

# Hornos nucleares: el origen de (casi) todo

Benjamín Montesinos Comino  
Centro de Astrobiología, Madrid



“La claridad es la cortesía de los filósofos”

*José Ortega y Gasset*

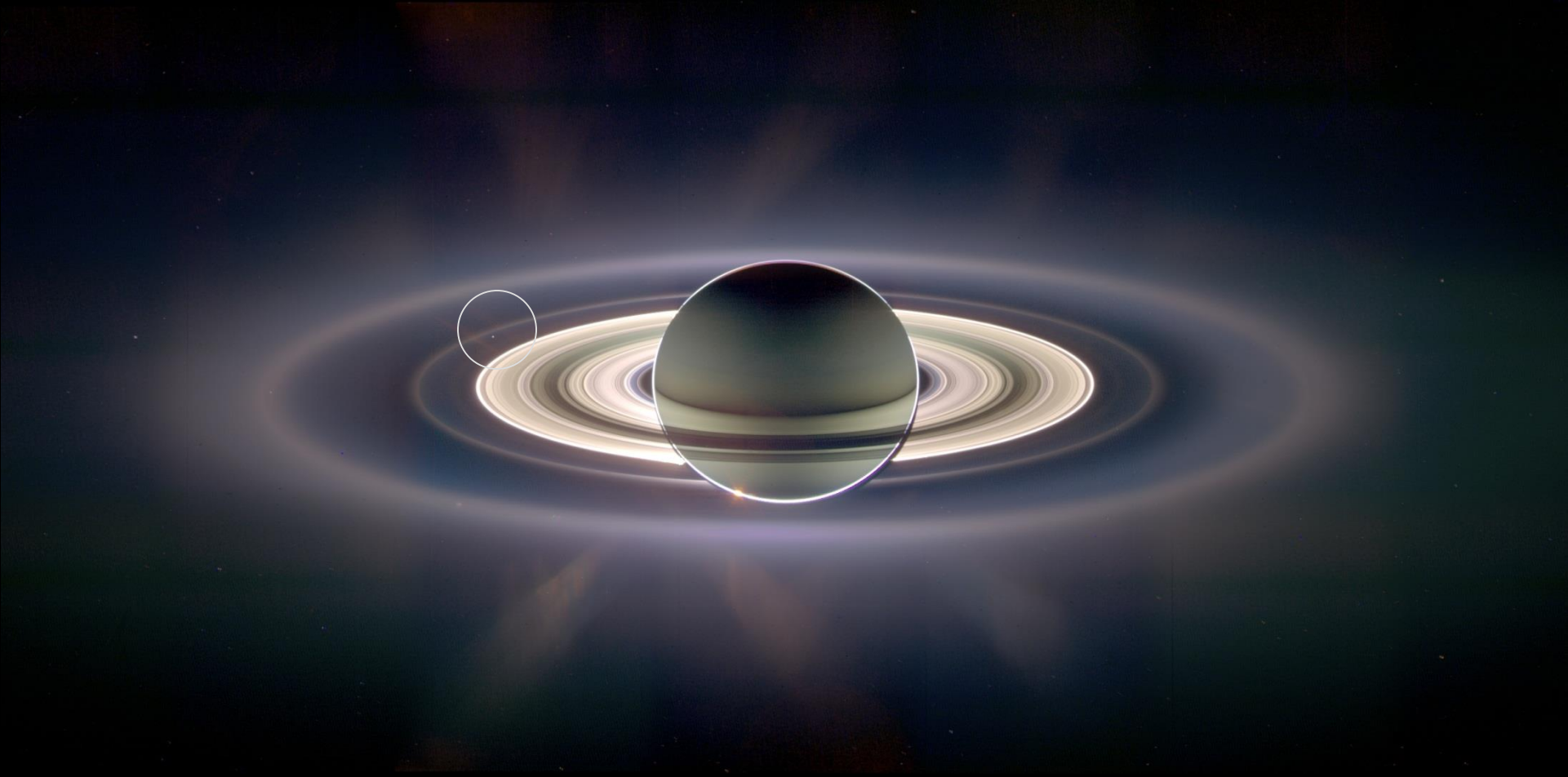
“La claridad es la cortesía de los científicos”



# La Astronomía es una ciencia observacional



...y nos coloca en nuestro lugar en el cosmos





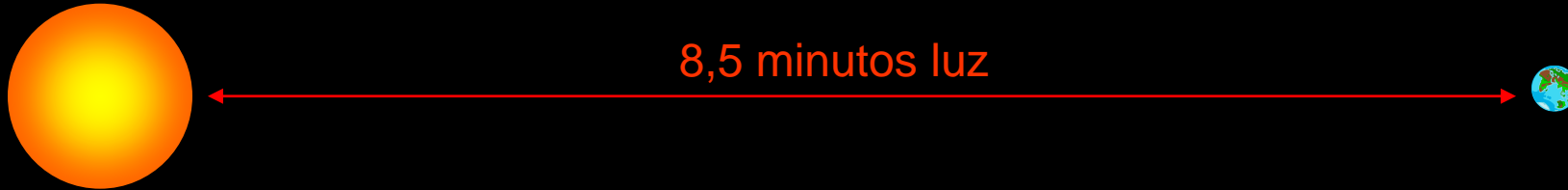
La Tierra vista por la sonda Voyager 1 en  
1990, desde 6400 millones de kilómetros



“Un punto azul pálido perdido en la inmensidad del universo” (Carl Sagan)

# La vara de medir astronómica

**año-luz:** distancia que recorre la luz en un año. Su valor se puede hallar multiplicando 300.000 km/s (velocidad de la luz) por 365 días (duración de un año) y por 86.400 (segundos que tiene un día). El resultado es 9.460.800.000.000 kilómetros (es decir, casi 9 billones y medio de kilómetros).



La distancia del Sol a la Tierra es de 150.000.000 km, que equivale a 8 minutos-luz y medio, es decir, la luz que recibimos del Sol en este instante salió de él hace 8 minutos y medio.



La estrella más cercana a la Tierra (dejando aparte al Sol) es Próxima Centauri, que se encuentra a 4,2 años-luz. Una nave espacial, viajando a la velocidad de un avión comercial, unos 900 km/h, tardaría más de 5 millones de años en llegar a esa estrella.

