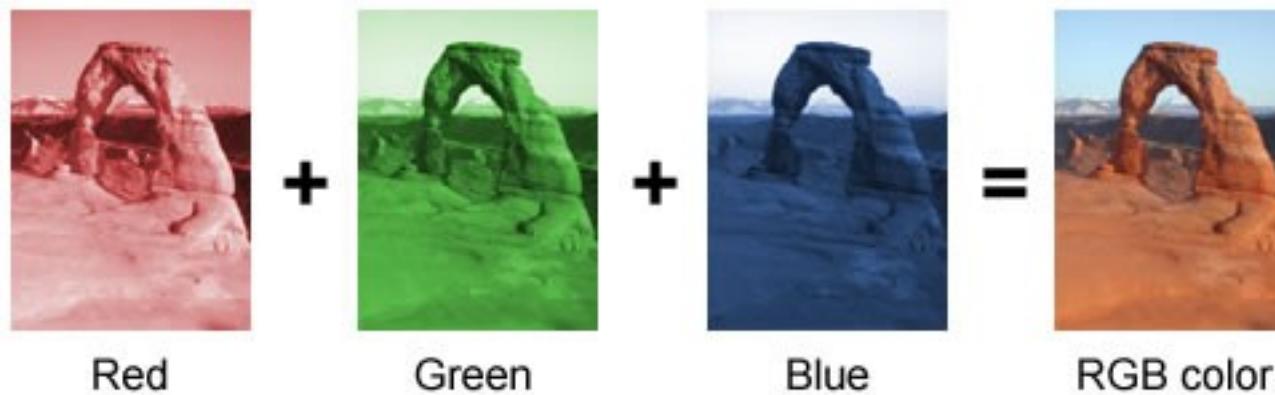






“Color” → Temperatura

- ¿Cómo cuantificar el color?

