Universidad Nacional de Río Negro
Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2017

- **Unidad** 02 – Astrofísica
- **Clase** U02 C04 – 10
- **Fecha** 12 Oct 2017
- **Cont** Estrellas 2
- **Cátedra** Asorey
- **Web** github.com/asoreyh/unrn-ipac
  www.facebook.com/fisicareconocida/

RIO NEGRO

Contenidos: un viaje en el tiempo

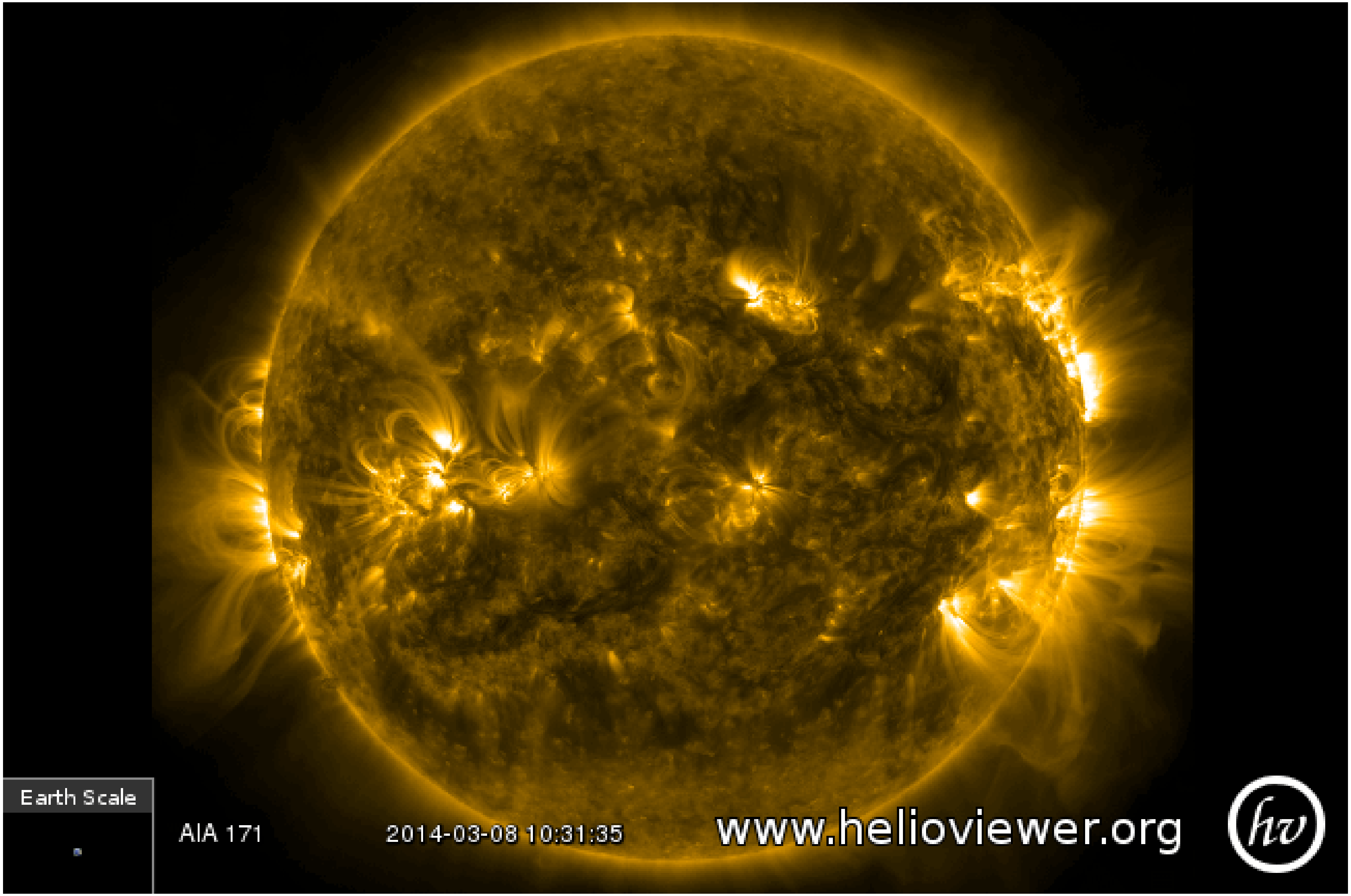
Magnitud absoluta

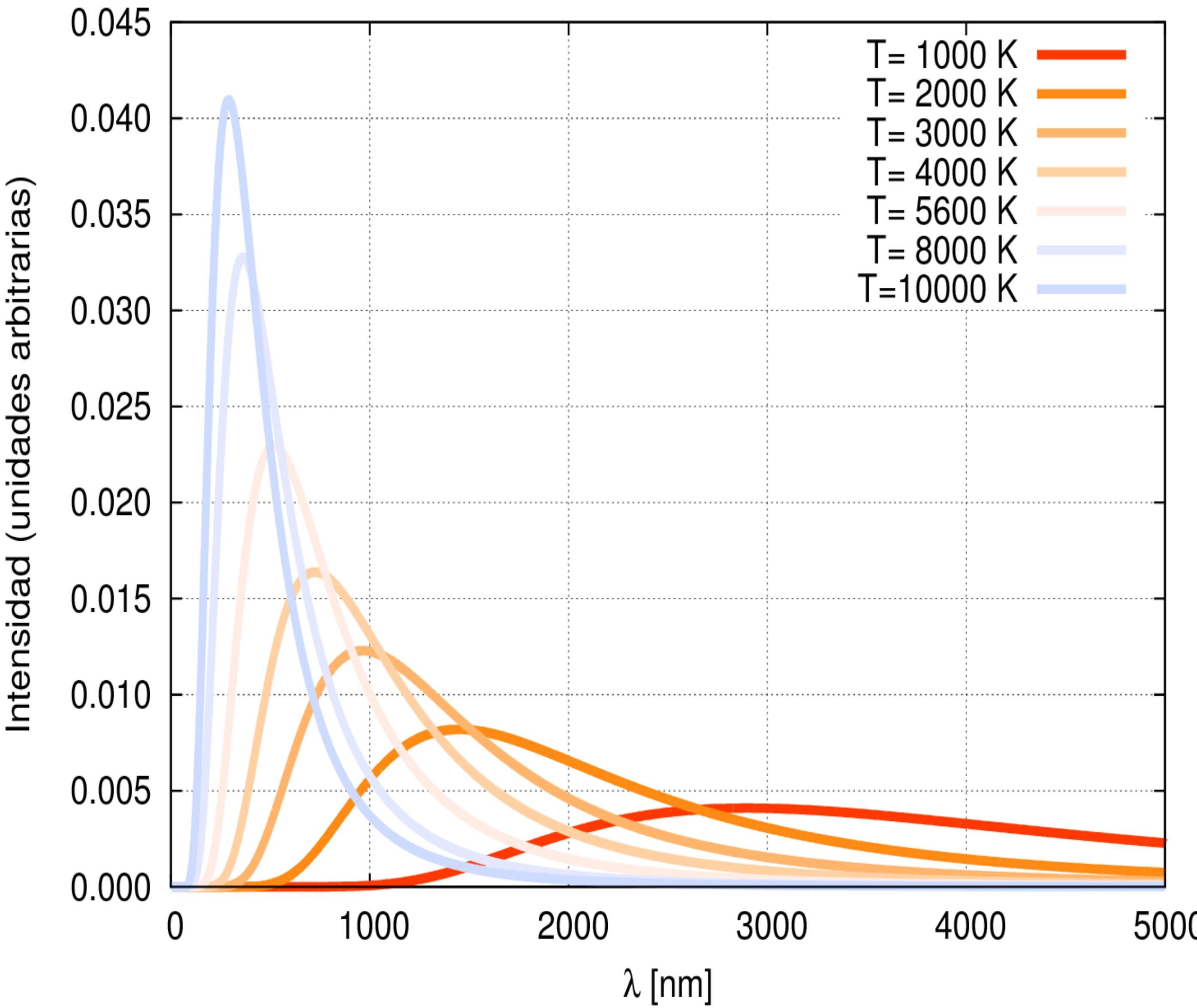
- **Magnitud absoluta M**, es la magnitud aparente que tendría una estrella si su distancia fuera de 10pc
  - Relación con la magnitud aparente **m** y la distancia **d**: (medida en parsecs):

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

  - 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 (δOri): m=2.4, M=-4.84
    - Sirio (aCMa): m=-1.45, M=1.44

Mirando en otras longitudes de onda





- Ley de Wien
  - Posición de λ_{max}

$$\lambda_{max}=\frac{b}{T}$$

$$b=2.9\,mm\,K$$

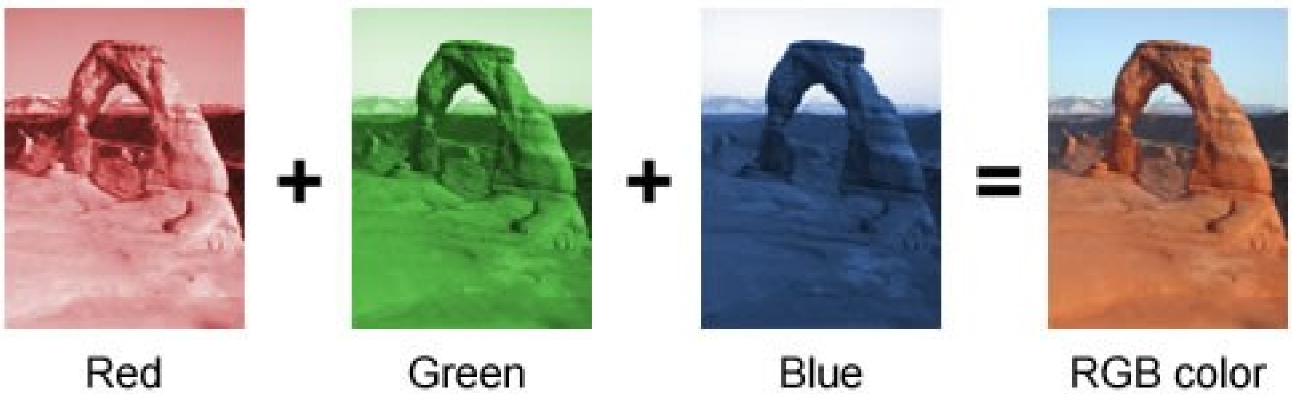
- Ley de Stefan-Boltzmann

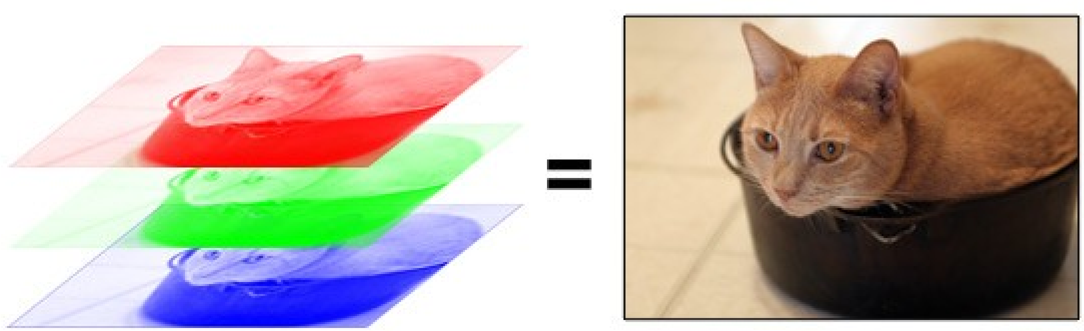
$$L\equiv\frac{\Delta E}{\Delta t}=\sigma A T^4$$