# Las estrellas más próximas ( $r < 12.5$ años luz)

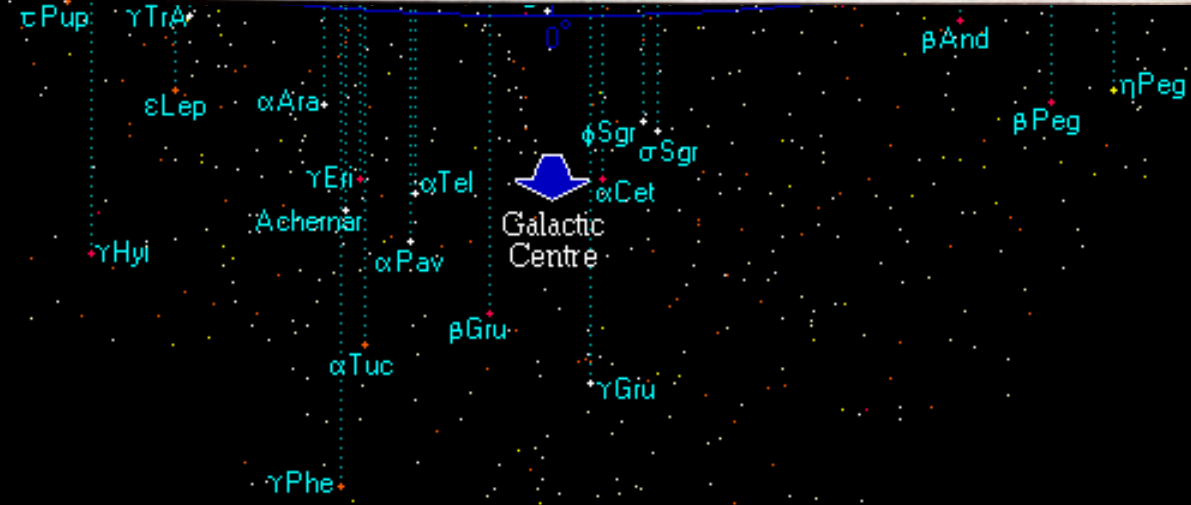
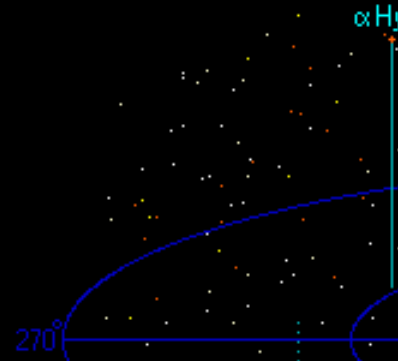
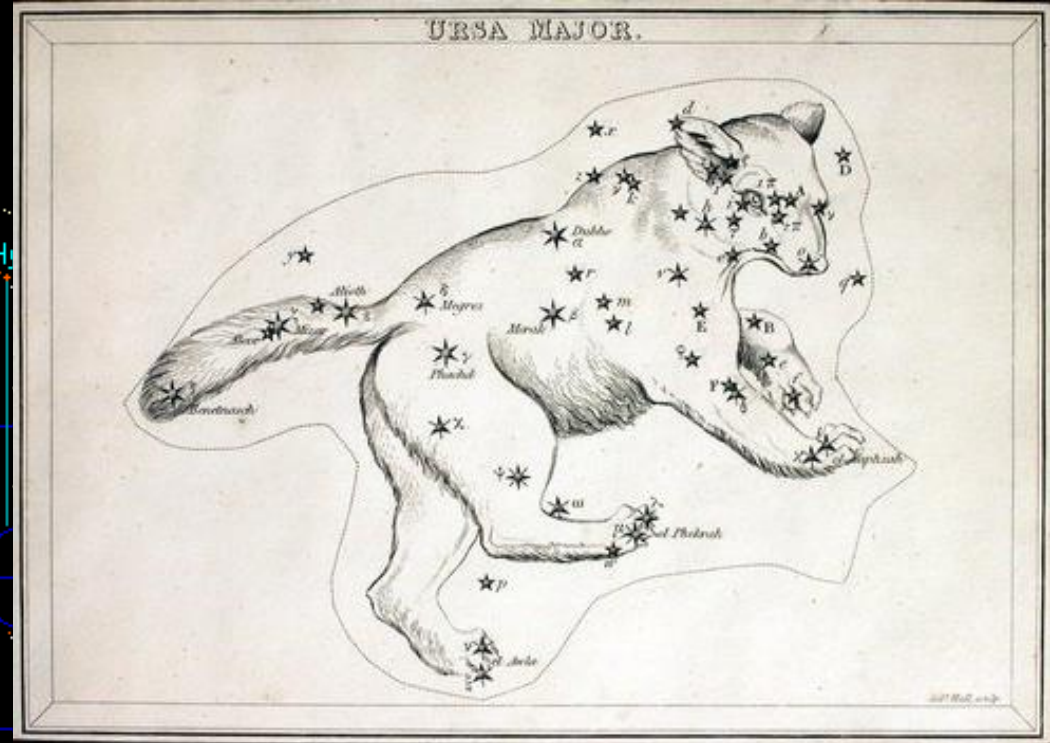


Las escalas del Universo (cercano)



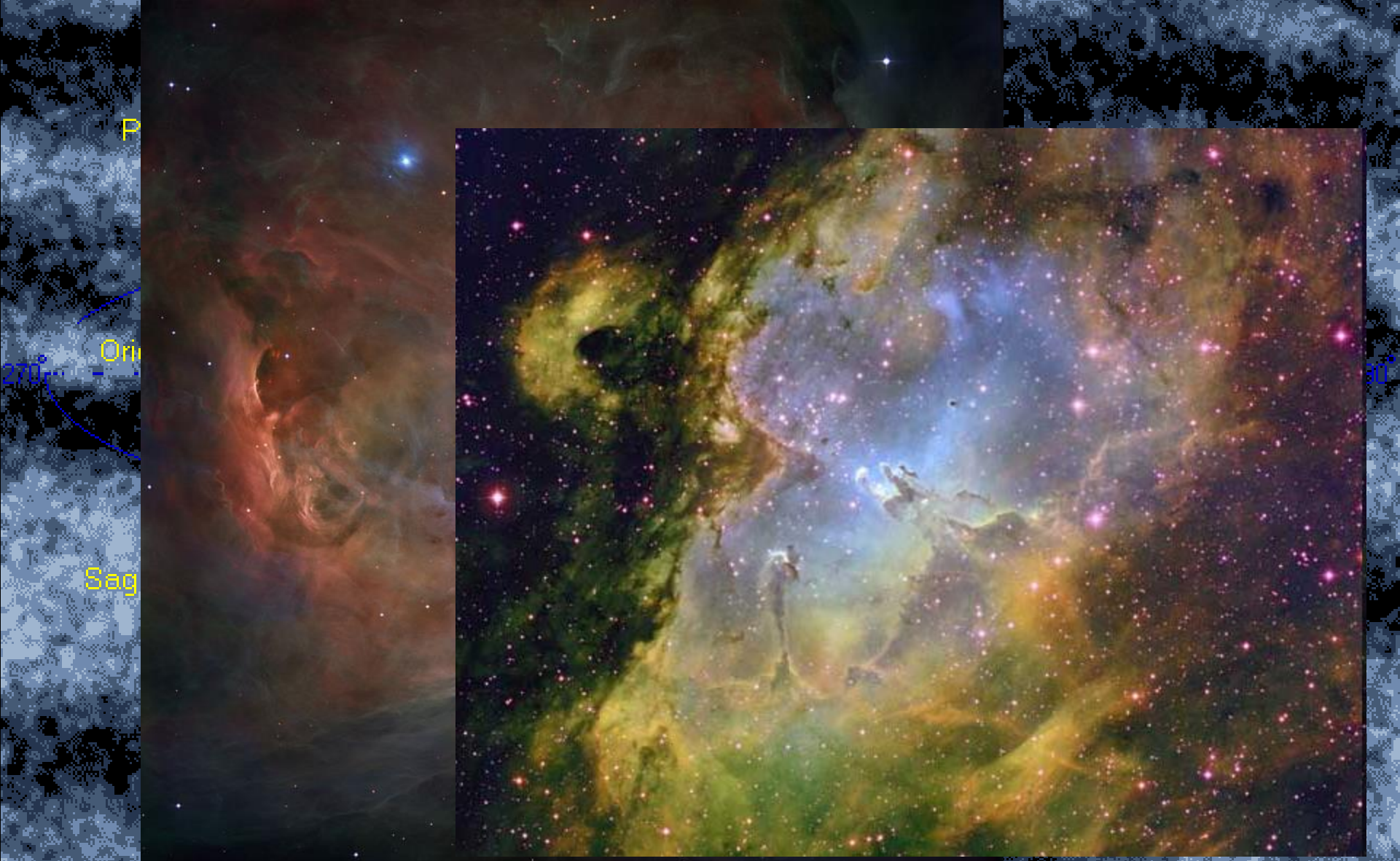
# La vecindad solar ( $r < 250$ años luz)