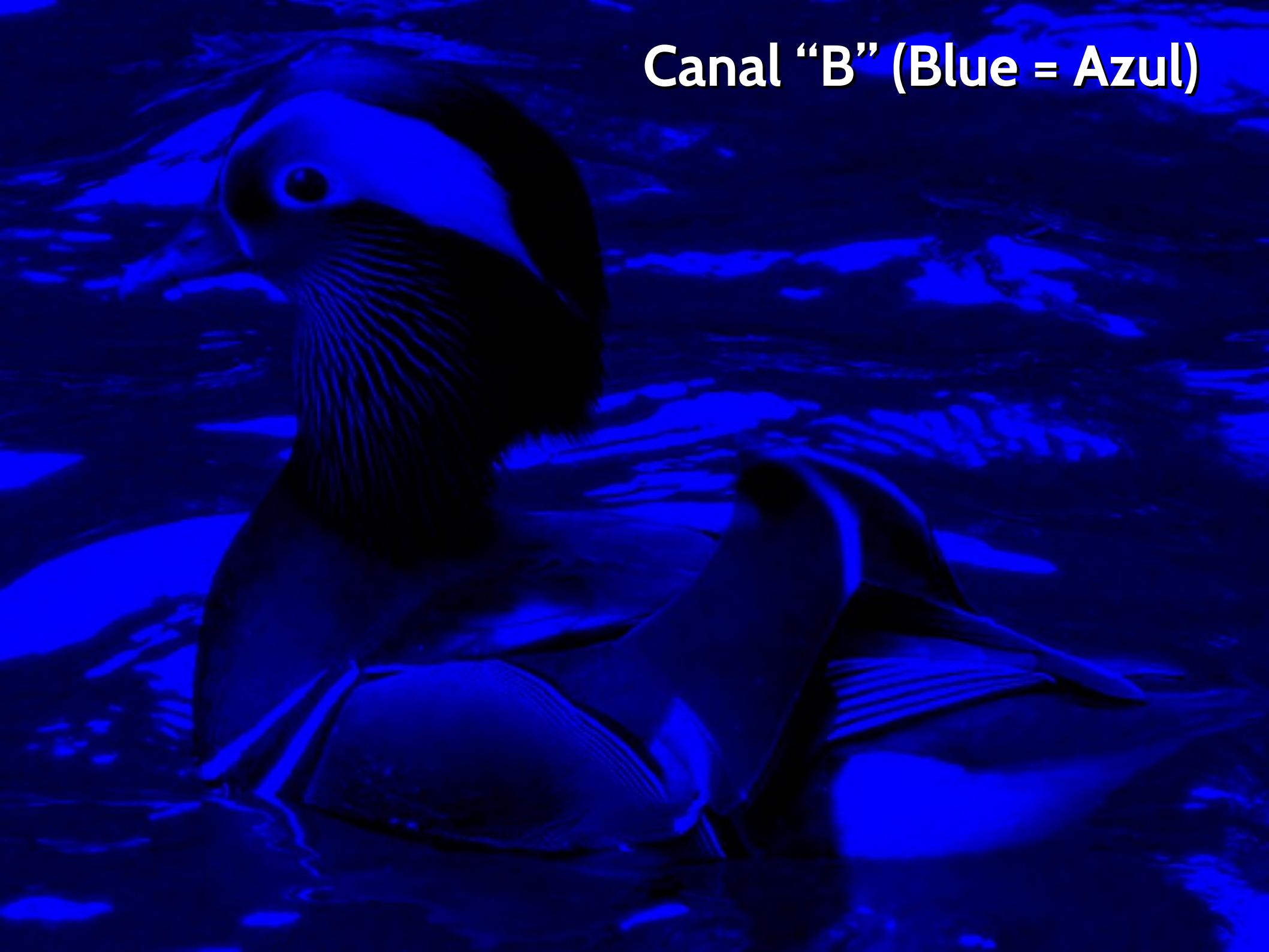




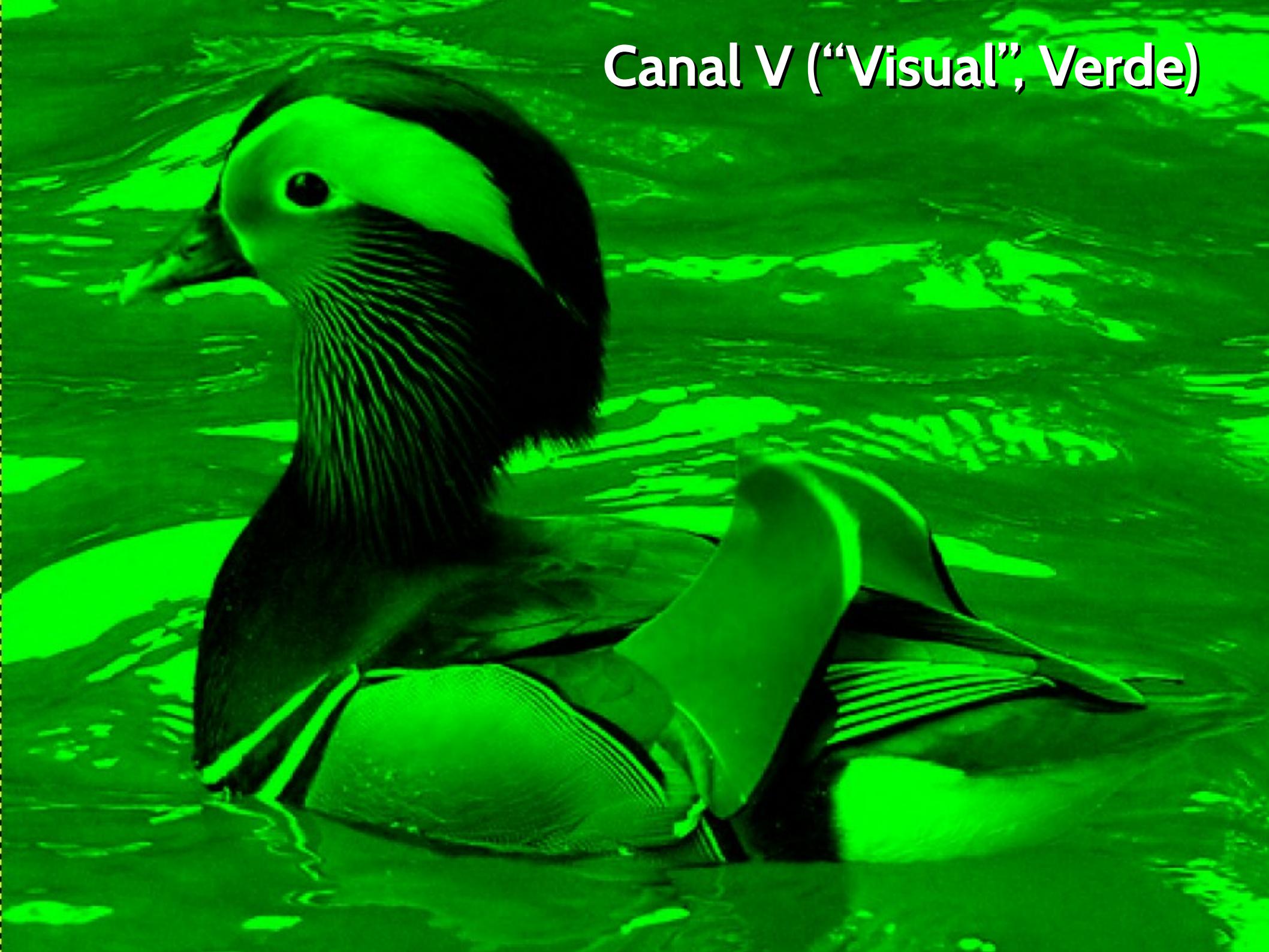
Canal “R” (Red = Rojo)

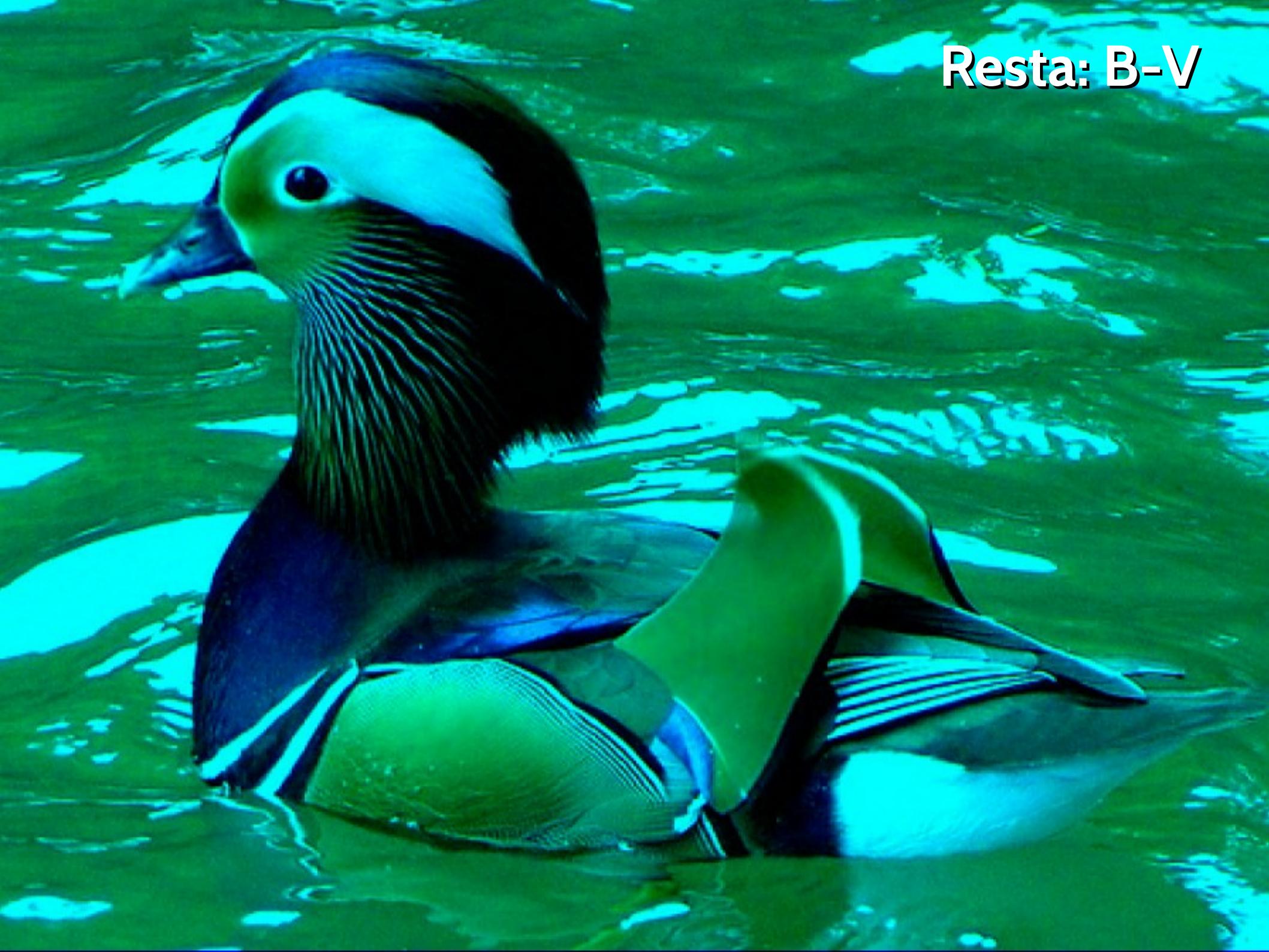


Canal “B” (Blue = Azul)



Canal V (“Visual”, Verde)