$$\sigma=5.67\times10^{-8}\,W\,m^{-2}\,K^{-4}$$

"Color" → Temperatura

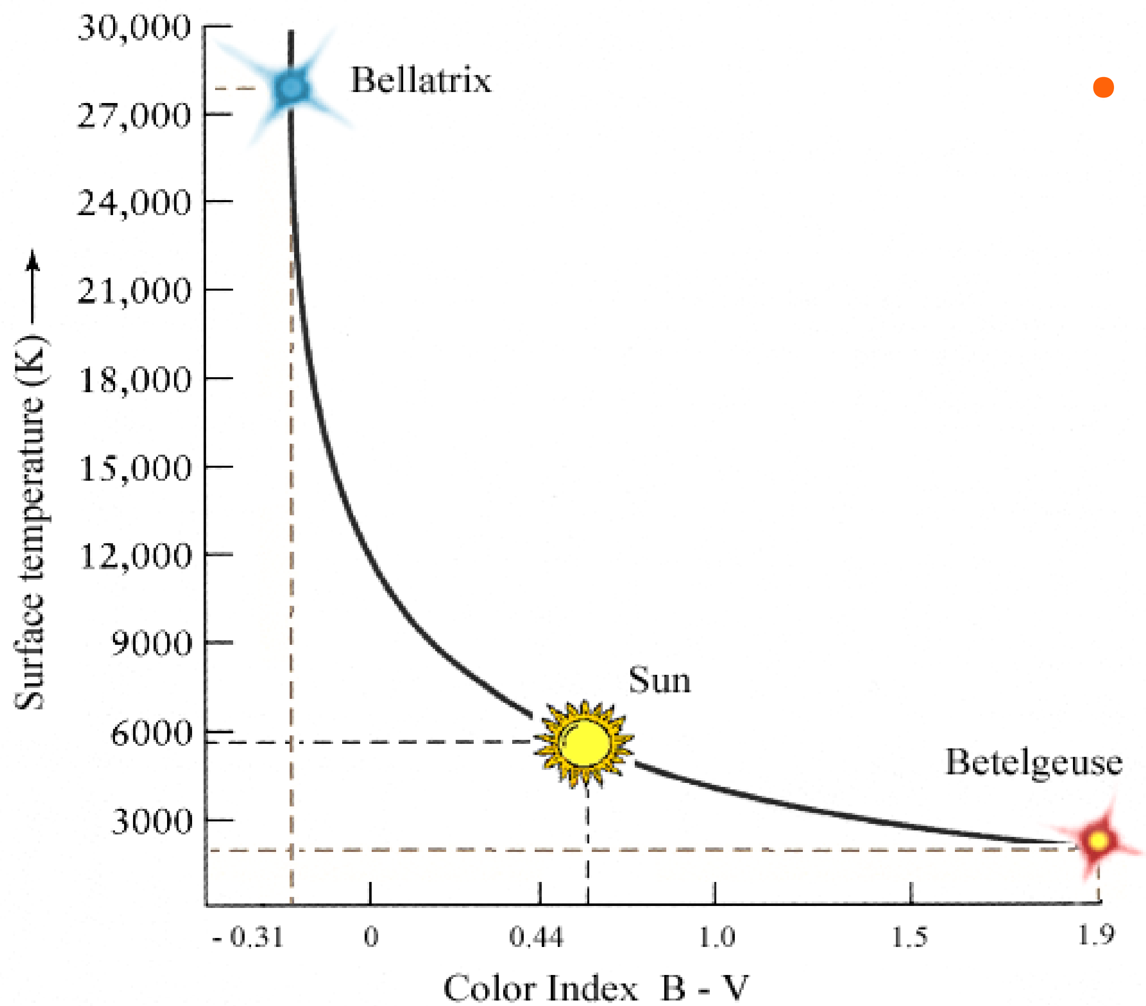
- ¿Cómo cuantificar el color?





Para las estrellas → magnitudes

Se observa que para estrellas, B-V → T

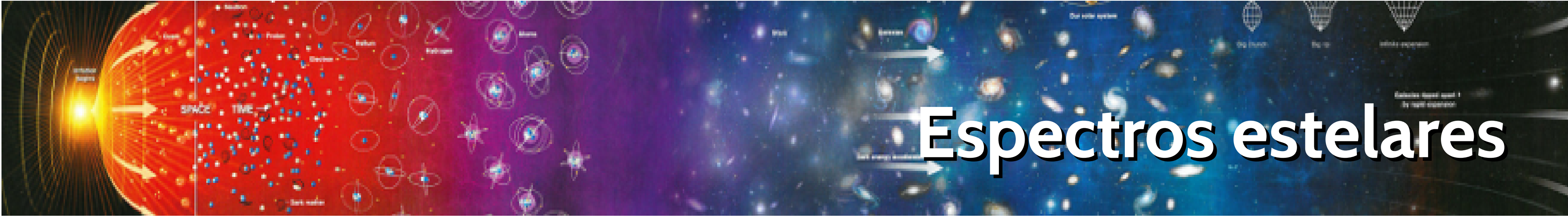


- Índice B-V
  - m_B=magnitud en el canal B
  - m_V=magnitud en el canal V

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

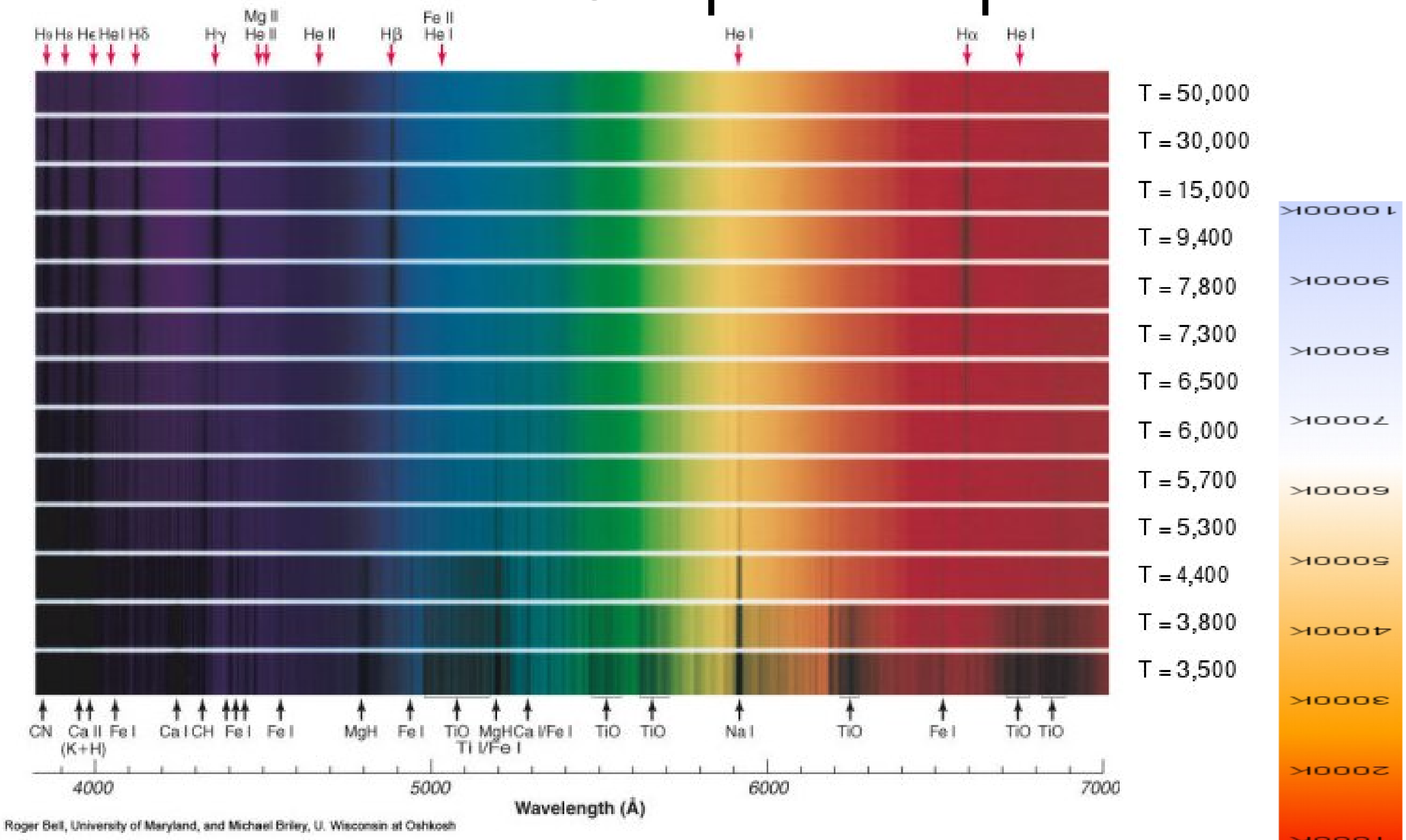
(Recordar que m es logarítmica)

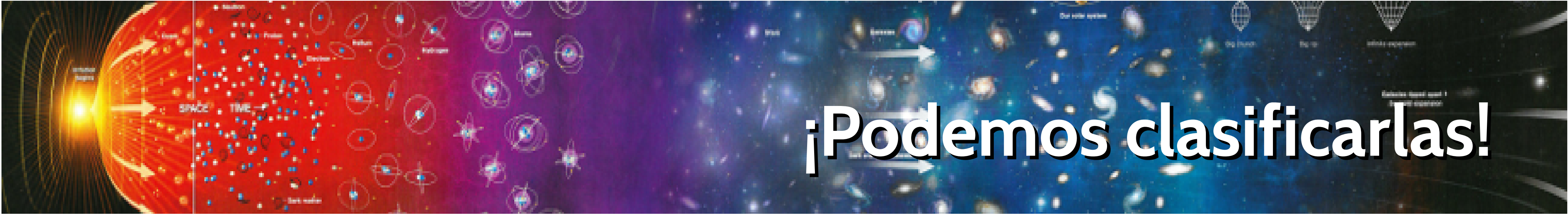
$$T = 4600\left(\frac{1}{0.92(B-V)+1.7}+\frac{1}{0.92(B-V)+0.62}\right)K$$



Espectros estelares

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





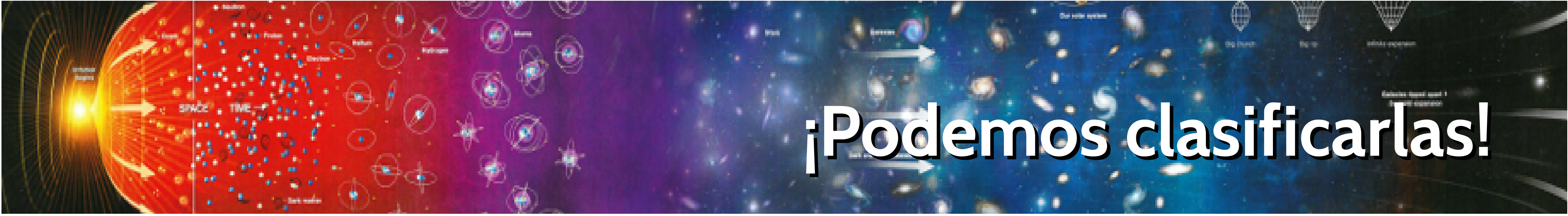
¡Podemos clasificarlas!

- La “lógica”: A B C... por temperatura superficial

¡Podemos clasificarlas!