$\mu$ UMa



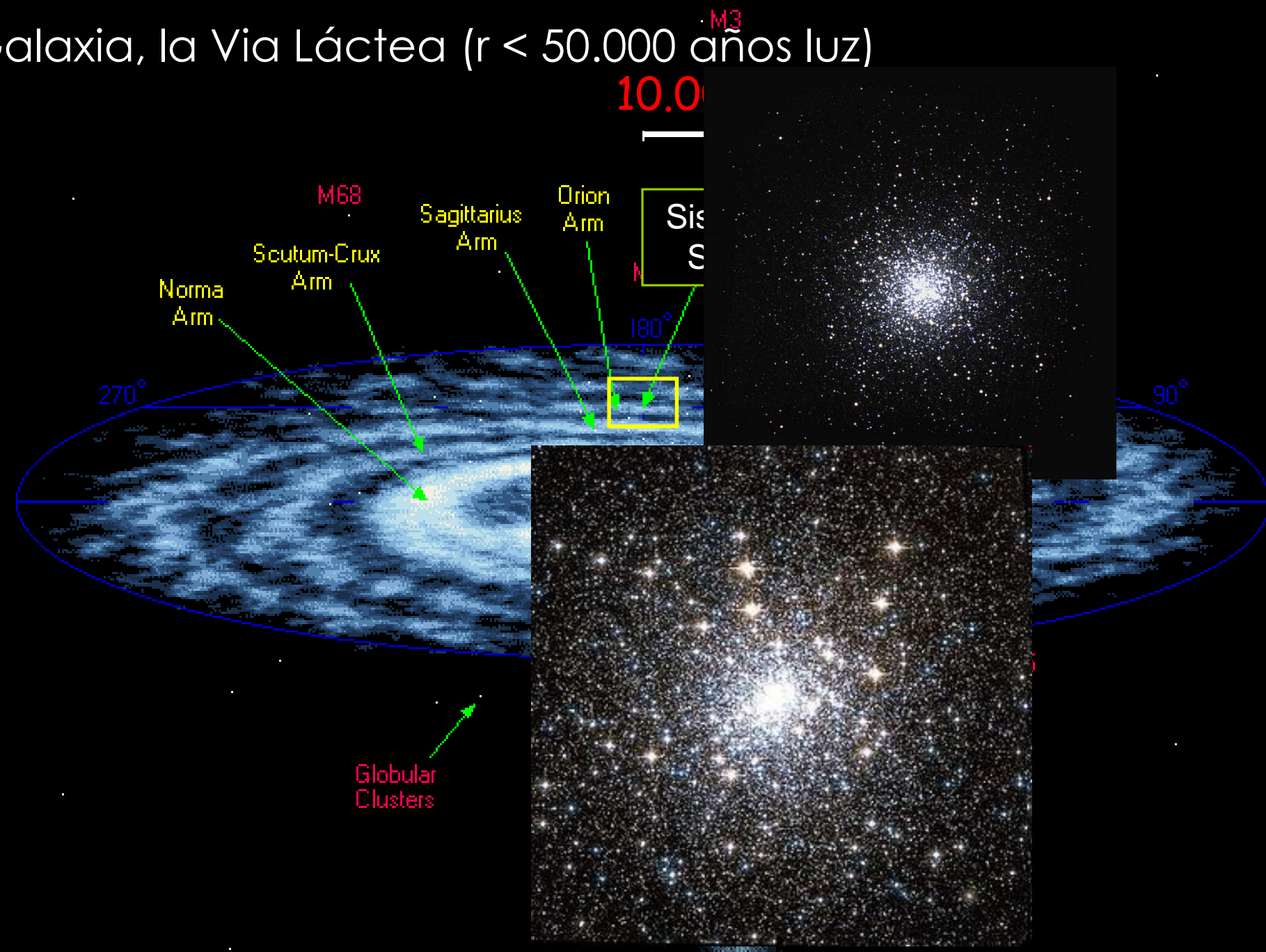
# El brazo de Orión (r < 5000 años luz)