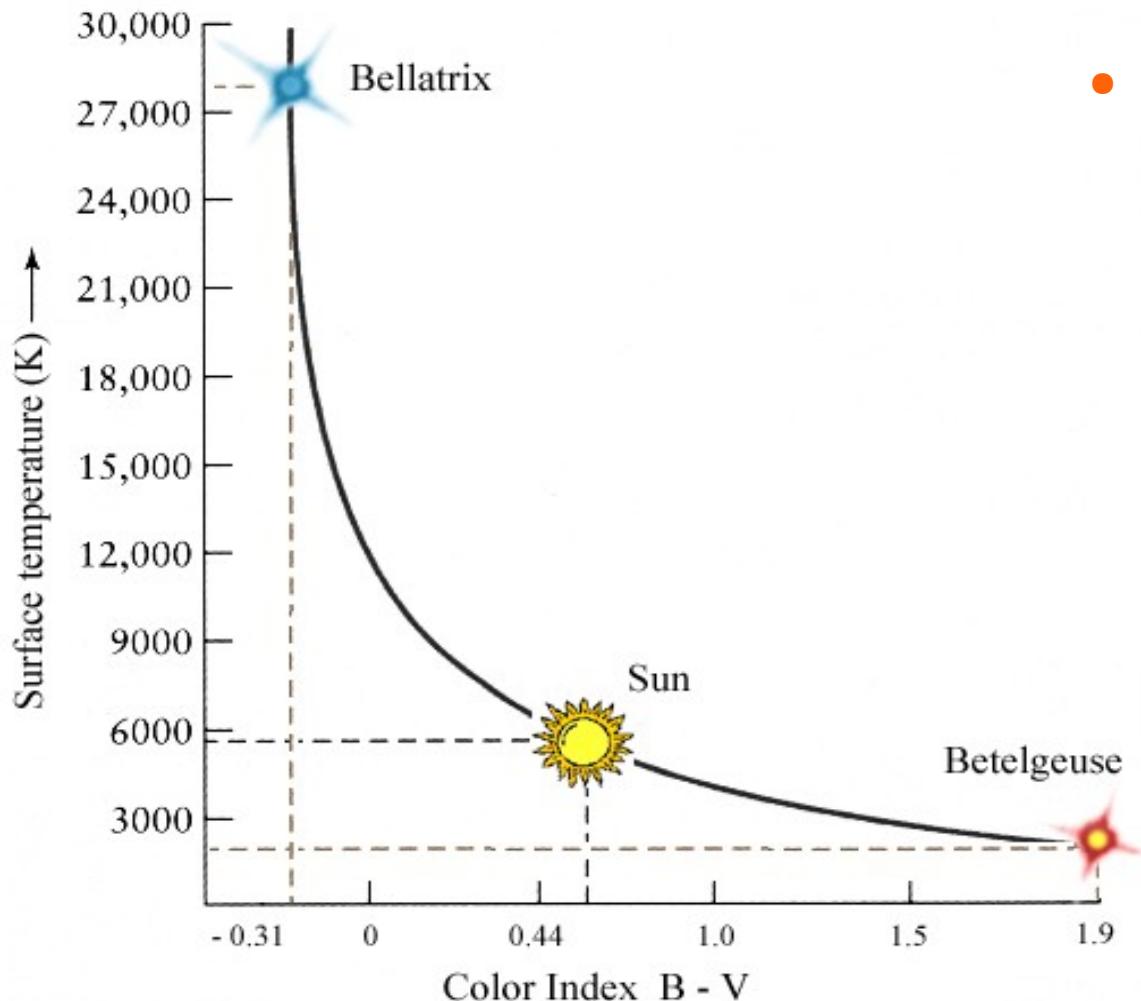
Resta: B-V



Para las estrellas → magnitudes



Se observa que para estrellas, $B-V \rightarrow T$



- Índice B-V

- m_B =magnitud en el canal B
- m_V =magnitud en el canal V

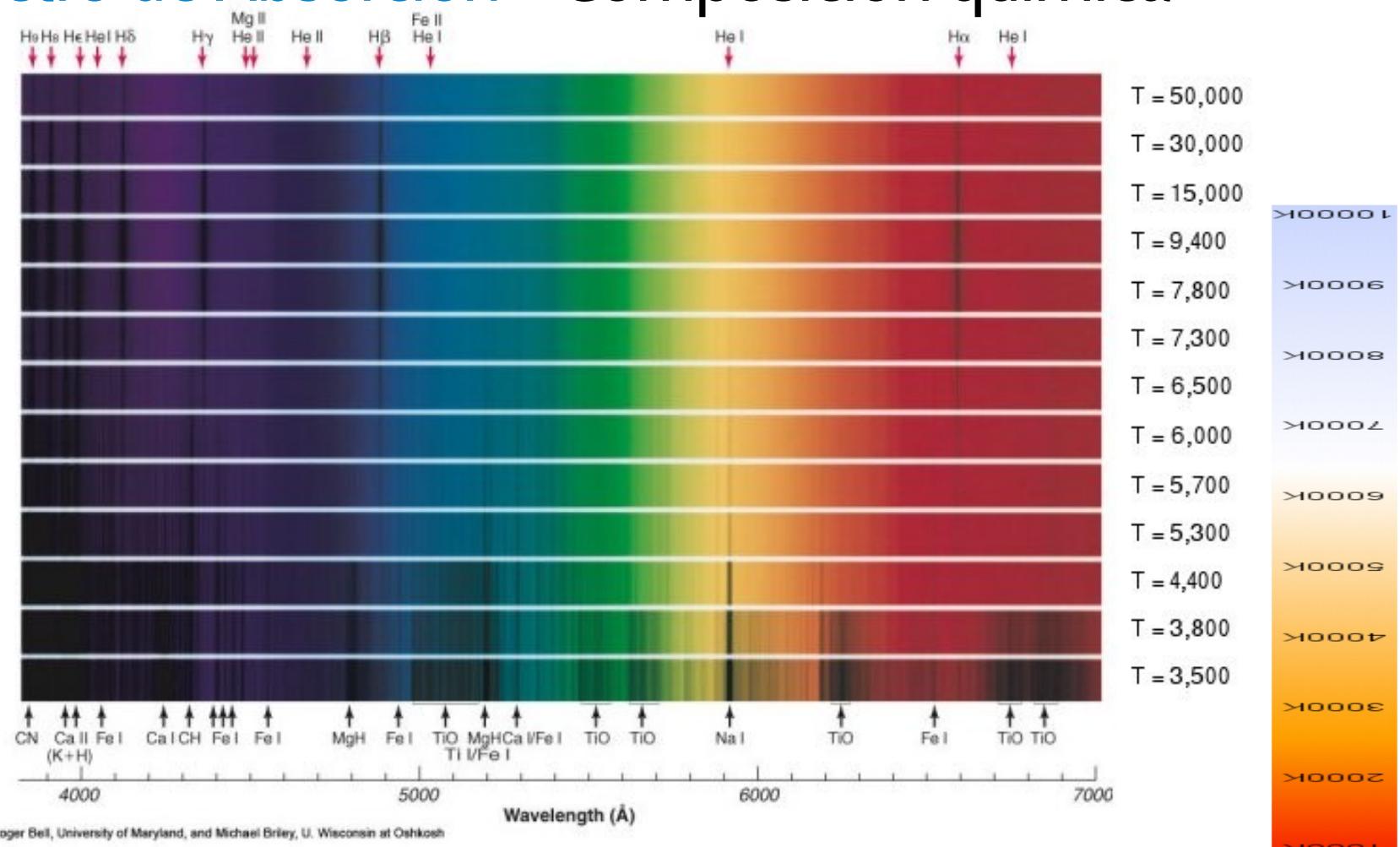
$$(B-V) = m_B - m_V$$

(Recordar que m es logarítmica)