- A B C... por temperatura superficial

O B A F G K M R N S

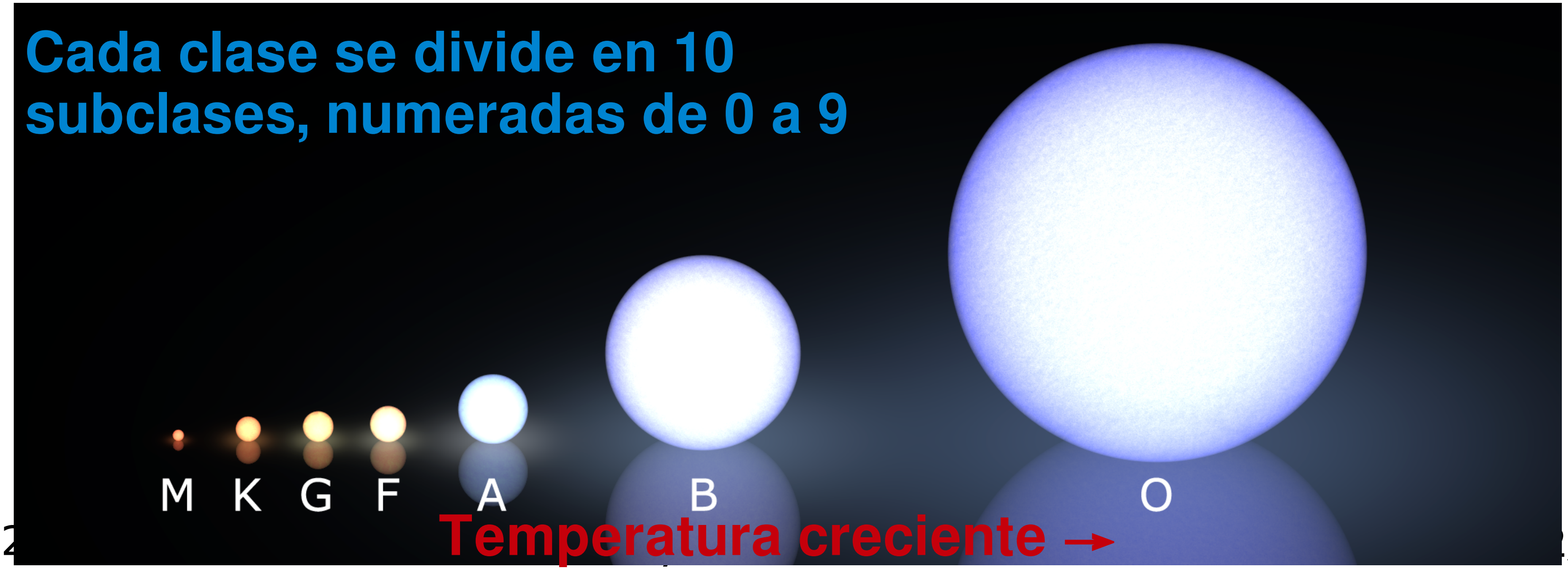


¡Podemos clasificarlas!

- A B C... por temperatura superficial

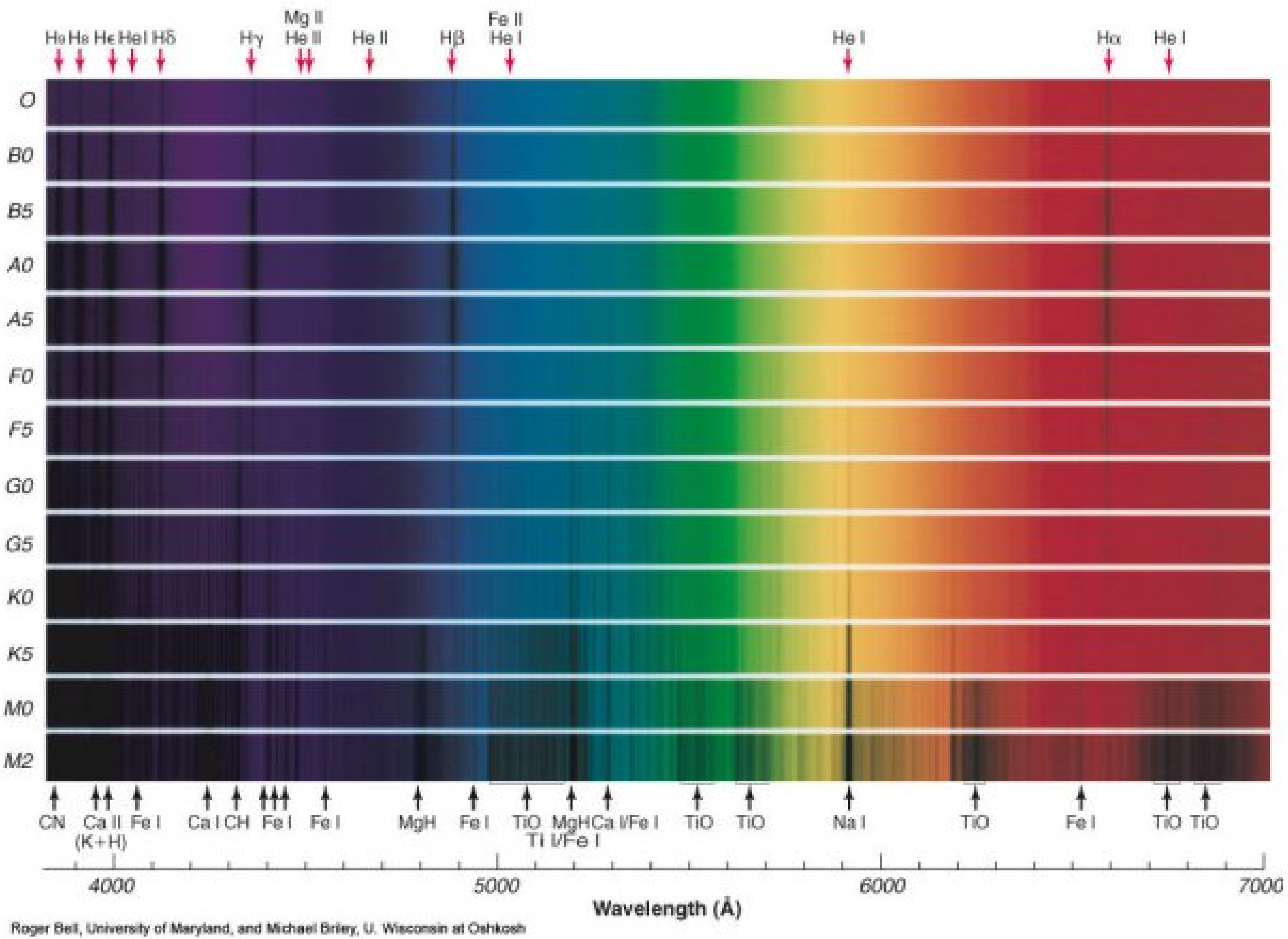
O B A F G K M R N S

- **O**h **B**e **A** **F**ine **G**irl and **K**iss **M**e **R**ight **N**ow **S**weet
- **O**h **B**esame **A**mor, **F**asinadora **G**itana, **K**ilómetros **M**edian **R**ompiendo **N**uestros **S**ueños

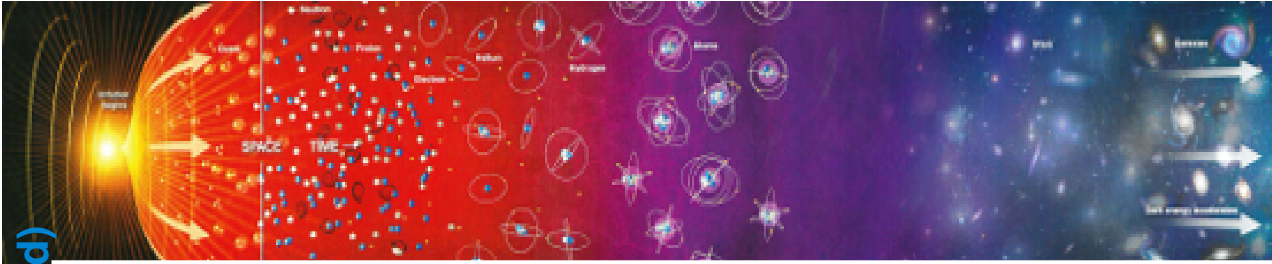


Para decirle a un ser amado

Oh **B**esame **A**mor,
Fasinadora **G**itana,
Kilómetros **M**edian
Rompiendo **N**uestros
Sueños

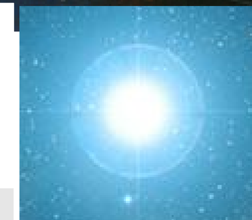
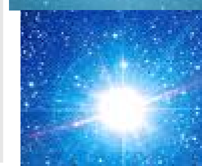
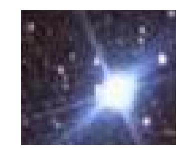
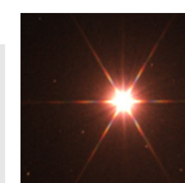
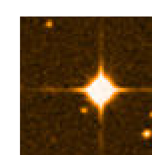


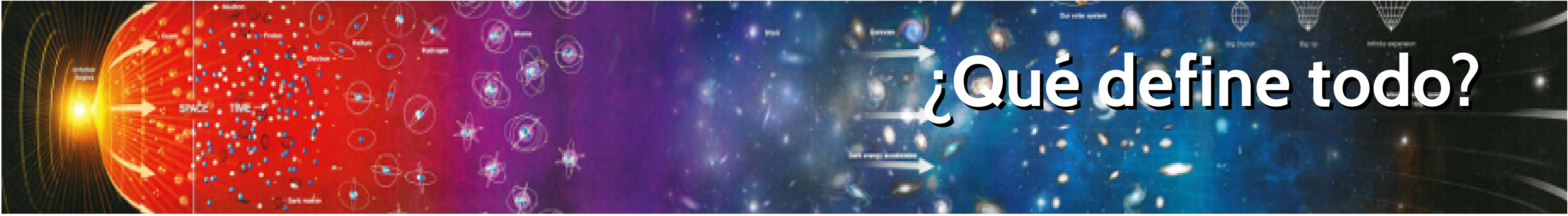
Hη Hε Hε He I Hδ
Hγ
Mg II
He II
He II
Hβ
Fe II
He I
He I
Hα
He I
O
B0
B5
A0
A5
F0
F5
G0
G5
K0
K5
M0
M2
T = 50,000
T = 30,000
T = 15,000
T = 9,400
T = 7,800
T = 7,300
T = 6,500
T = 6,000
T = 5,700
T = 5,300
T = 4,400
T = 3,800
T = 3,500
CN
Ca II (K+H)
Fe I
Ca I
CH
Fe I
Fe I
MgH
Fe I
TiO
MgH
Ti I/Fe I
Ca I/Fe I
TiO
TiO
Na I
TiO
Fe I
TiO
TiO
4000
5000
6000
7000
Wavelength (Å)
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)

$$\boxed{\begin{gathered} L \equiv \frac{\Delta E}{\Delta t} = 4\pi\sigma R^2 T^4 \\ \sigma = 5.67\times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}} \end{gathered}}$$

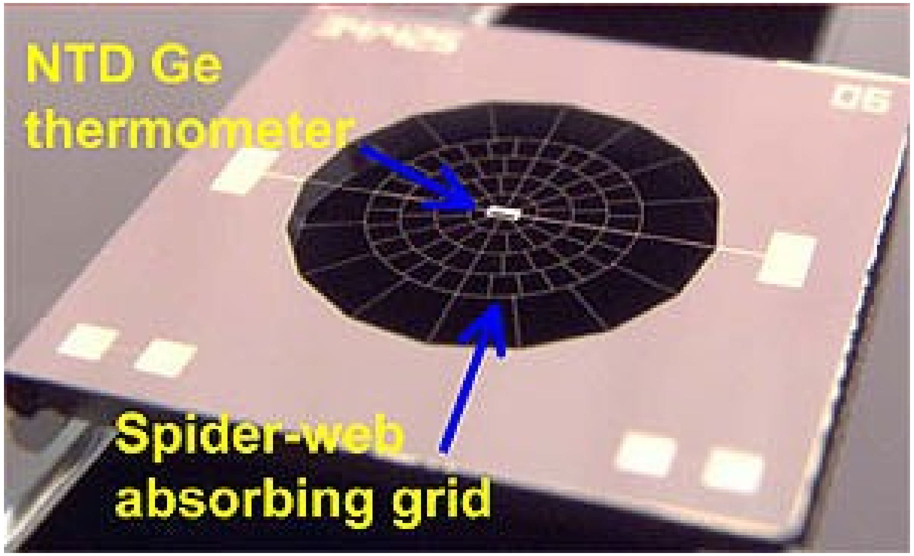
- **¿Cuál es el más importante en condiciones normales?**
  - **Cantidad de materia → Masa**
  - Está fijada por condiciones externas → Nacimiento