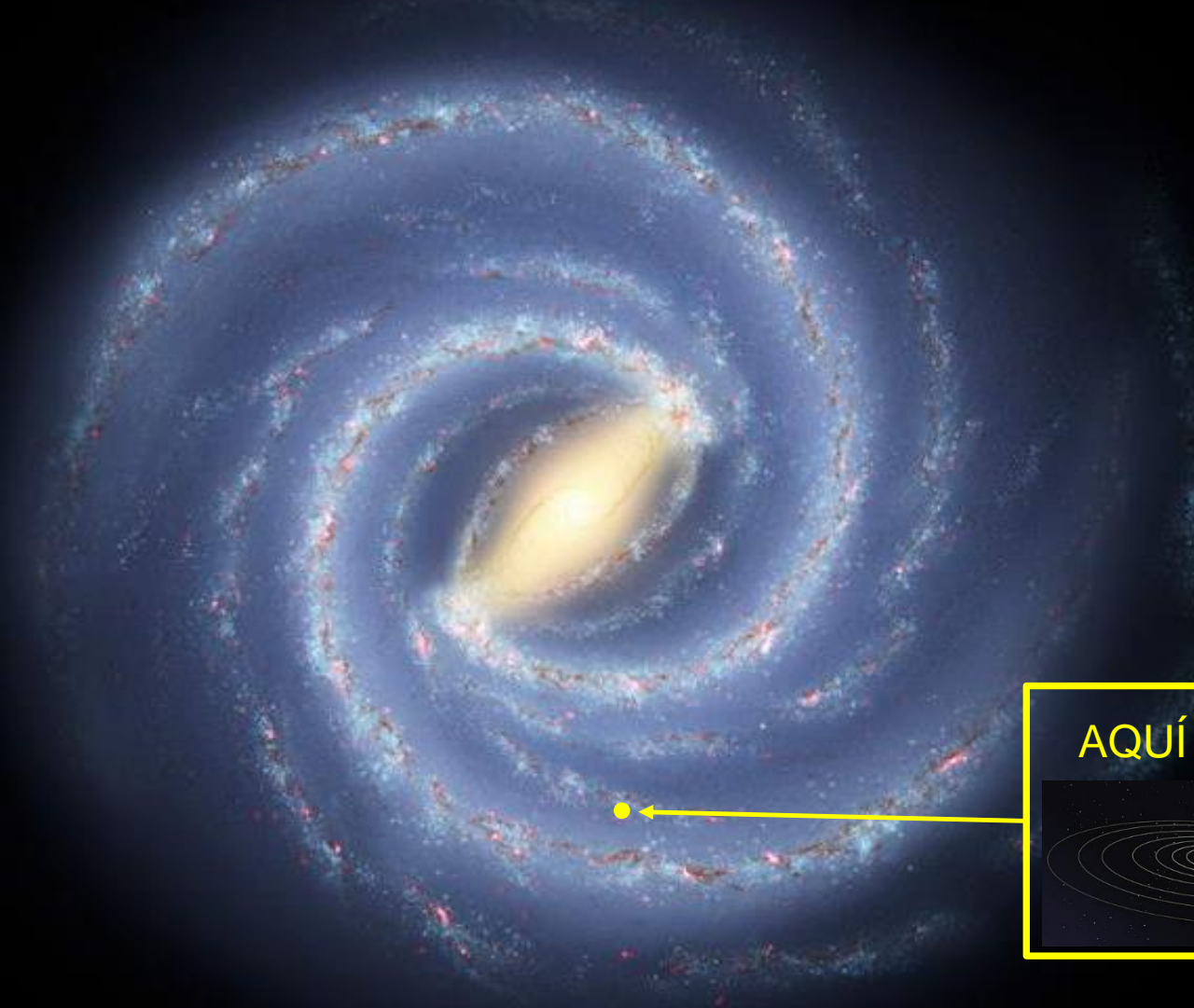
1000 al



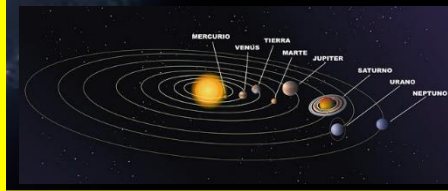


# Nuestra Galaxia, la Via Láctea ( $r < 50.000$ años luz)





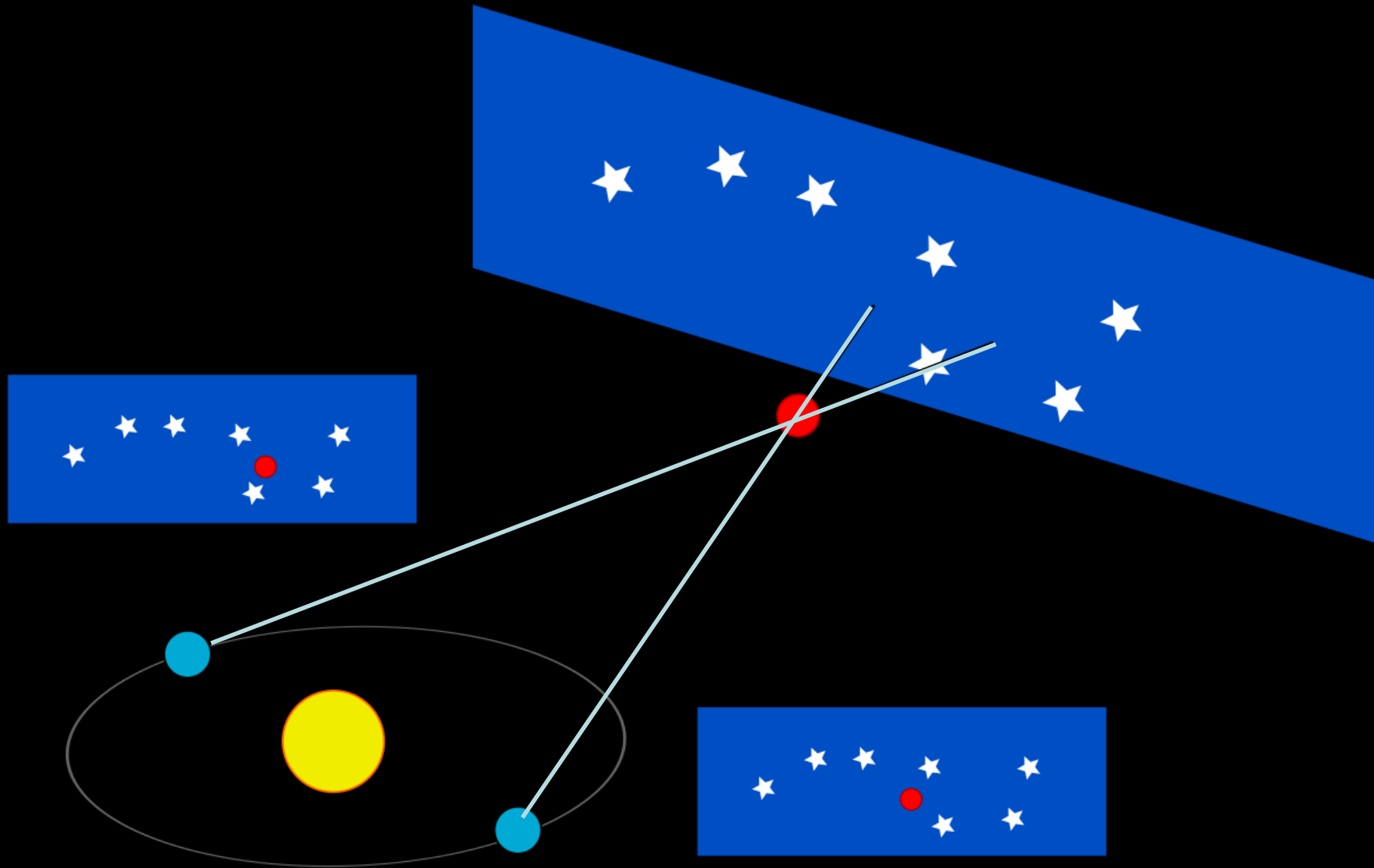
AQUÍ ESTAMOS



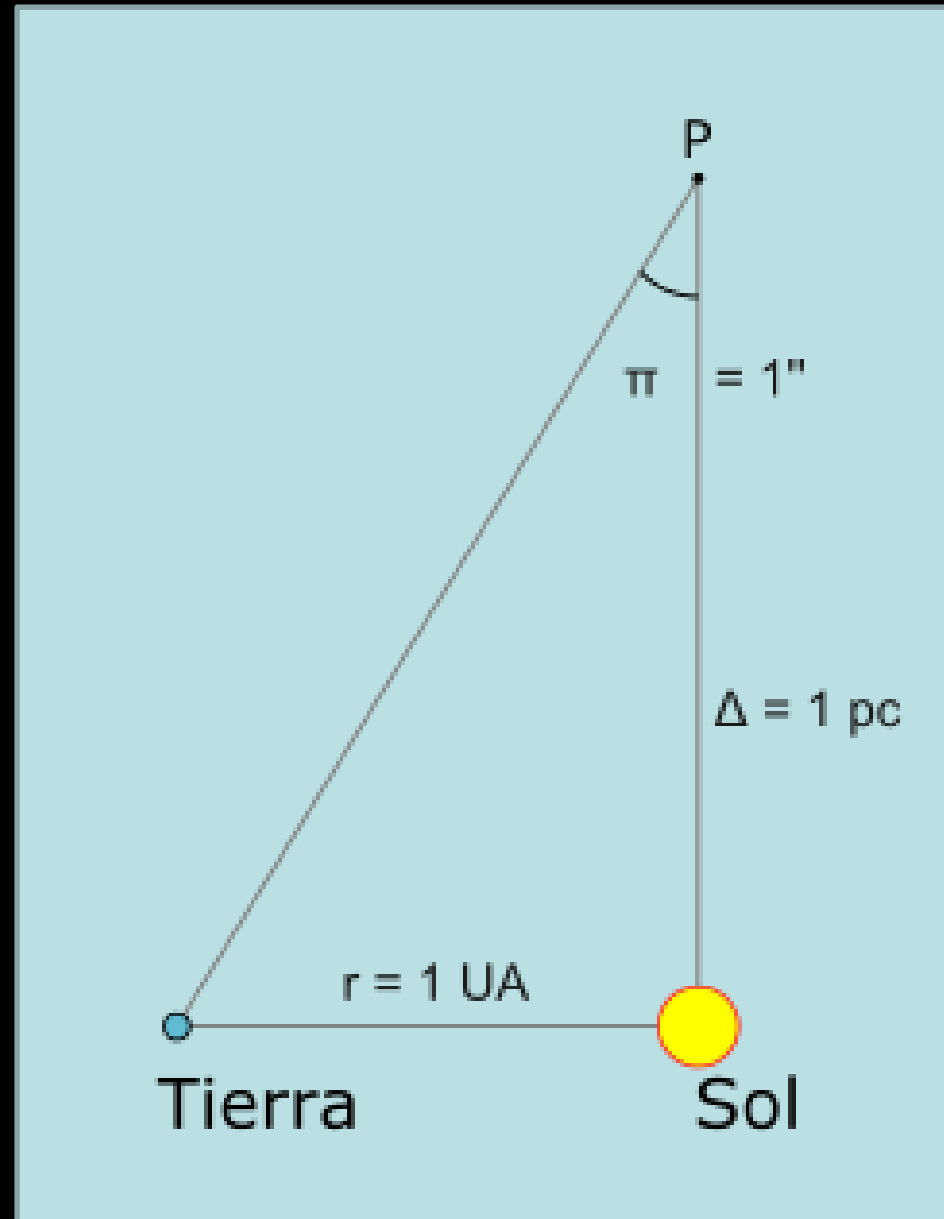




# Midiendo distancias a estrellas: la paralaje



# Definición de parsec (pc)



# Brillo de las estrellas: magnitudes

Magnitud aparente (m): comparando con una estándar (Vega), a la que se asigna magnitud aparente 0.0, la magnitud aparente de una estrella es:

$$m - 0.0 = -2.5 \log [F(\text{estrella})/F(\text{Vega})]$$

Estrella	Magnitud aparente	Magnitud absoluta
Sol	-26,72	+4,72
Sirio	-1,46	+1,42
Canopus	-0,72	-3,10
Vega	+0,04	+0,50
Rigel	+0,14	-7,1