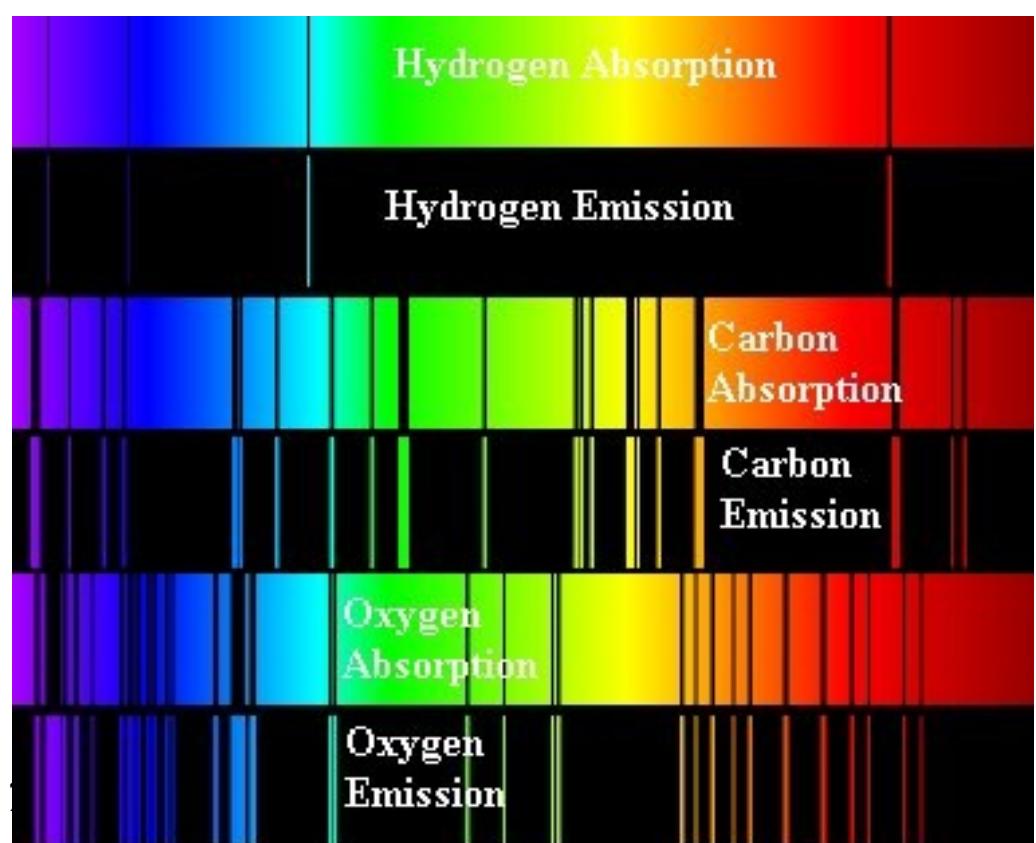
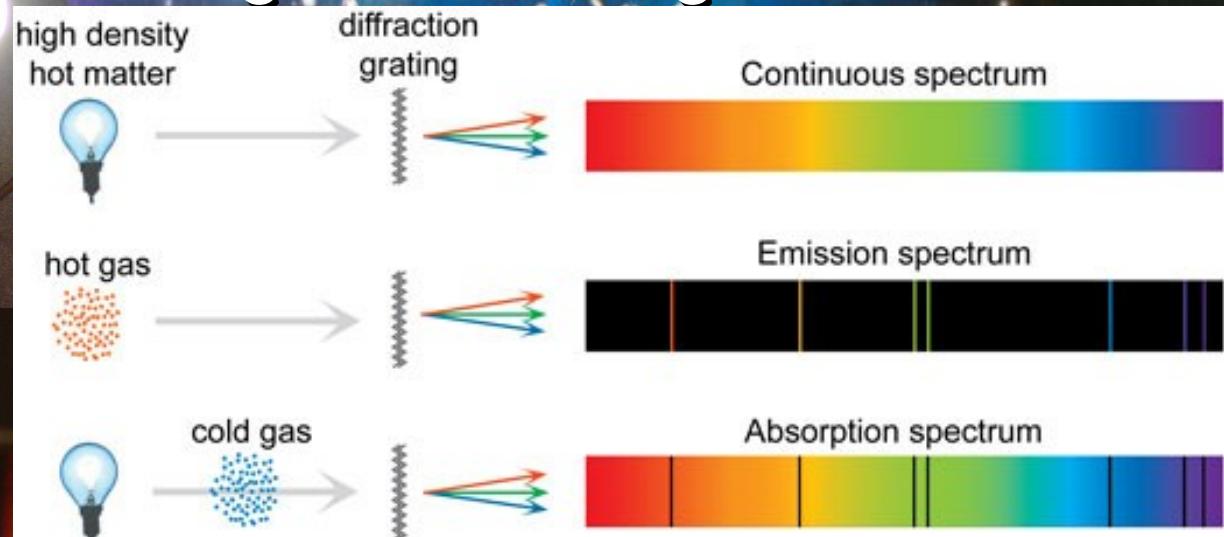
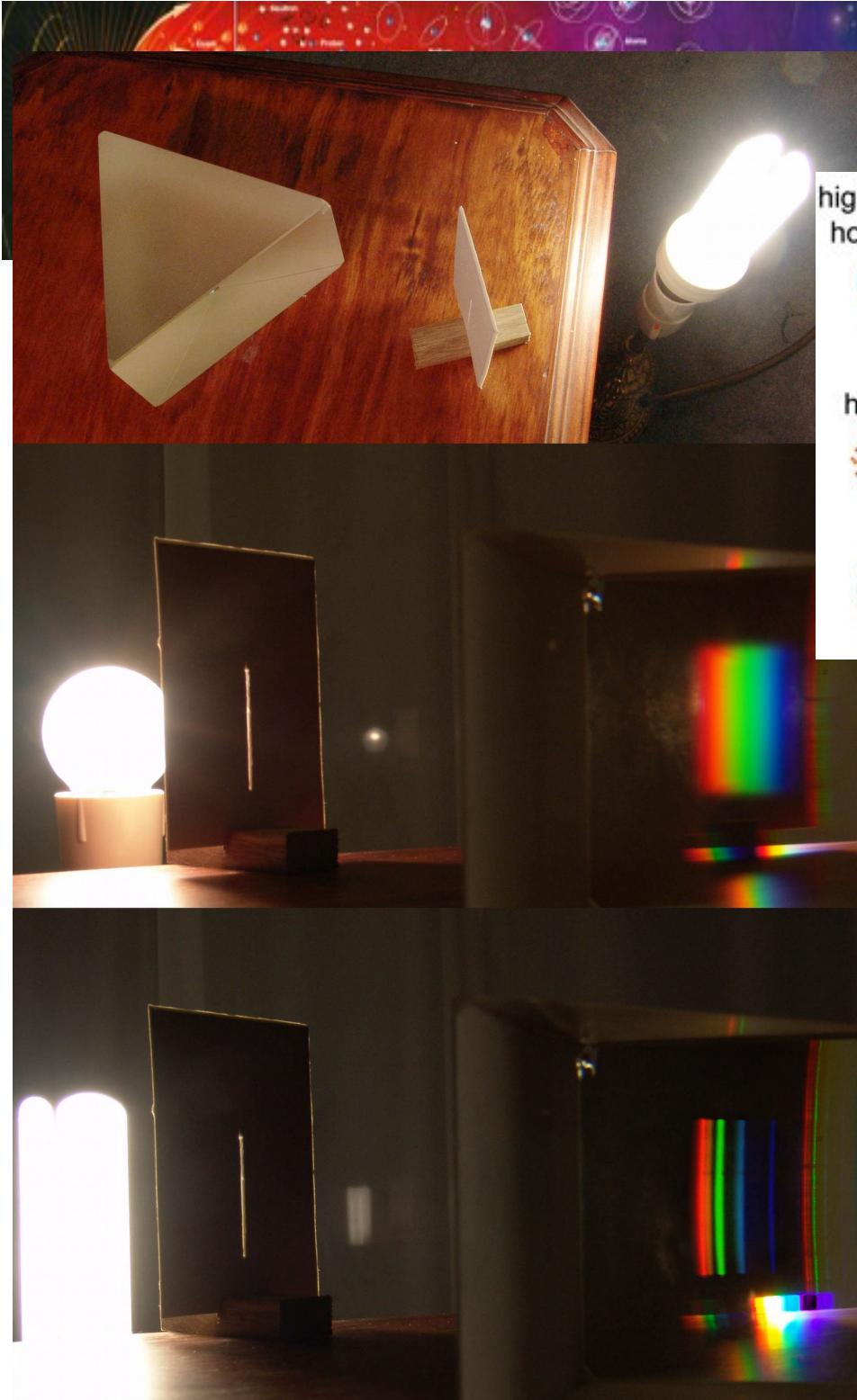
$$T = 4600 \left(\frac{1}{0.92(B-V)+1.7} + \frac{1}{0.92(B-V)+0.62} \right) K$$