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:

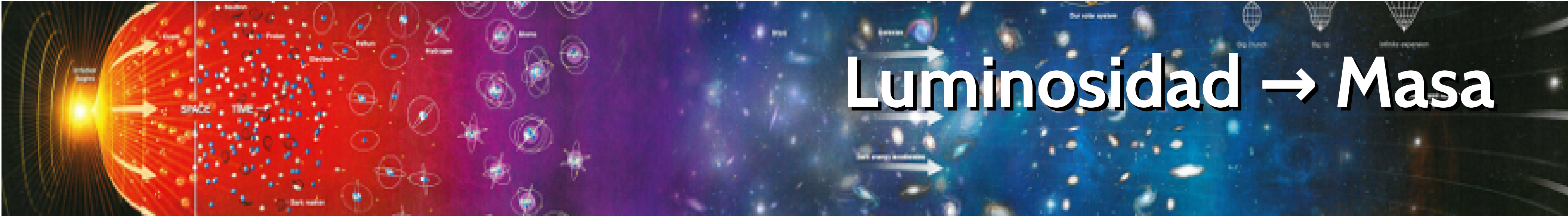
$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

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

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

- Ó, conociendo L, calculo ***d***

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



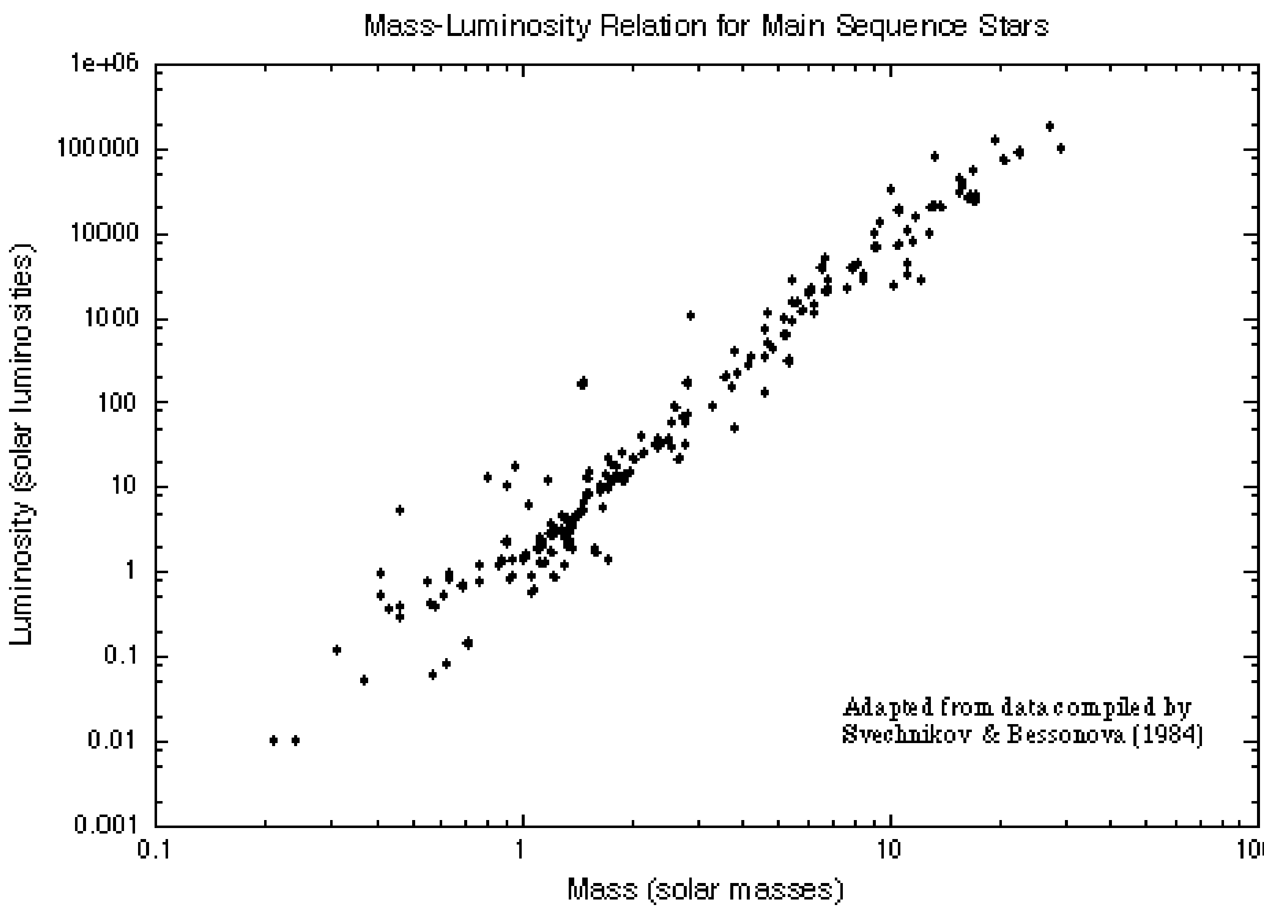
Luminosidad → Masa

- **Si: (0.1 < Masa Estelar < 50) masas solares:**

  L es proporcional a la M^4

- Nota: En general, M^a , con **a** entre 3 y 4 (~ masa)

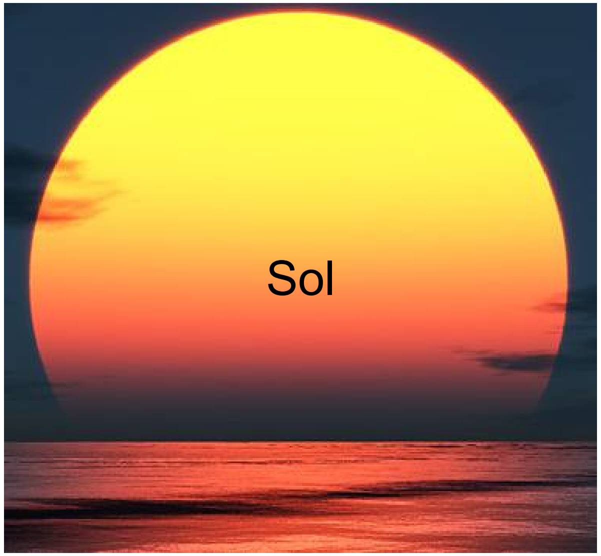
$$\left(\frac{L_{Estrella}}{L_{Sol}}\right)=\left(\frac{M_{Estrella}}{M_{Sol}}\right)^4$$



Luminosidad → Masa

- Ejemplo

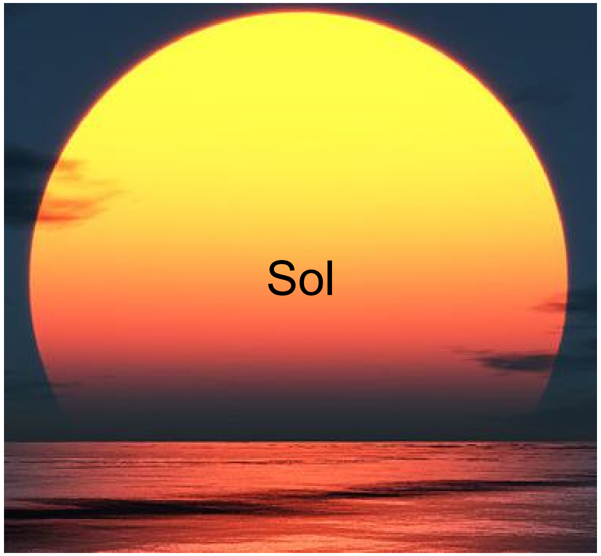
Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- T = 5700 K (Amarilla)
- $L = L_S$

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

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio

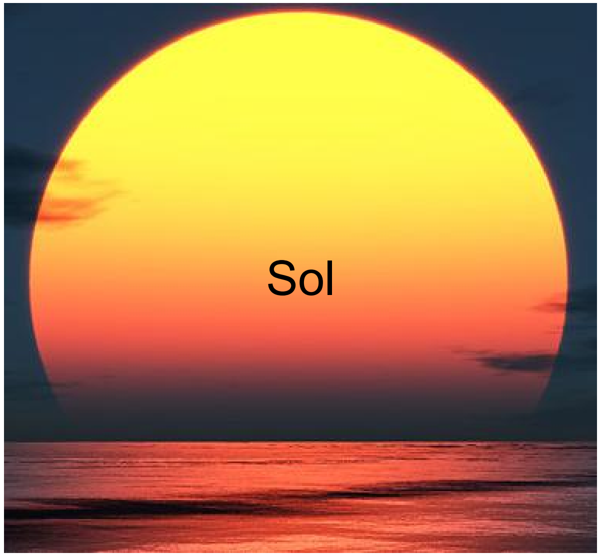


- T = 5700 K (Amarilla)
- L = L_S

- T = 3400 K (Roja)
- L = 135000 L_S

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

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



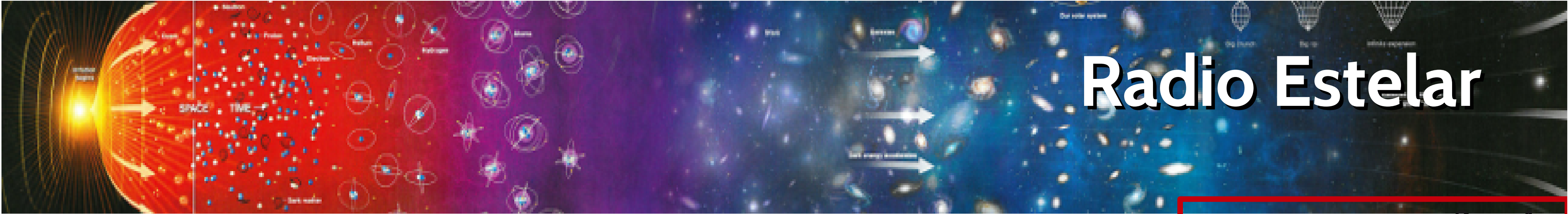
- T = 5700 K (Amarilla)
- L = L_S

- T = 3400 K (Roja)
- L = 135000 L_S

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

→

Betelgeuse debe ser mucho más grande que el Sol

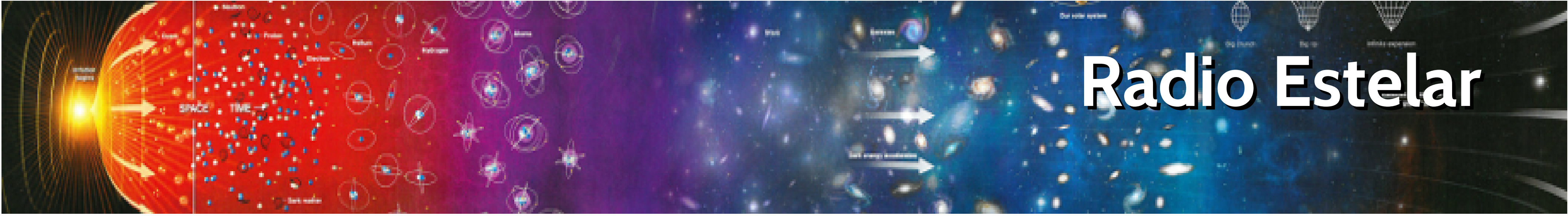


Radio Estelar

$$\boxed{L = 4\pi\sigma R^2 T^4}$$

- Comparando las temperaturas

- ¡Pero también depende del radio!