$\Delta m = 5$  implica un cociente de brillos de 100



# Brillo de las estrellas: magnitudes

Magnitud absoluta (M): magnitud aparente de una estrella si estuviera situada a una distancia de 10 pc

$$M = m + 5 - 5 \log [d(\text{parsecs})]$$

Estrella	Magnitud aparente	Magnitud absoluta
Sol	-26,72	+4,72
Sirio	-1,46	+1,42
Canopus	-0,72	-3,10
Vega	+0,04	+0,50
Rigel	+0,14	-7,1

# Estrellas



# Números muy útiles

$$1 R_{\odot} \approx 700\,000 \text{ km}$$

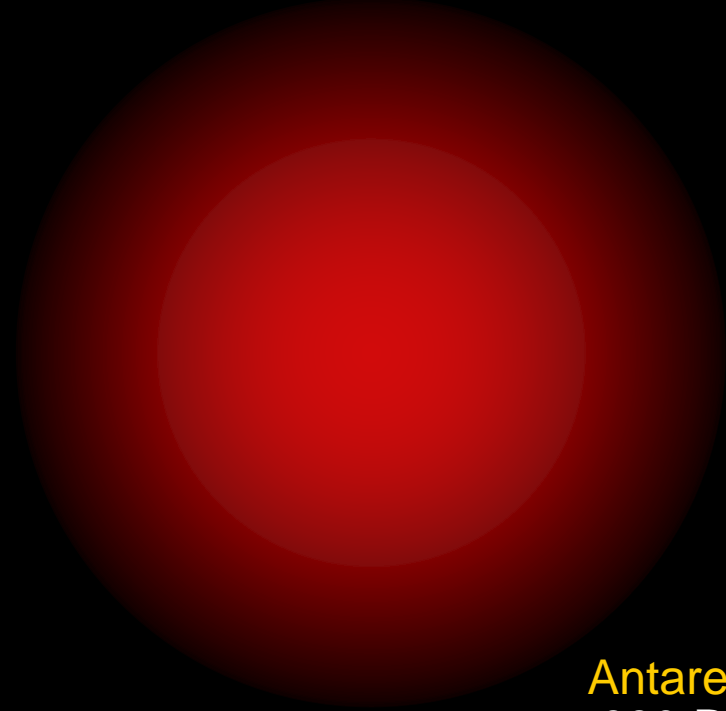
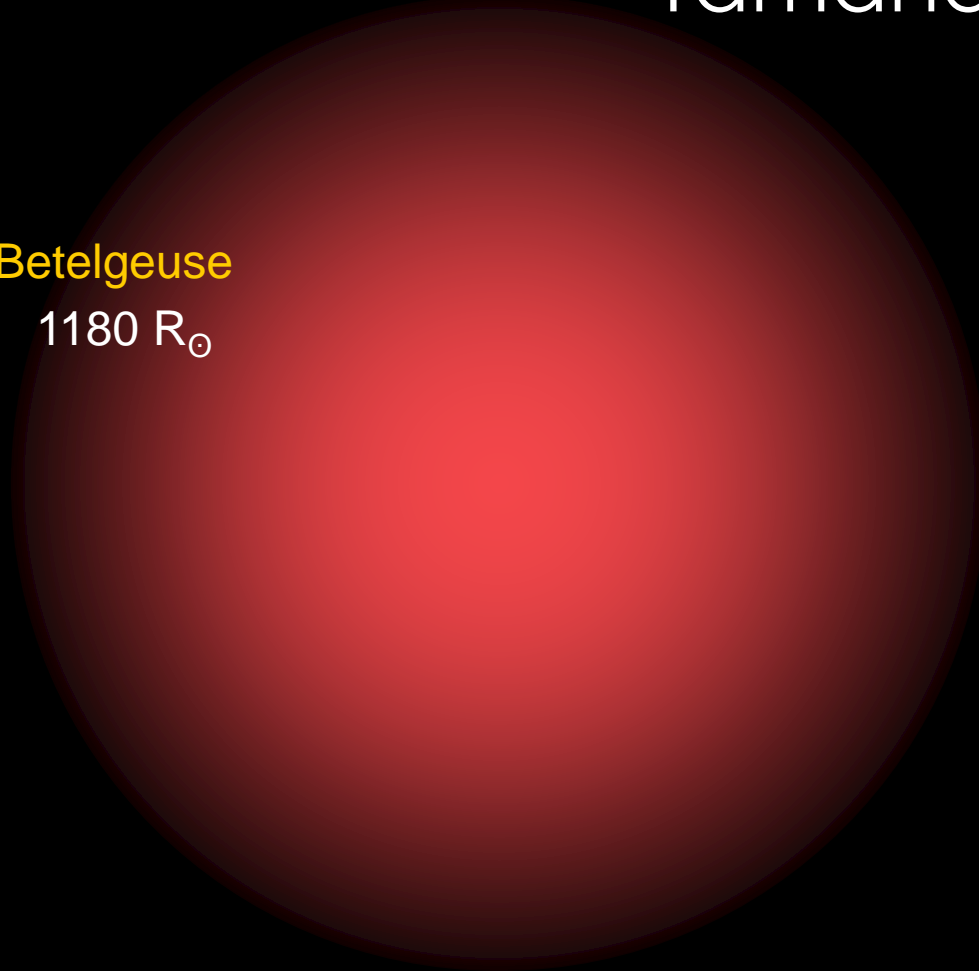
$$1 M_{\odot} \approx \begin{array}{l} 2\,000\,000\,000\,000\,000 \\ 000\,000\,000\,000\,000 \\ = 2 \times 10^{30} \text{ kg} \end{array}$$