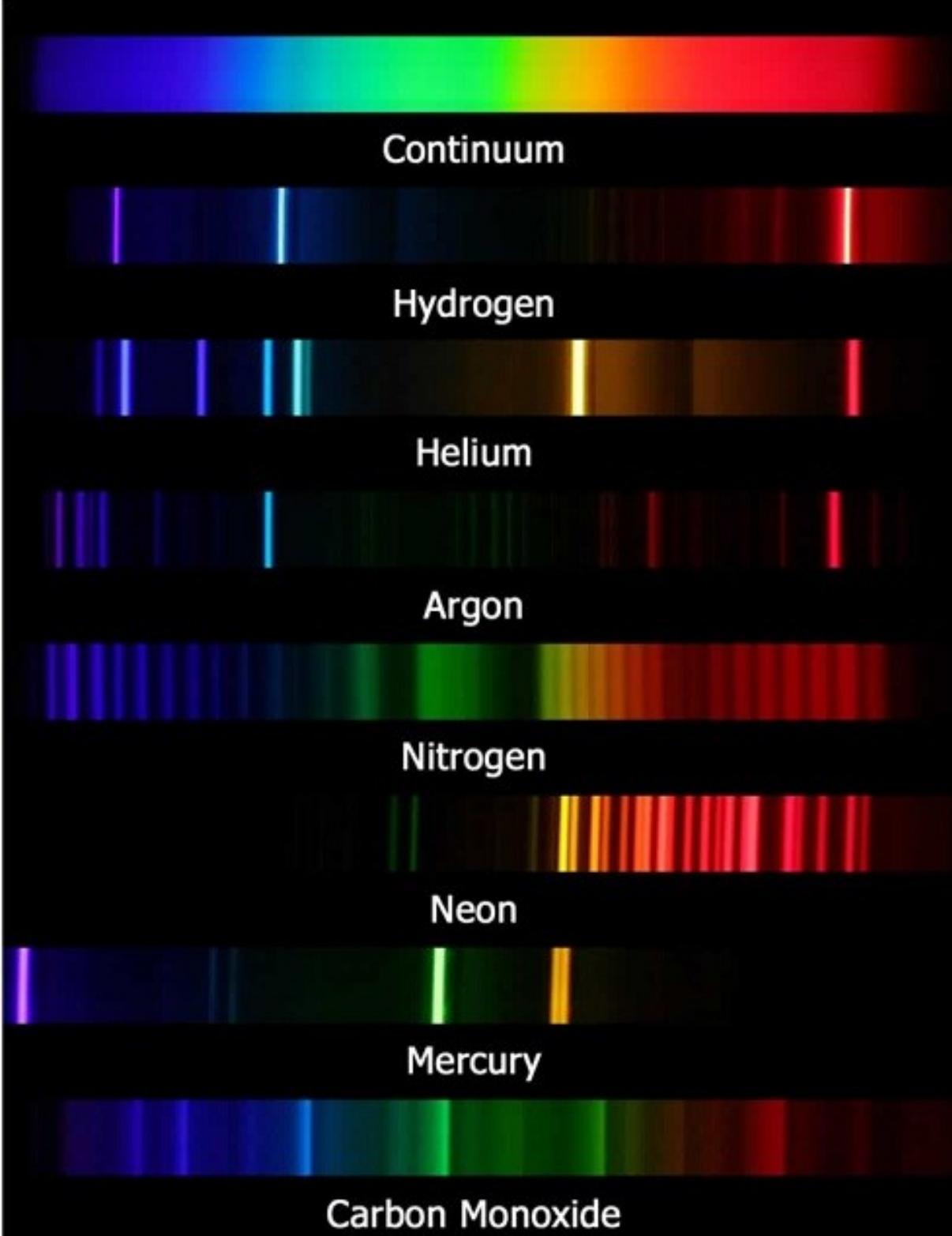
Espectros estelares

- Emisión continua → Cuerpo Negro → Color → Temp.
- Espectro de Absorción → Composición química