Radio Estelar

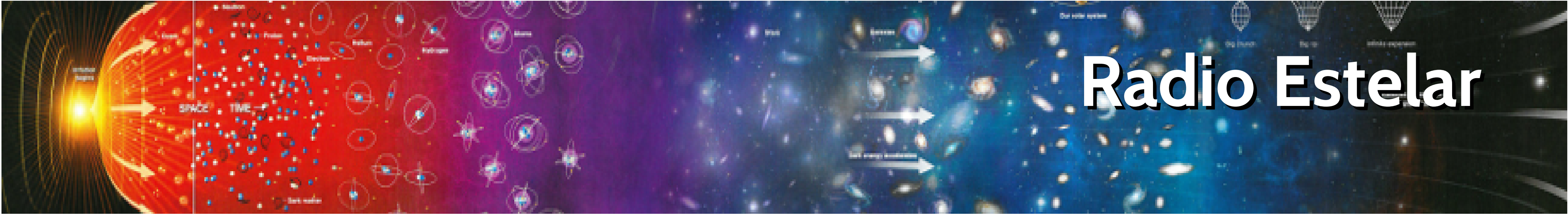
- Veamos.... $(T_B/T_S)^4$
  - $(3400\ /\ 5700)^4 \sim= 1/7.8$
  - Si dependiera sólo de T, el Sol sería 7.8 veces más luminoso que Betelguese
- Pero...

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

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

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

$$1.053\mathrm{x}10^6 = (R_B/R_S)^2$$



Radio Estelar

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

R_B = 1026 R_{Sol}

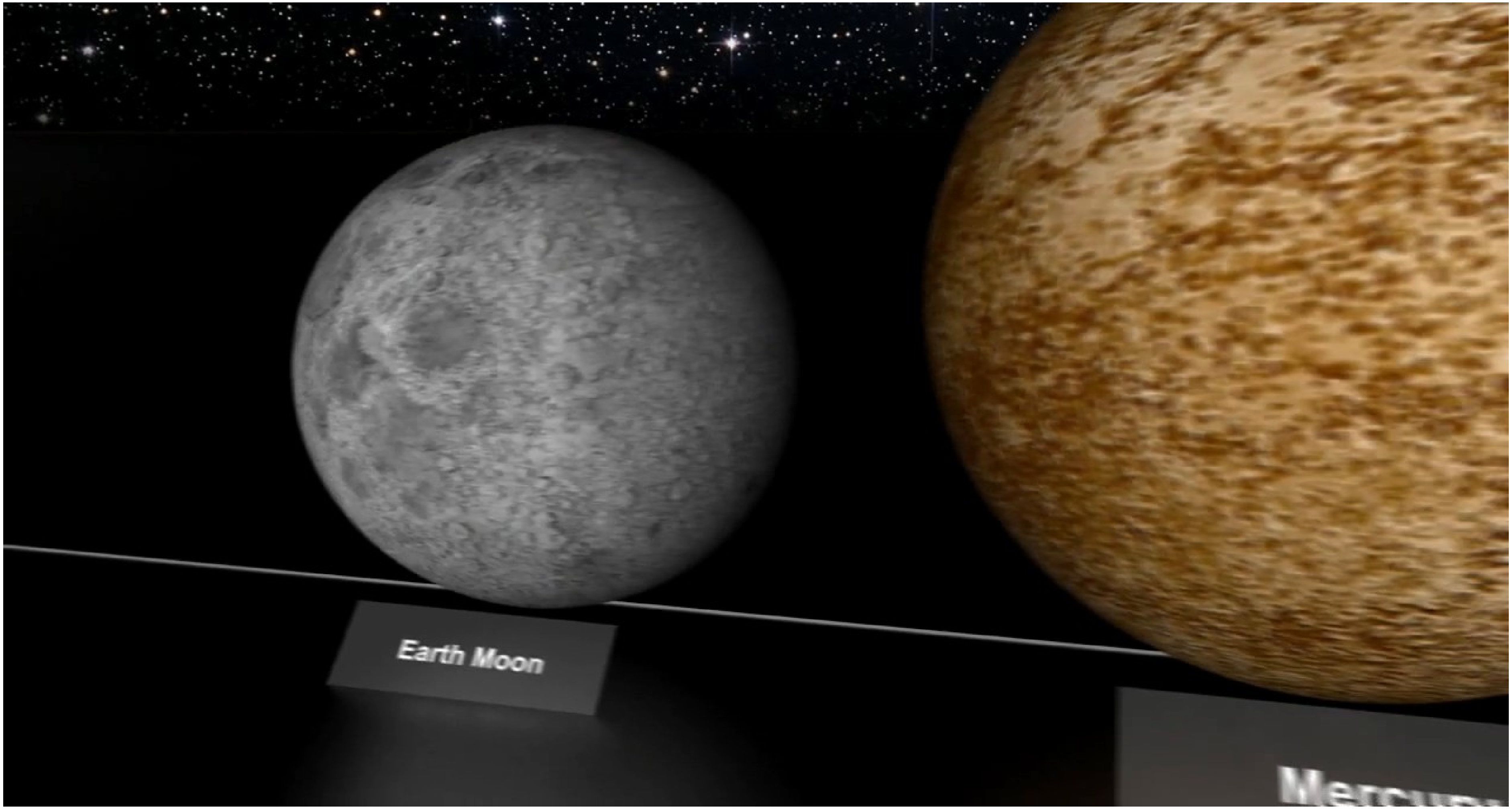
Betelgeuse es una supergigante roja

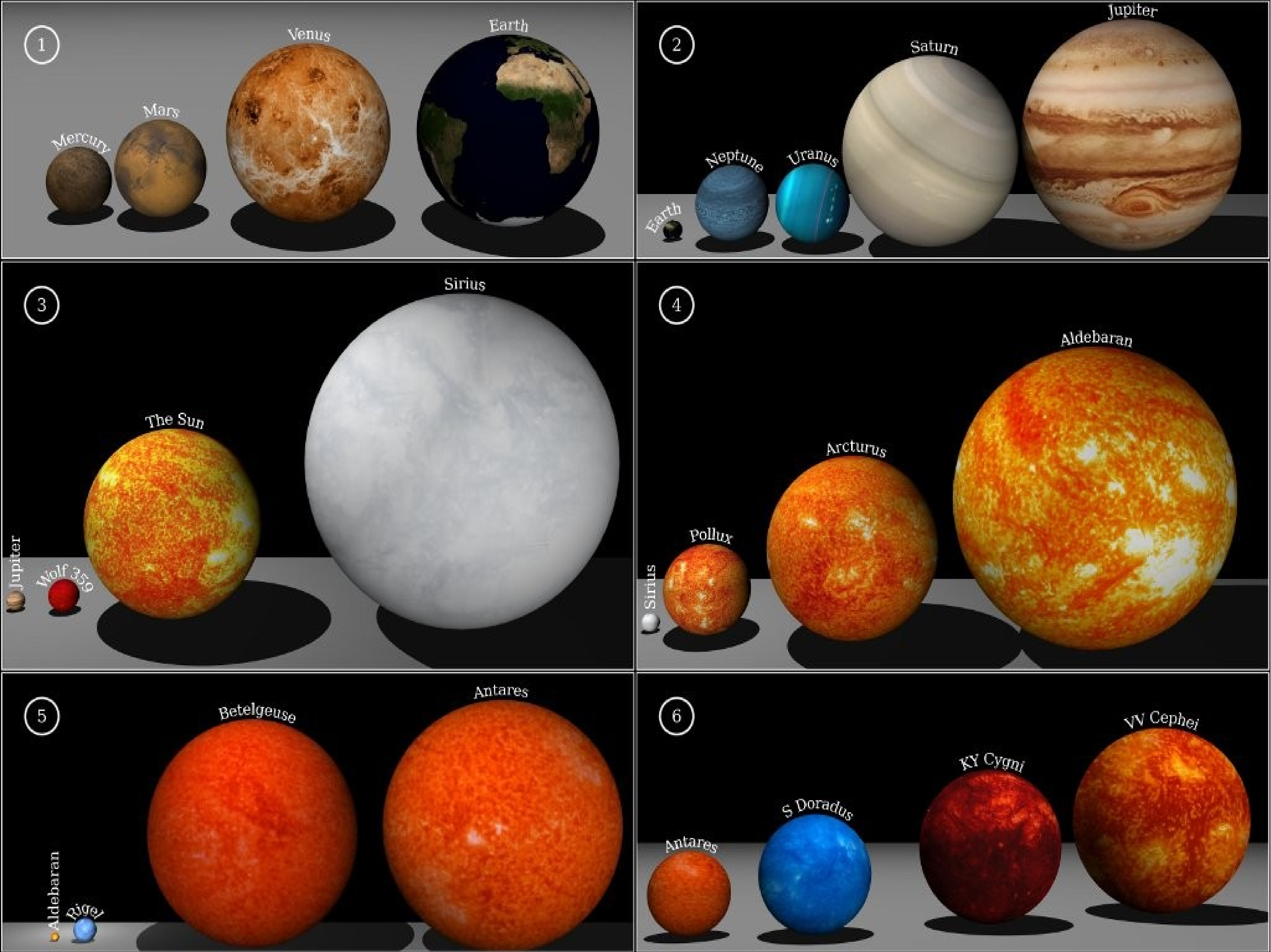
más luminoso que Betelguese

- Pero...

$$L_B / L_S = [(4\pi R_B^2)\,\sigma\,T_B^4]/[(4\pi R_S^2)\,\sigma\,T_S^4]$$
$$135000 = (R_B/R_S)^2\,(T_B/T_S)^4$$
$$135000 = (R_B/R_S)^2/7.8$$
$$1.053\times10^6 = (R_B/R_S)^2$$

Tamaños estelares




1
Mercury
Mars
Venus
Earth
2
Earth
Neptune
Uranus
Saturn
Jupiter
3
Jupiter
Wolf 359
The Sun
Sirius
4
Sirius
Pollux
Arcturus
Aldebaran
5
Aldebaran
Rigel
Betelgeuse
Antares
6
Antares
S Doradus
KY Cygni
VV Cephei

Es cómodo medir las cosas en términos solares

- Masa Solar:

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

- Radio Solar:

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

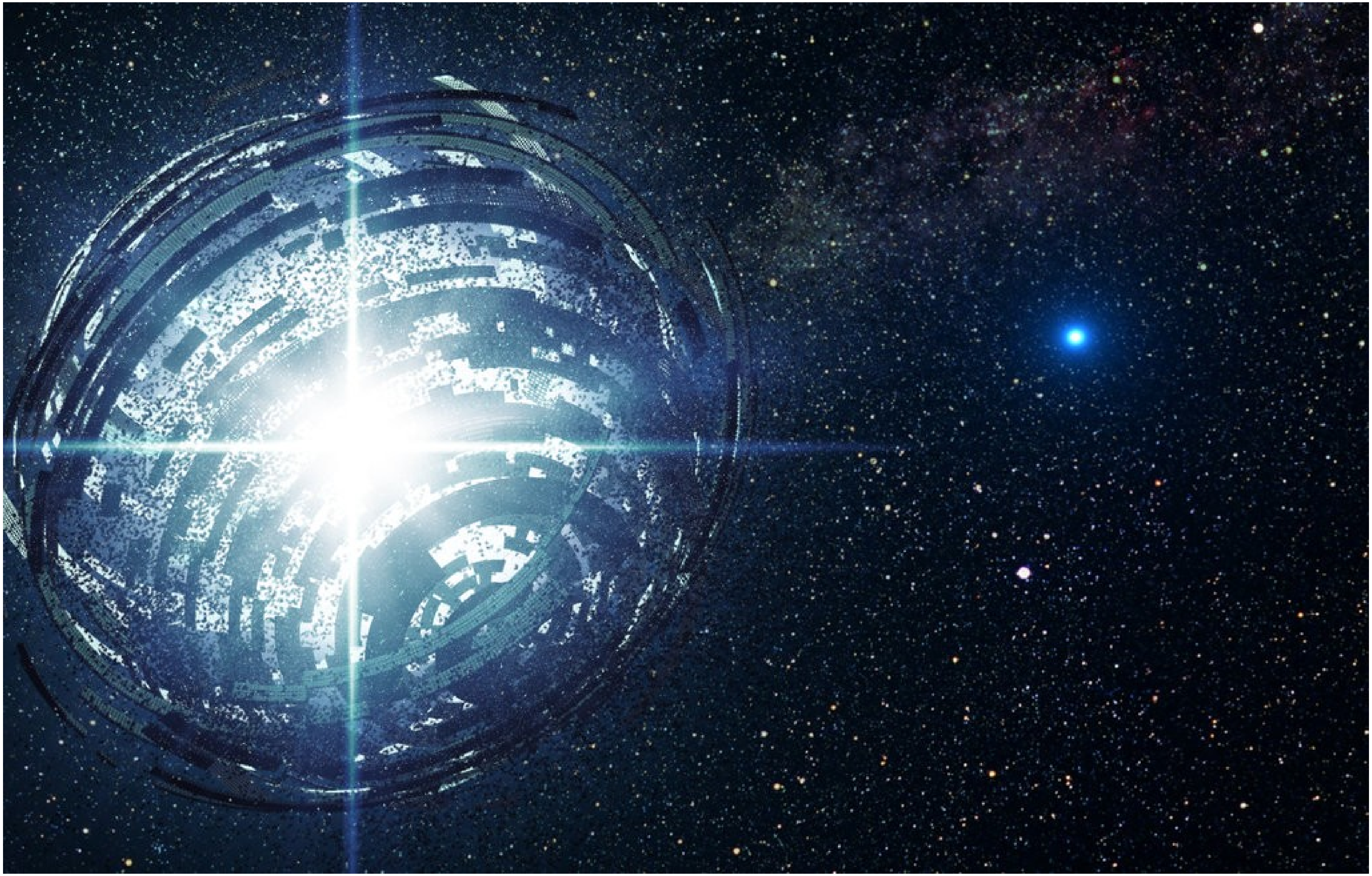
- Luminosidad Solar:

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

- Alto:

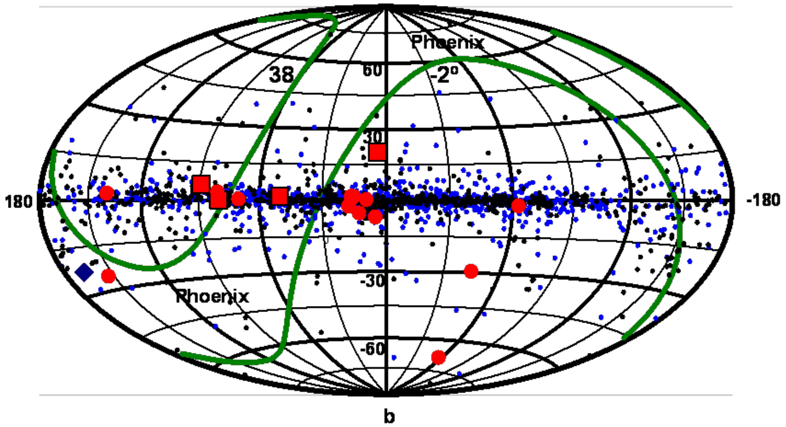
1 segundo de energía liberada en el Sol equivale a 800000 años de consumo humano (2013)

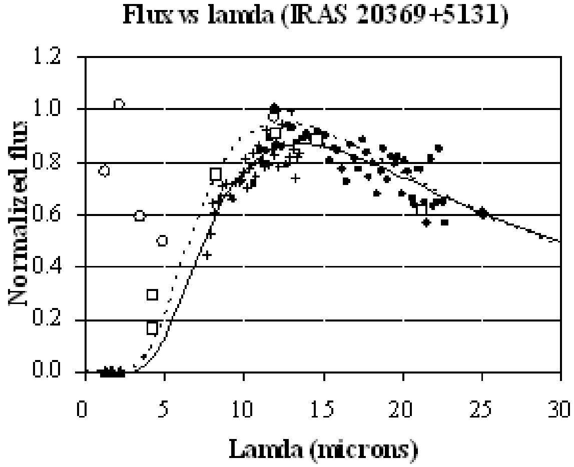
Esferas de Dyson

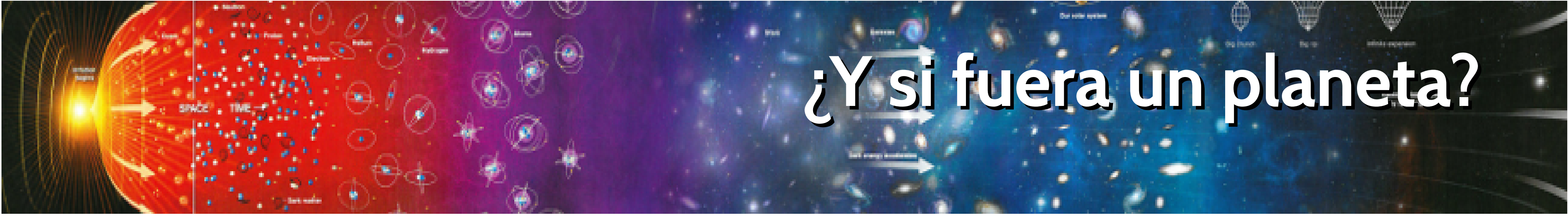


IRAS (InfraRed Astronomical Satellite)

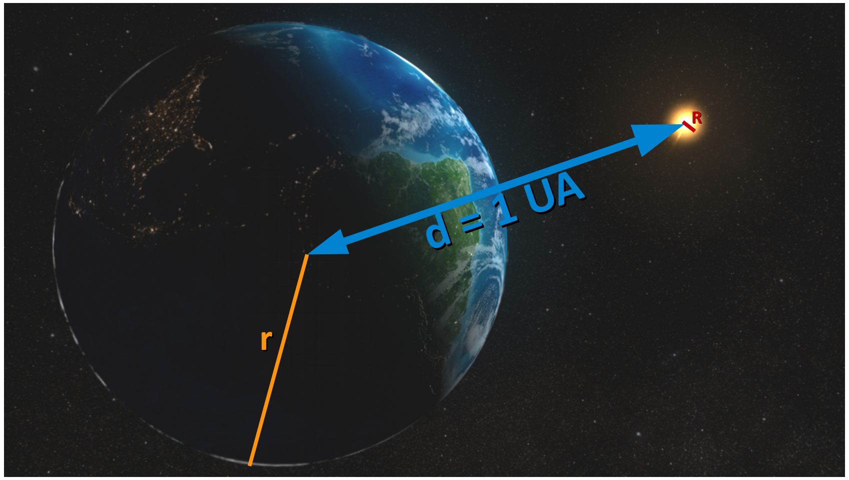
http://home.fnal.gov/~carrigan/infrared_astronomy/Fermilab_search.htm







¿Y si fuera un planeta?



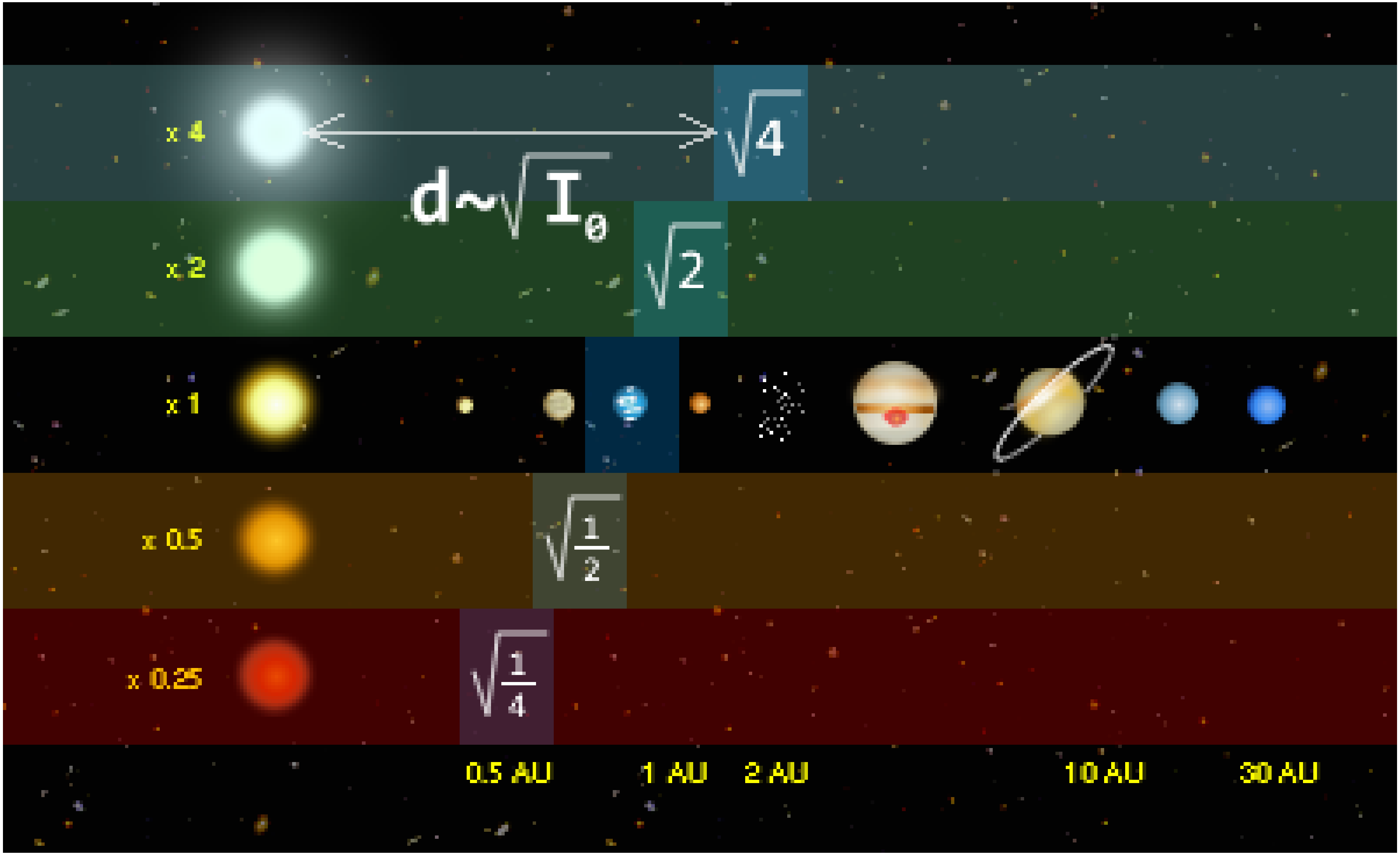
- ¿Que fracción de la energía captura un planeta de radio r?