$$T_{\odot} \approx 5500 \text{ C} \approx 5800 \text{ K}$$

$$1 \text{ ua} = 150\,000\,000 \text{ km}$$

# Tamaños...

Betelgeuse  
1180 R<sub>☉</sub>



Antares  
680 R<sub>☉</sub>

Sol



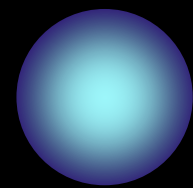
Pollux



Arturo



Rigel

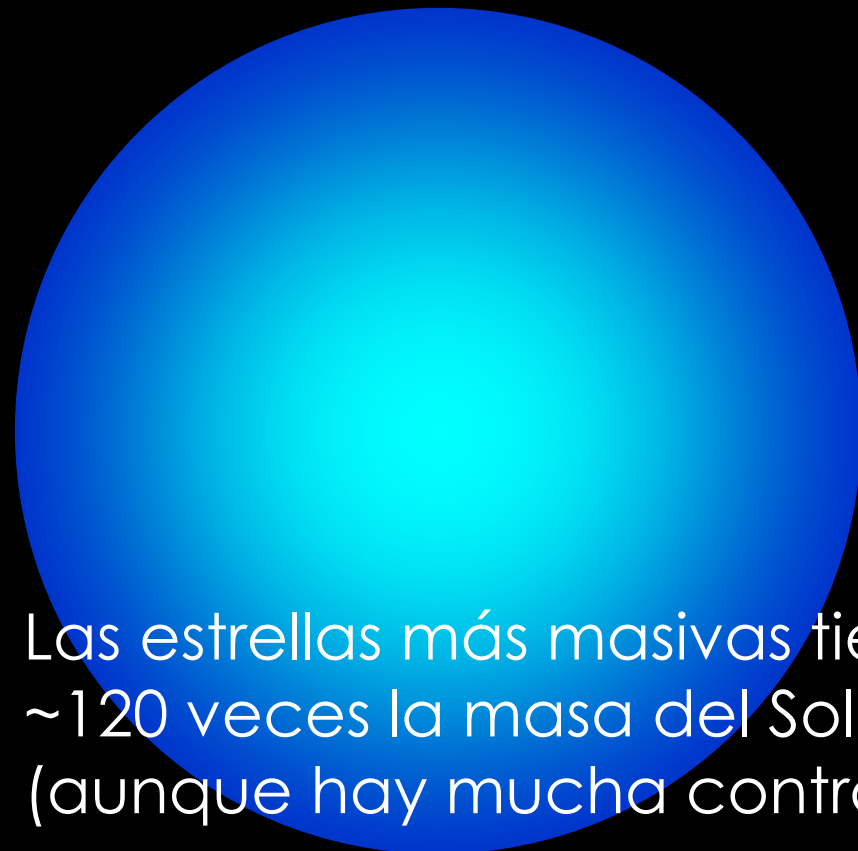


Aldebarán

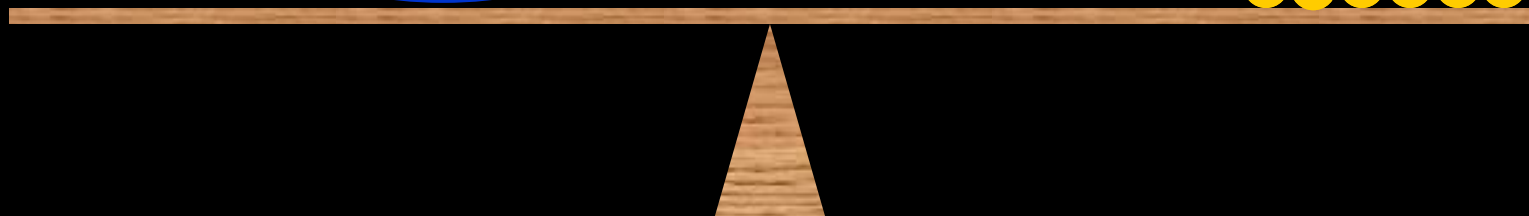
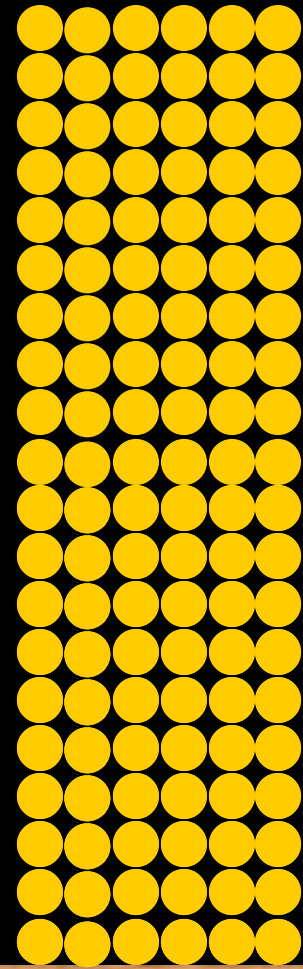




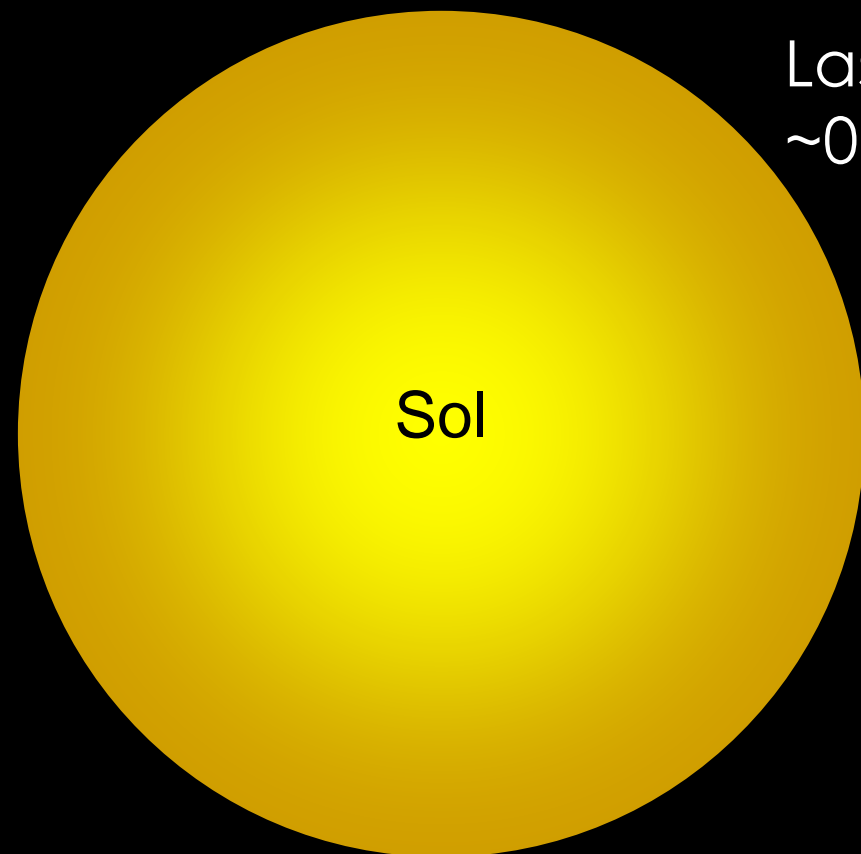
# Masas



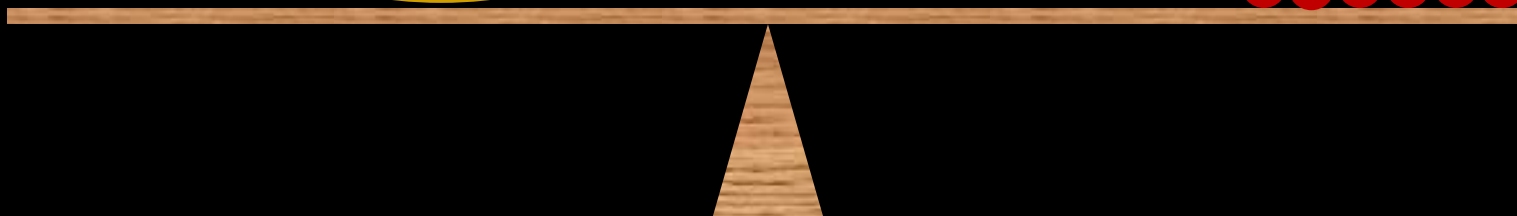
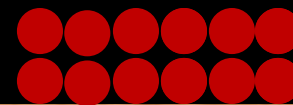
Las estrellas más masivas tienen  
~120 veces la masa del Sol  
(aunque hay mucha controversia...)



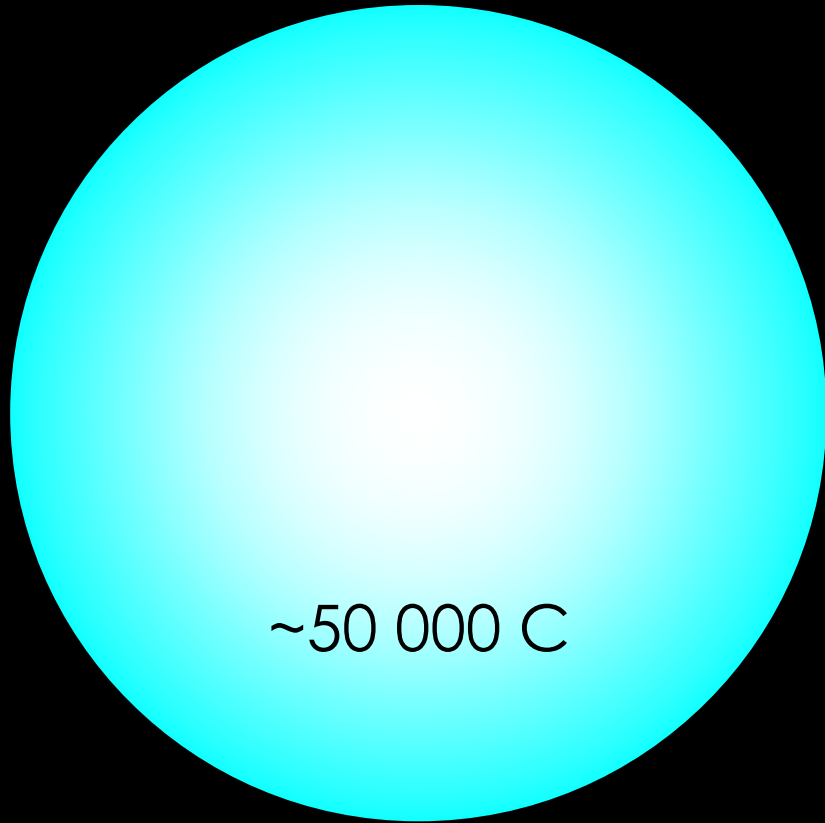
# Masas



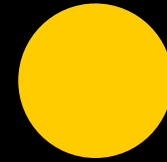
Las estrellas menos masivas tienen  
~0.08 veces la masa del Sol