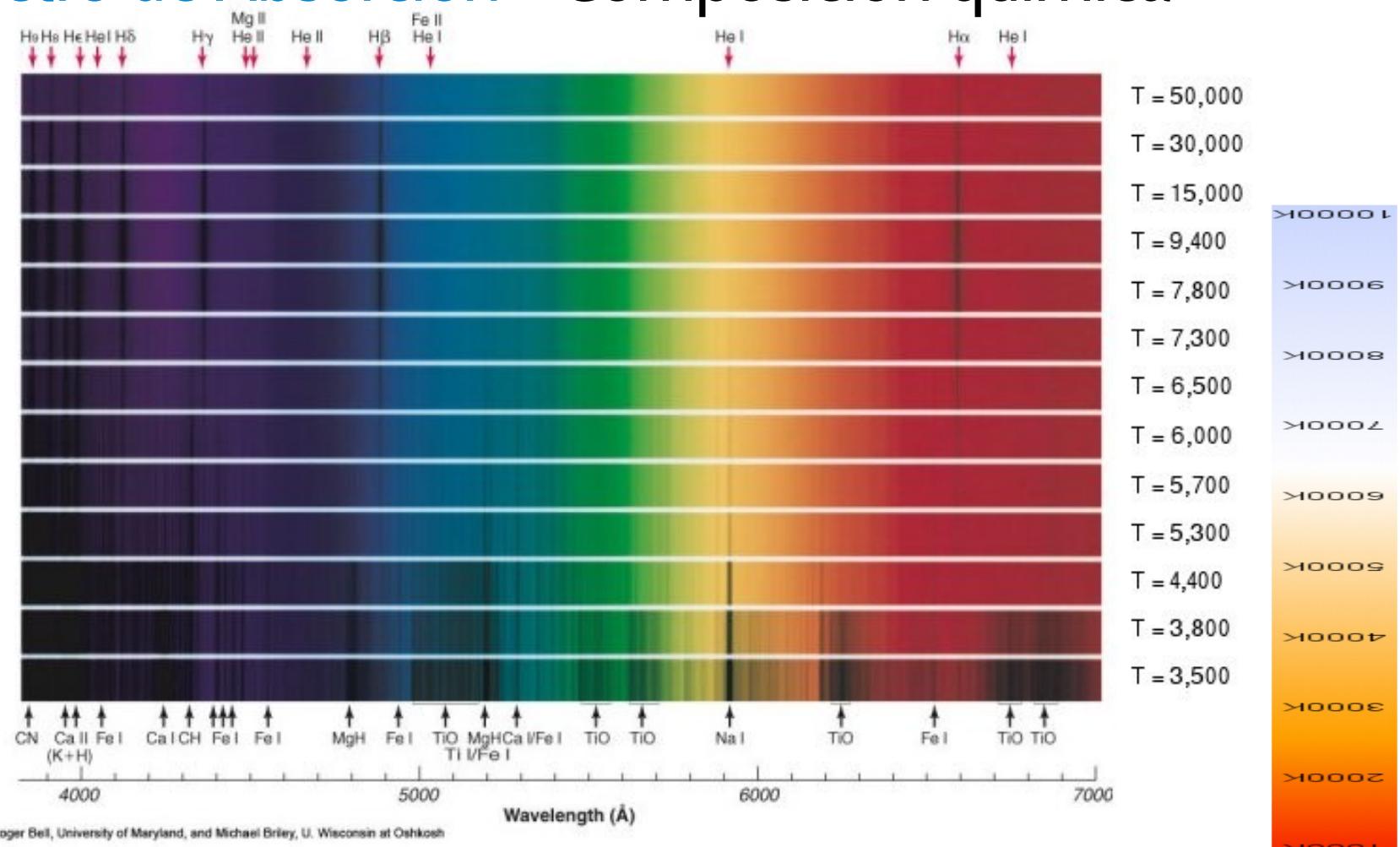
¿Emisión? ¿Absorción?





Espectros estelares

- Emisión continua → Cuerpo Negro → Color → Temp.
- Espectro de Absorción → Composición química



¡Podemos clasificarlas!

- A B C... por temperatura superficial

O B A F G K M R N S

- Oh Be A Fine Girl and Kiss Me Right Now Sweet
- Oh Besame Amor, Fasinadora Gitana, Kilómetros Median Rompiendo Nuestros Sueños