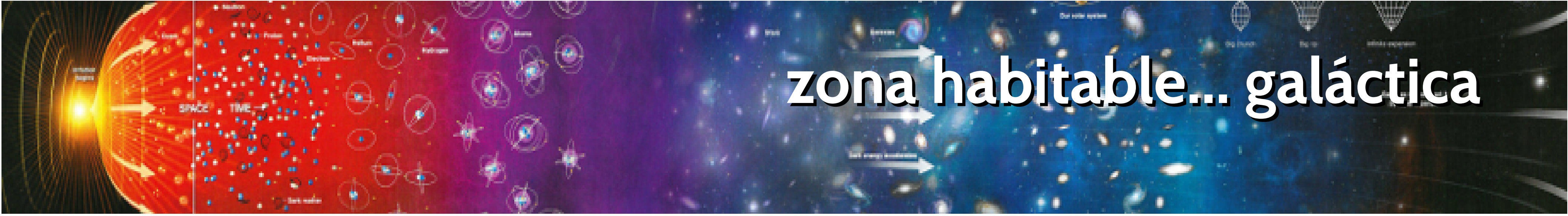
$$T_{\oplus}=\sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{16\pi\sigma d^{2}}}$$

$$T_{\oplus}=\sqrt{\frac{R_{\odot}}{2d}}\,T_{\odot}$$

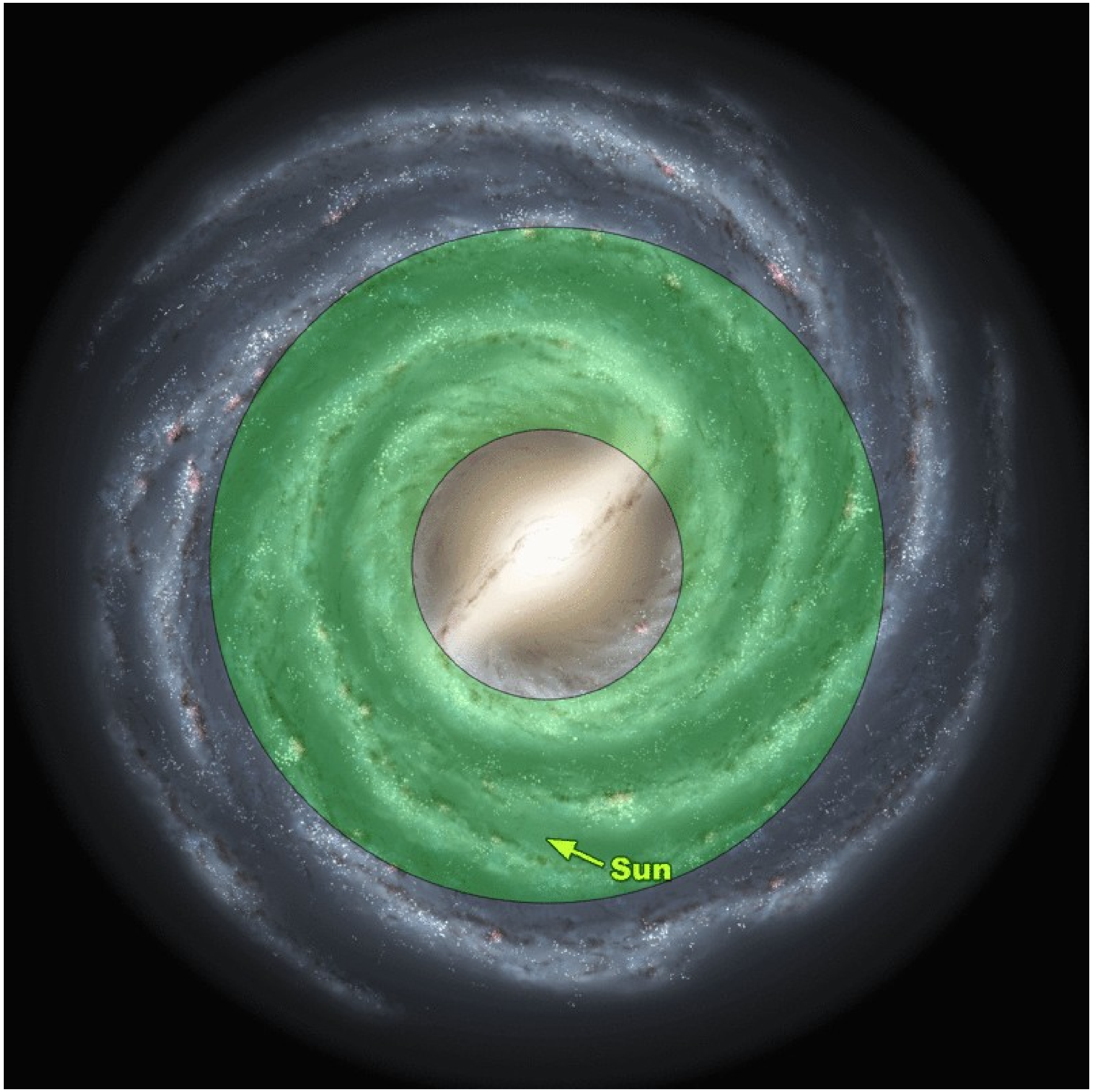
$$d=\frac{1}{2}\left(\frac{T_{\odot}}{T_{\oplus}}\right)^{2}R_{\odot}$$

Zona habitable: Agua líquida (volveremos...)

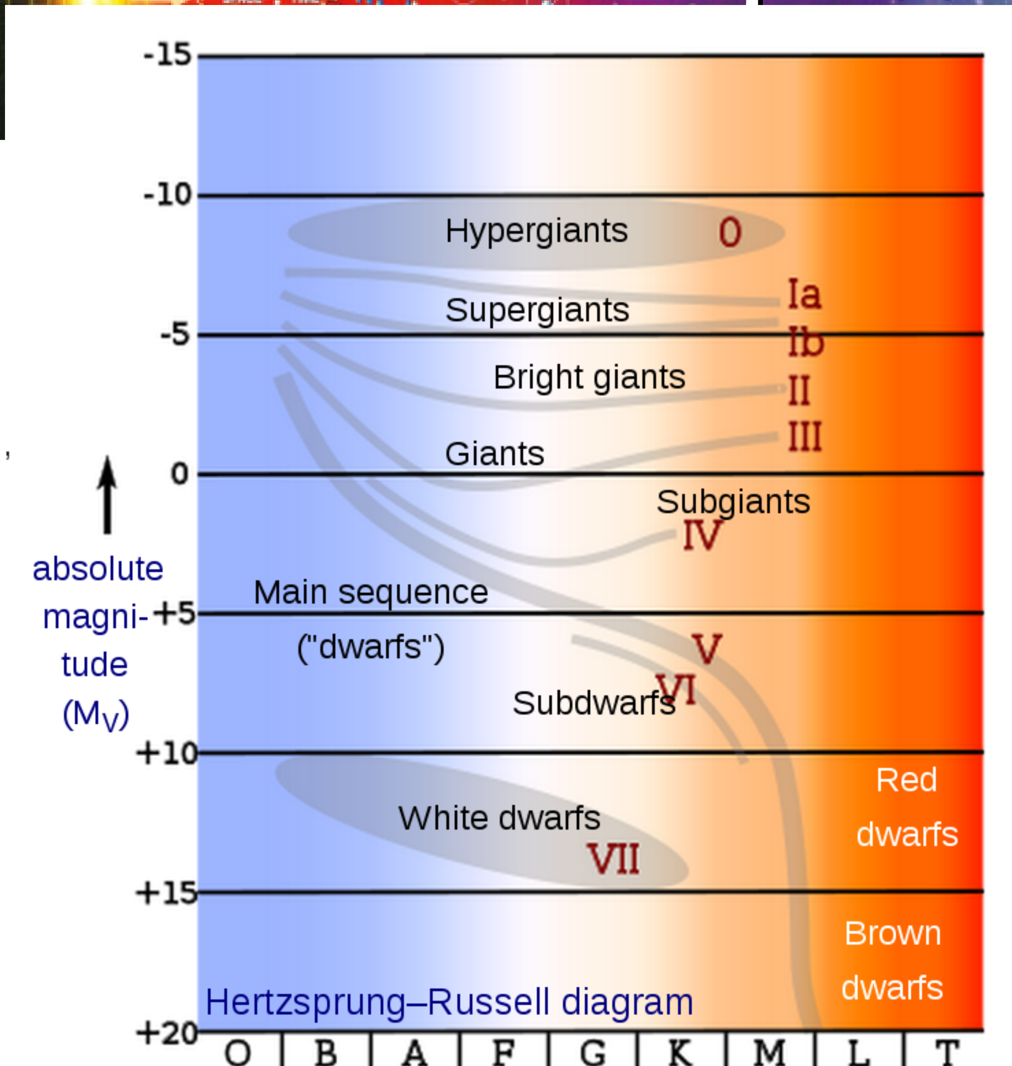


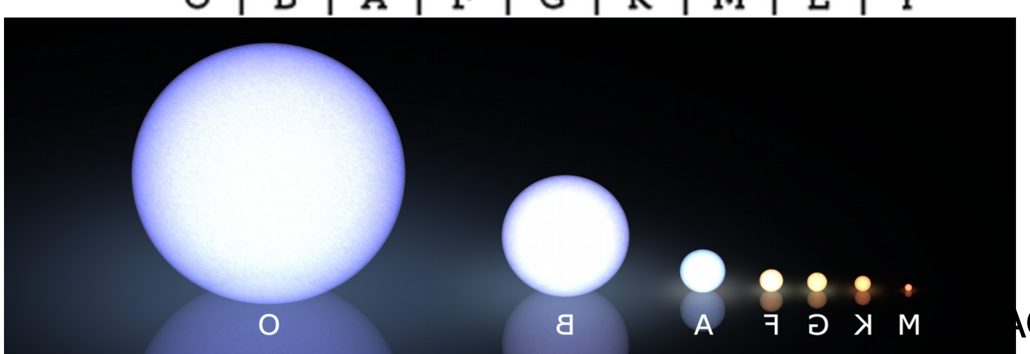


zona habitable... galáctica



Dijimos que la masa define todo

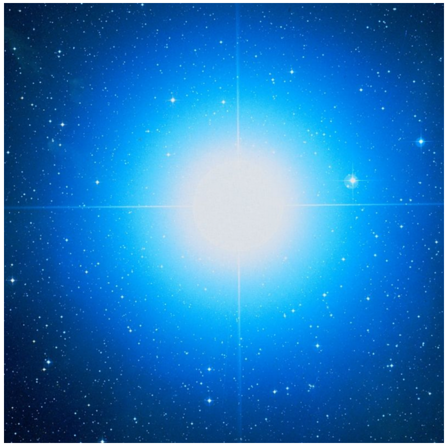


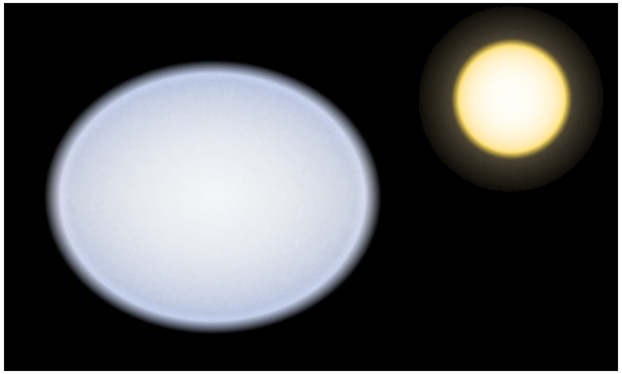


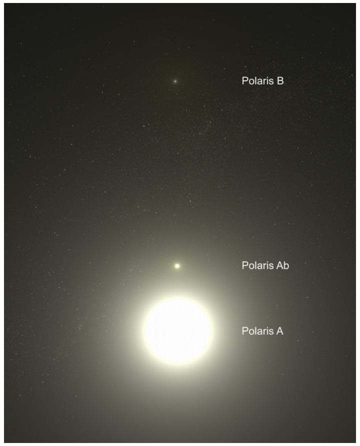
Surface temperature ranges for different stellar classes[134]

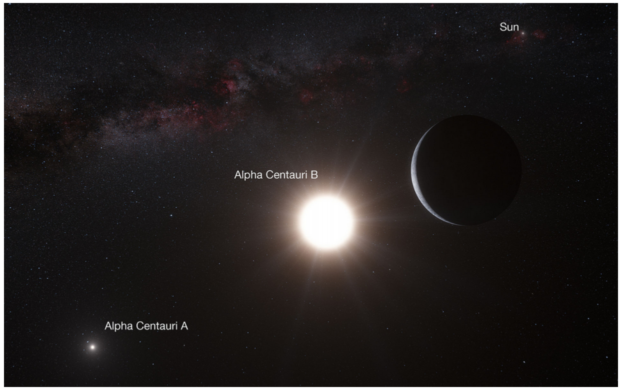
Class	Temperature	Sample star
O	33,000 K or more	Zeta Ophiuchi
B	10,500–30,000 K	Rigel
A	7,500–10,000 K	Altair
F	6,000–7,200 K	Procyon A
G	5,500–6,000 K	Sun
K	4,000–5,250 K	Epsilon Indi
M	2,600–3,850 K	Proxima Centauri

Secuencia principal → OBAFGKM









REFERENCE GUIDE 001
STAR SPECTRAL CLASSES

http://21space.info/

SPECTRAL CLASS O
Dark Blue
28,000 - 50,000 K
Ionized Atoms, especially helium
Example: Mintaka (O1-3III)