# Temperaturas y colores



~50 000 C



Sol: 5500 C

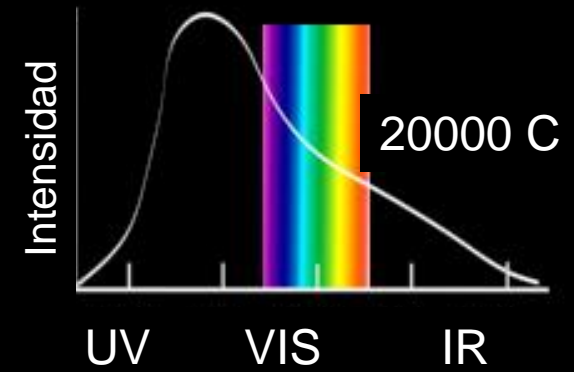
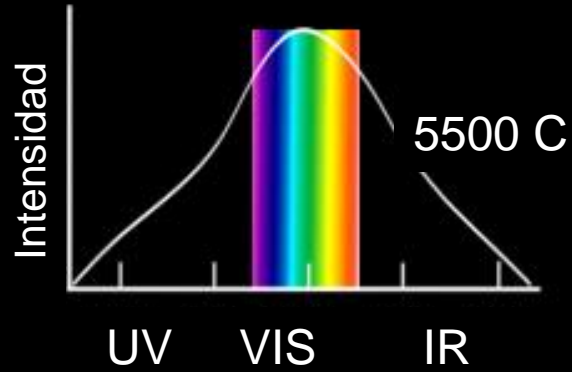
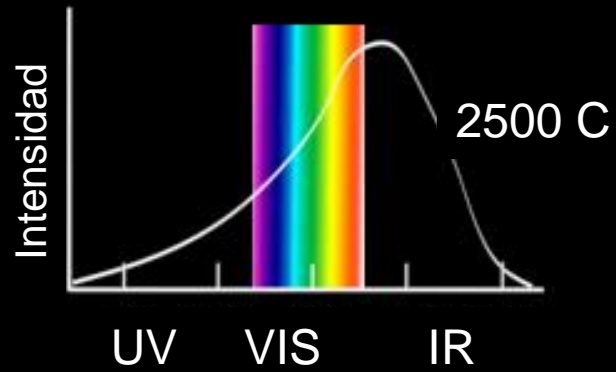


~2000 C

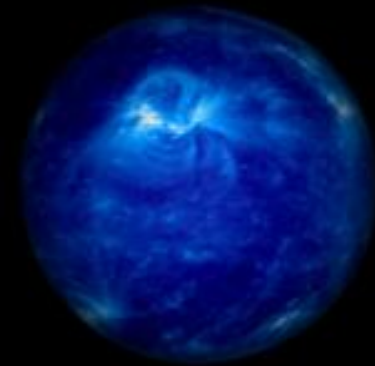
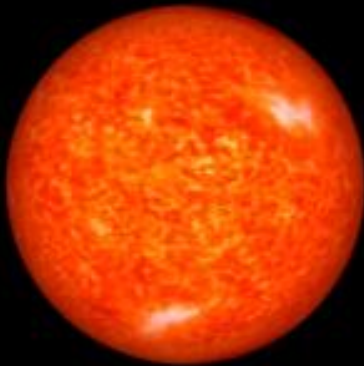