Cada clase se divide en 10 subclases, numeradas de 0 a 9

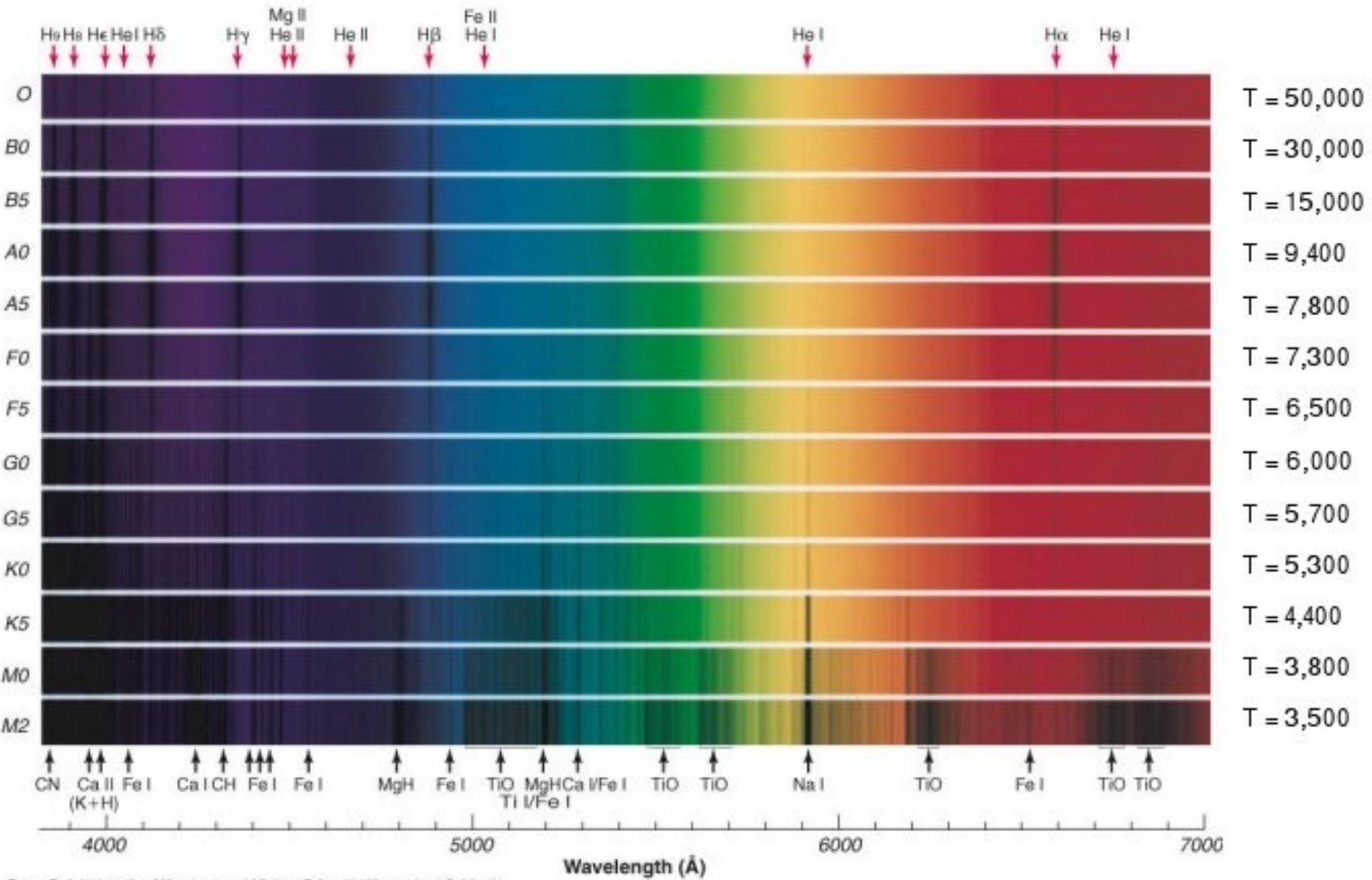




Para decirle a un ser amado

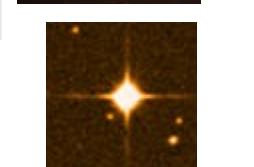
Oh Besame Amor,
Fasinadora Gitana,
Kilómetros Median
Rompiendo Nuestros
Sueños

Clasificación espectral



Roger Bell, University of Maryland, and Michael Briley, U. Wisconsin at Oshkosh

Algunos ejemplos

Todo expresado en unidades solares (Radio, Masa, Luminosidad)			
O Azul; T > 33000 K	M > 16; R > 7; L > 30000	Mintaka (d-Ori)	
B Blanco Azulado; 10000<T<30000K	2 < M < 16; 2 < R < 7; 25 < L < 30000	Rigel (b-Ori)	
A Blanco; 7500<T<10000 K	1.4 < M < 2; 1.4 < R < 2; 5 < L < 25	Sirio (a-CMa)	
F Blanco Amarillento 6000<T<7500 K	1.04 < M < 2; 1.1 < R < 1.4; 1.5 < L < 5	Canopus (a-Car)	
G Amarillo 5200<T<6000 K	0.8 < M < 1.04; 0.9 < R < 1.1; 0.6 < L < 1.5	Sol (el nuestro)	
K Naranja 3700<T<5200 K	0.5 < M < 0.8; 0.7 < R < 0.9; 0.08 < L < 0.6	Arturo (a-Boo)	
M Rojas T<3700 K	M < 0.5; R < 0.7; L < 0.08	Gliese 581 (Lib)	

¿Qué define todo?

- **Relaciones entre parámetros:**

- Luminosidad (L)
- Masa (M)
- Temperatura (T)
- Radio (R)

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 4\pi\sigma R^2 T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

- **¿Cuál es el más importante en condiciones normales?**

- **Cantidad de materia → Masa**
- Está fijada por condiciones externas → Nacimiento

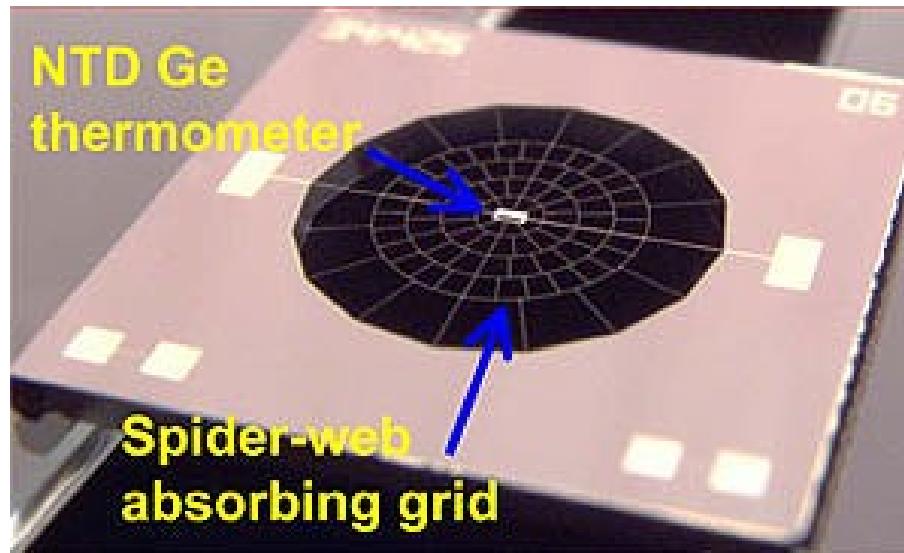
Para entender la estrella

- Debemos averiguar estos parámetros:
 - Temperatura (T), Luminosidad (L), Radio estelar (R), Masa (M)



¿Cómo se mide la luminosidad?

- **Bolómetro: instrumento para medir el flujo de radiación electromagnética en distintas bandas (IR,V,UV...)**



- Uso la definición del flujo sobre la superficie esfera:

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

- Conociendo la distancia d (próxima unidad), puedo calcular la luminosidad:

$$L = 4\pi d^2 F$$

- Ó, conociendo L , calculo d

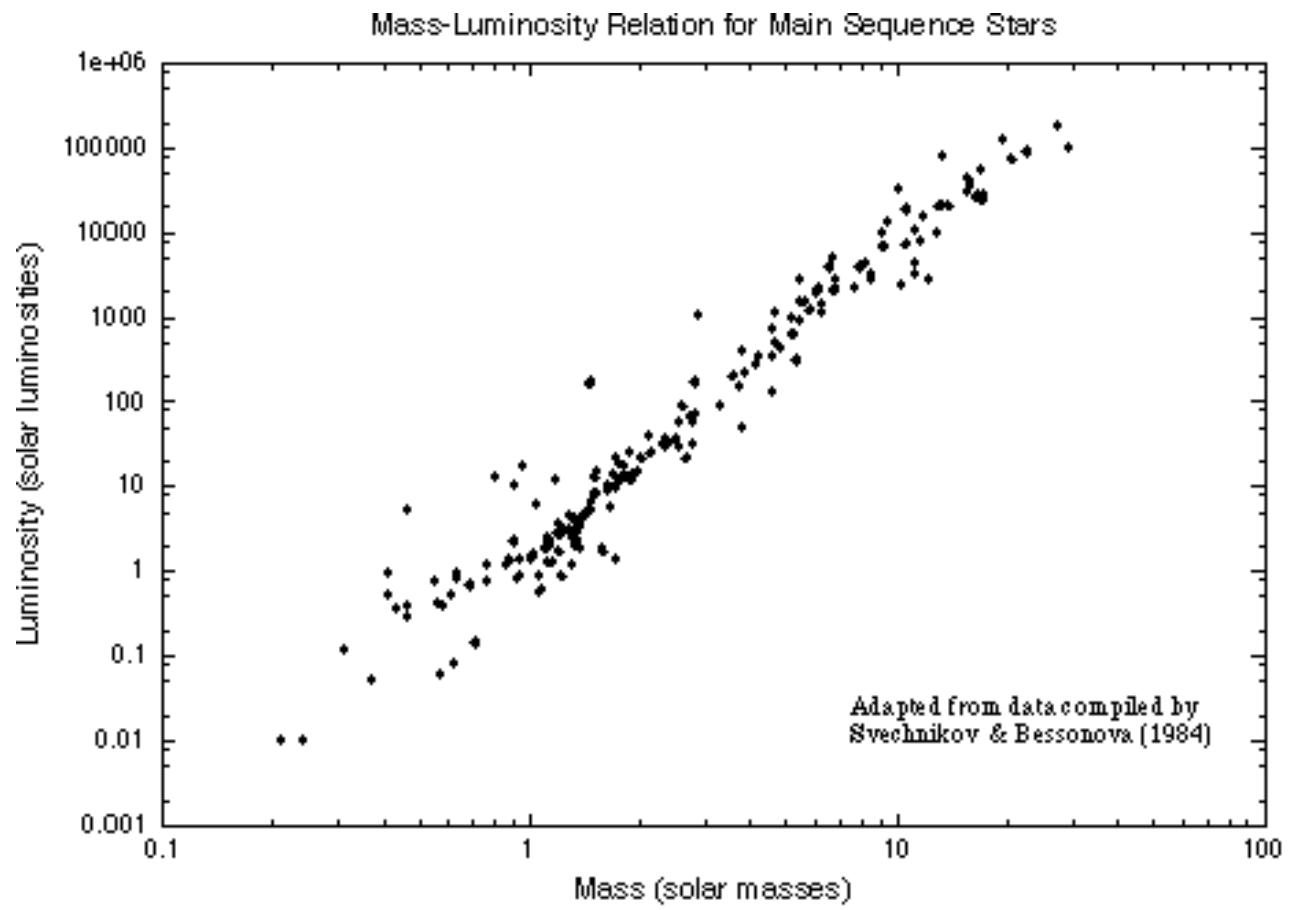
$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

Luminosidad → Masa

- Si: $(0.1 < \text{Masa Estelar} < 50)$ masas solares:
L es proporcional a la M^4
- Nota: En general, M^a , con a entre 3 y 4 (~ masa)

$$\left(\frac{L_{\text{Estrella}}}{L_{\text{Sol}}} \right) = \left(\frac{M_{\text{Estrella}}}{M_{\text{Sol}}} \right)^4$$

Oct 02, 2019

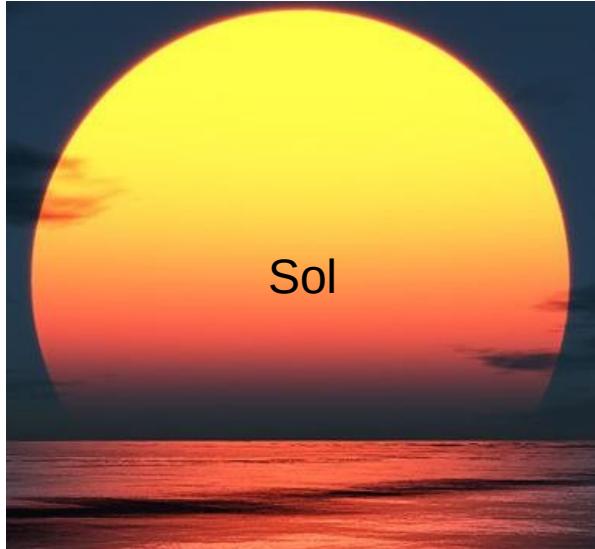




Luminosidad → Masa

- Ejemplo

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- $T = 5700 \text{ K}$ (Amarilla)
- $L = L_S$
- $T = 3400 \text{ K}$ (Roja)
- $L = 135000 L_S$

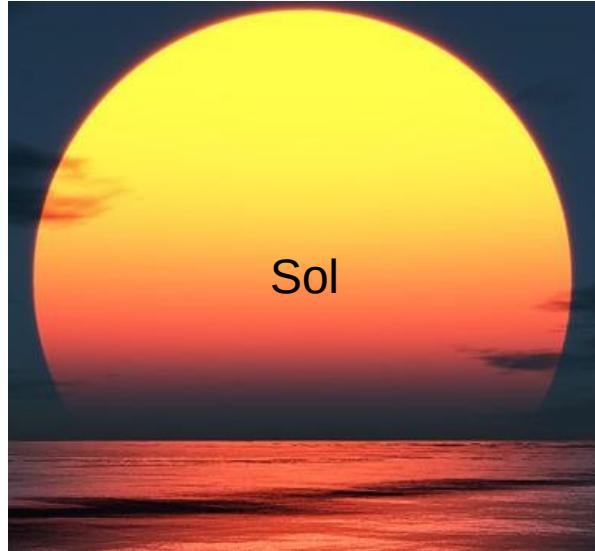
Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- $T = 5700 \text{ K}$ (Amarilla)
- $L = L_S$
- $T = 3400 \text{ K}$ (Roja)
- $L = 135000 L_S$

**Menor temperatura,
menos emisión
Pero, la emisión es
mucho mayor**

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- $T = 5700 \text{ K}$ (Amarilla)
- $L = L_S$

Menor temperatura,
menos emisión
Pero, la emisión es
mucho mayor

- $T = 3400 \text{ K}$ (Roja)
- $L = 135000 L_S$

**Betelgeuse debe
ser mucho más
grande que el
Sol**



Radio Estelar

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^4$$

- Comparando las temperaturas
- ¡Pero también depende del radio!



Radio Estelar

- Veamos.... $(T_B/T_S)^4$
 - $(3400 / 5700)^4 \sim= 1/7.8$
 - Si dependiera sólo de T, el Sol sería 7.8 veces más luminoso que Betelguese
- Pero...

$$L_B / L_S = [(4\pi R_B^2) \sigma T_B^4] / [(4\pi R_S^2) \sigma T_S^4]$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 (T_B/T_S)^4$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 / 7.8$$

$$1.053 \times 10^6 = (R_B/R_S)^2$$

- Veamos.... $(T_B/T_S)^4$

$$R_B = 1026 R_{\text{Sol}}$$

Betelgeuse es una supergigante roja

mas luminoso que Betelgeuse

- Pero...

$$L_B / L_S = [(4\pi R_B^2) \sigma T_B^4] / [(4\pi R_S^2) \sigma T_S^4]$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 (T_B/T_S)^4$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 / 7.8$$

$$1.053 \times 10^6 = (R_B/R_S)^2$$

Tamaños estelares