SPECTRAL CLASS B
Blue
10,000 - 28,000 K
Neutral helium, some hydrogen
Alpha Eridani A (B3V-IV)

SPECTRAL CLASS A
Light Blue
7,500 - 10,000 K
Strong hydrogen, some ionized metals
Sirius A (A0-IV)

SPECTRAL CLASS F
White
6,000 - 7,500 K
Hydrogen and ionized metals, calcium and iron
Procyon A (F5V-IV)

Yellow
5,000 - 6,000 K
Ionized calcium, both neutral and ionized metals
Example: Sol (G2V)

SPECTRAL CLASS G

Orange
3,500 - 5,000 K
Neutral Metals
Alpha Centauri B (K0-3V)

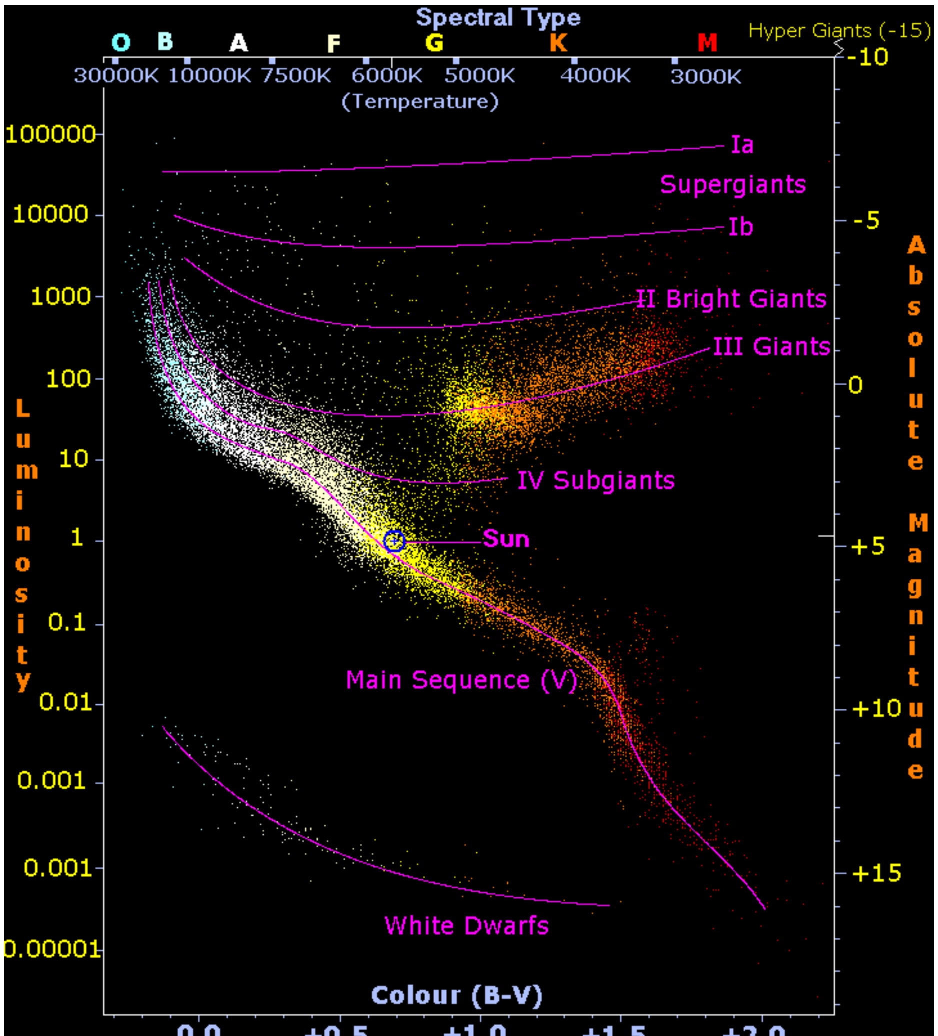
SPECTRAL CLASS K

Red
2,500 - 3,500 K
Ionized atoms, especially helium
Wolf 359 (M5-8V)

SPECTRAL CLASS M

Non-Main Sequence Types
- Class W: Wolf-Rayet Star
  - Up to 70,000 K
  - Carbon, nitrogen, or oxygen
  - Gamma Velorum A (WC)
- Class L: Dwarf Star
  - 1,300 - 2,000 K
  - Metal hydrides and alkali metals
  - VW Hyi
- Class T: Methane Dwarf
  - 700 - 1,000 K
  - Methane
  - Epsilon Indi Ba
- Class Y: Ammonia Dwarf
  - <700 K
  - Ammonia
  - Not yet observed
- Class C: Carbon
- Class S: Zirconium Oxide
- Classes MS and SC
- Class D: Dwarf

Secuencia principal

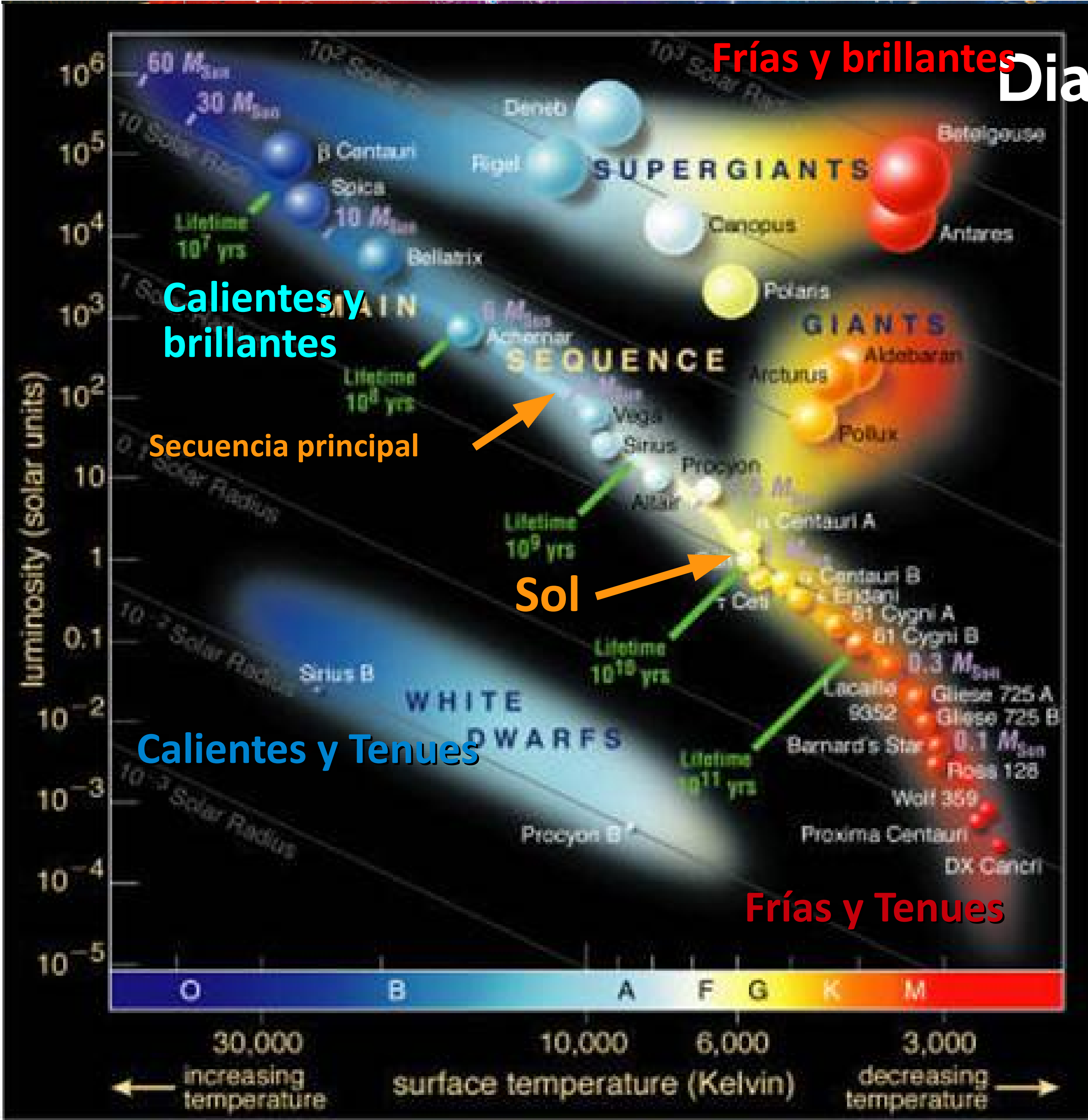


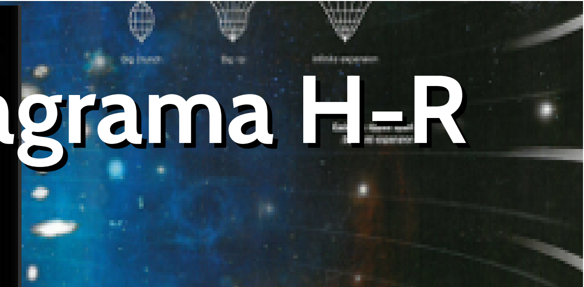
- **Estrellas que están en su fase normal de quema de combustible:**

  H → He

- 90% del tiempo de vida las estrellas permanecen en este estadio
- **Metalicidad: contenido de elementos más masivos que el Helio**

Diagrama H-R

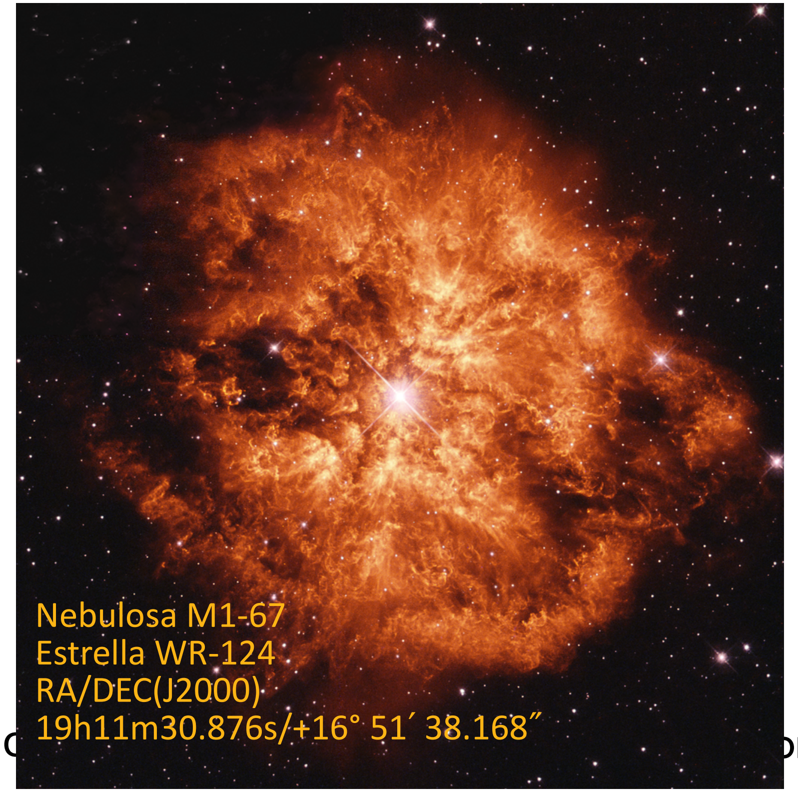




$L \sim R^2\,T^4$

Otros tipos de estrellas

- **W: Wolf-Rayet**
  - Estrellas masivas ($>20M_S$)
  - Excesivamente calientes



- **Los nuevos: L, T, Y**
  - **L**: Enanas frías o subestrellas, temperaturas 1300K<T<2400K
  - **T**: Enanas marrones (subestrellas, sin fusión H) con prominencia de metano y 500K < T < 1300K
  - **Y**: enanas marrones ultra frías (superplanetas?) c/amoníaco y T<600K, y $10<M/M_{Júp}<90$