Enana blanca RX JO439.8-6809: ~250 000 C

# Temperaturas y colores

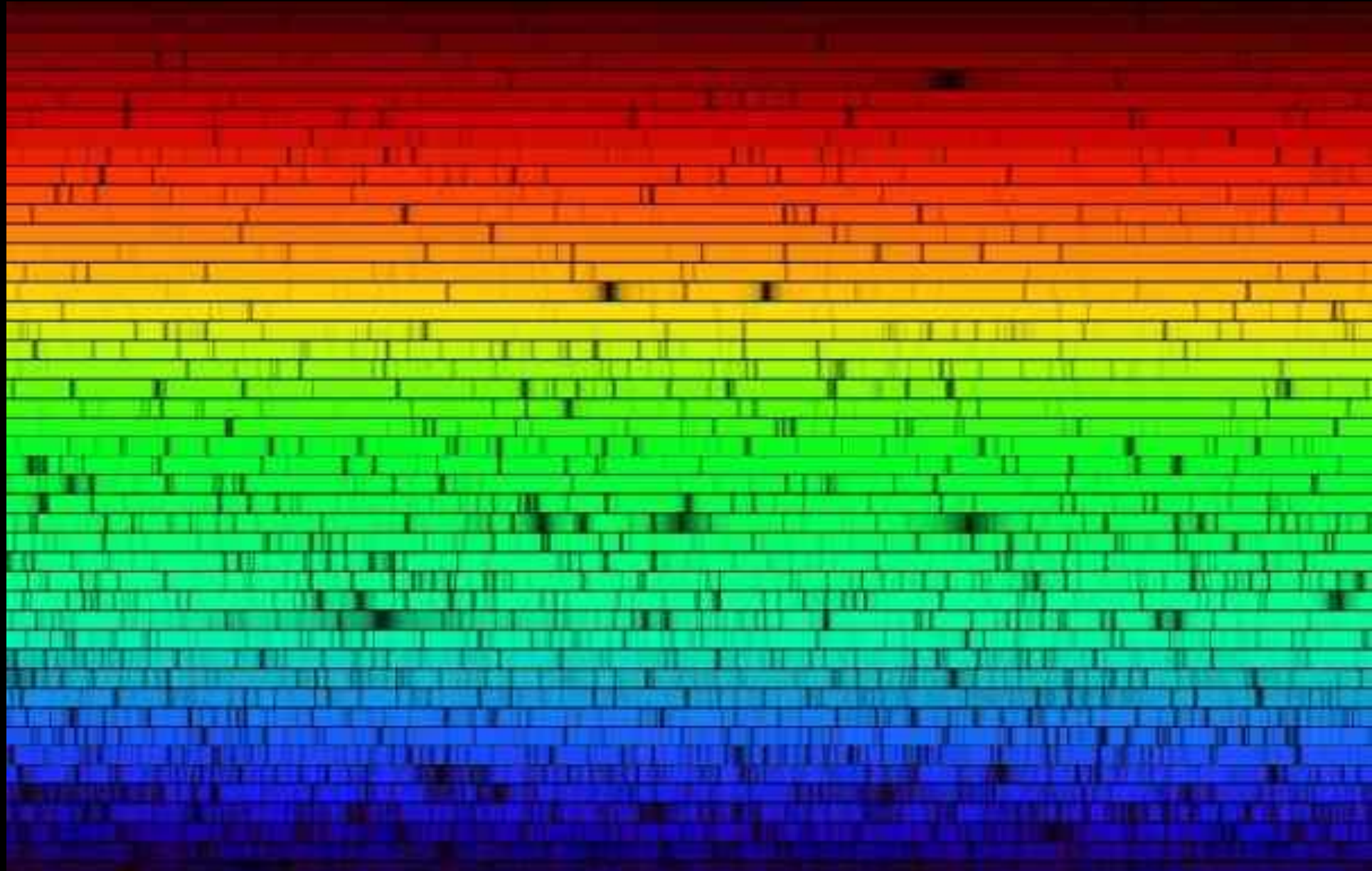


Longitud de onda



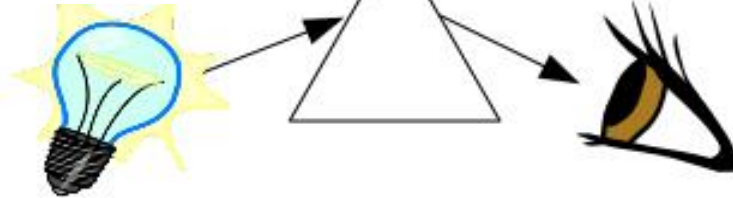


# El espectro del Sol



# Una pequeña lección de espectroscopía

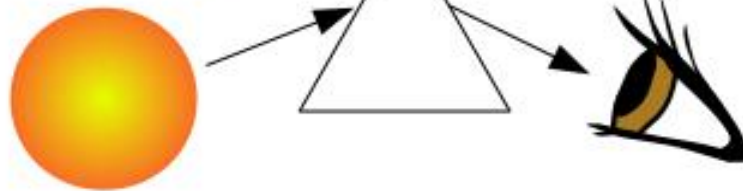
Luz incandescente



Espectro continuo



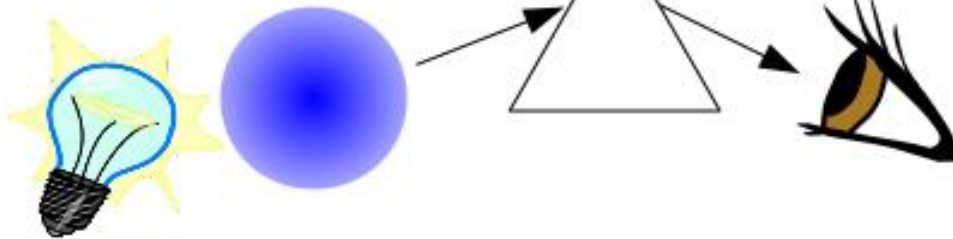
Gas caliente



Espectro de emisión



Gas frío

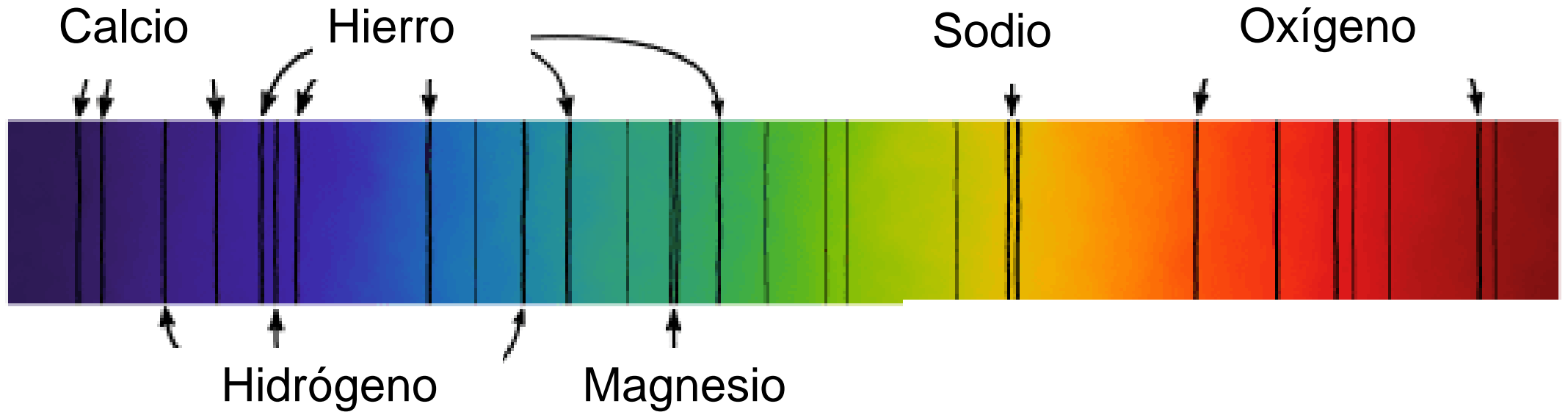


Espectro de absorción



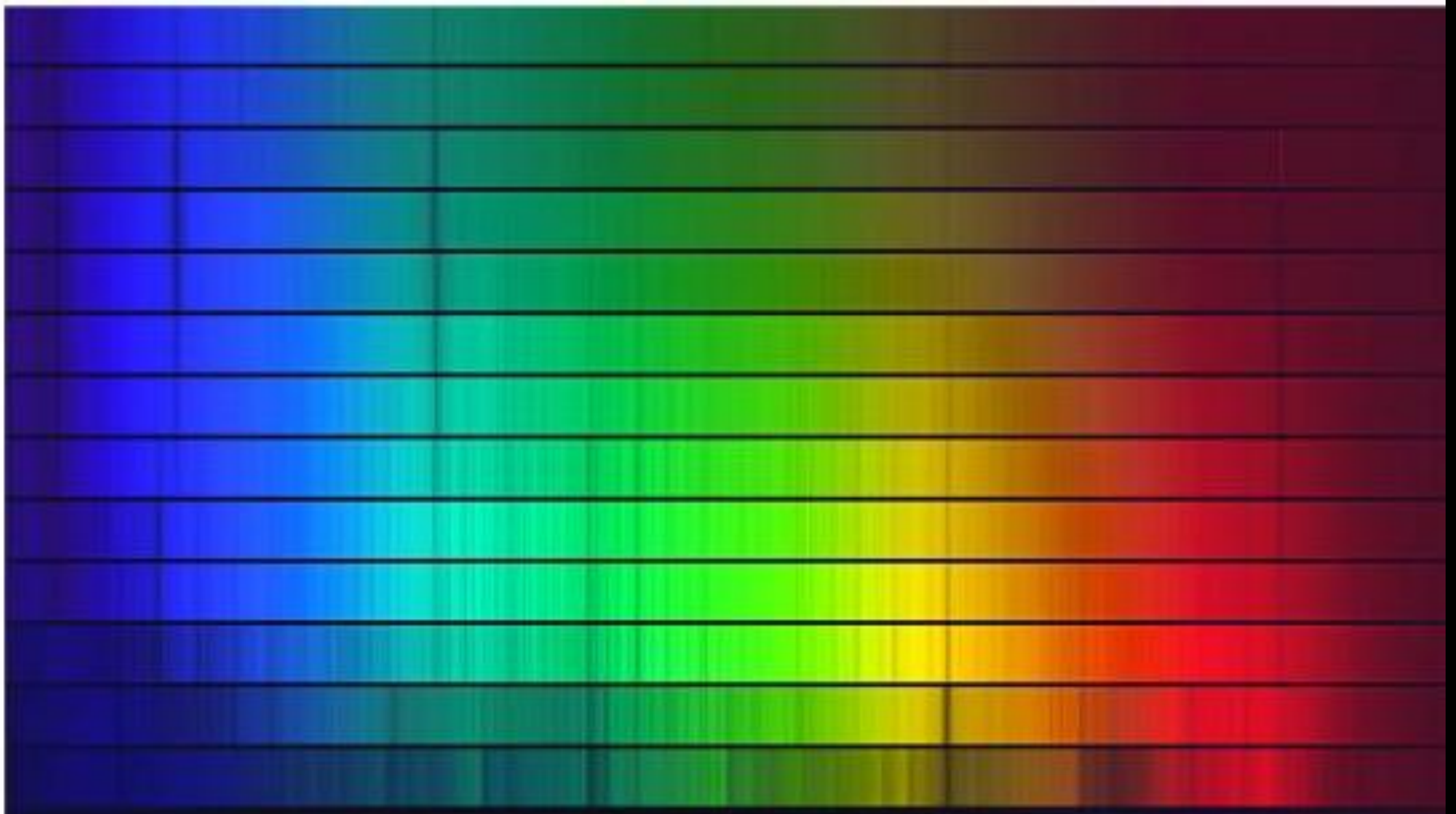
chno.wordpress.com

## Algunas líneas espectrales del Sol



# Tipos espectrales (OBAFGKMLTY)

O6.5  
B0  
B6  
A1  
A5  
F0  
F5  
G0  
G5  
K0  
K5  
M0  
M5

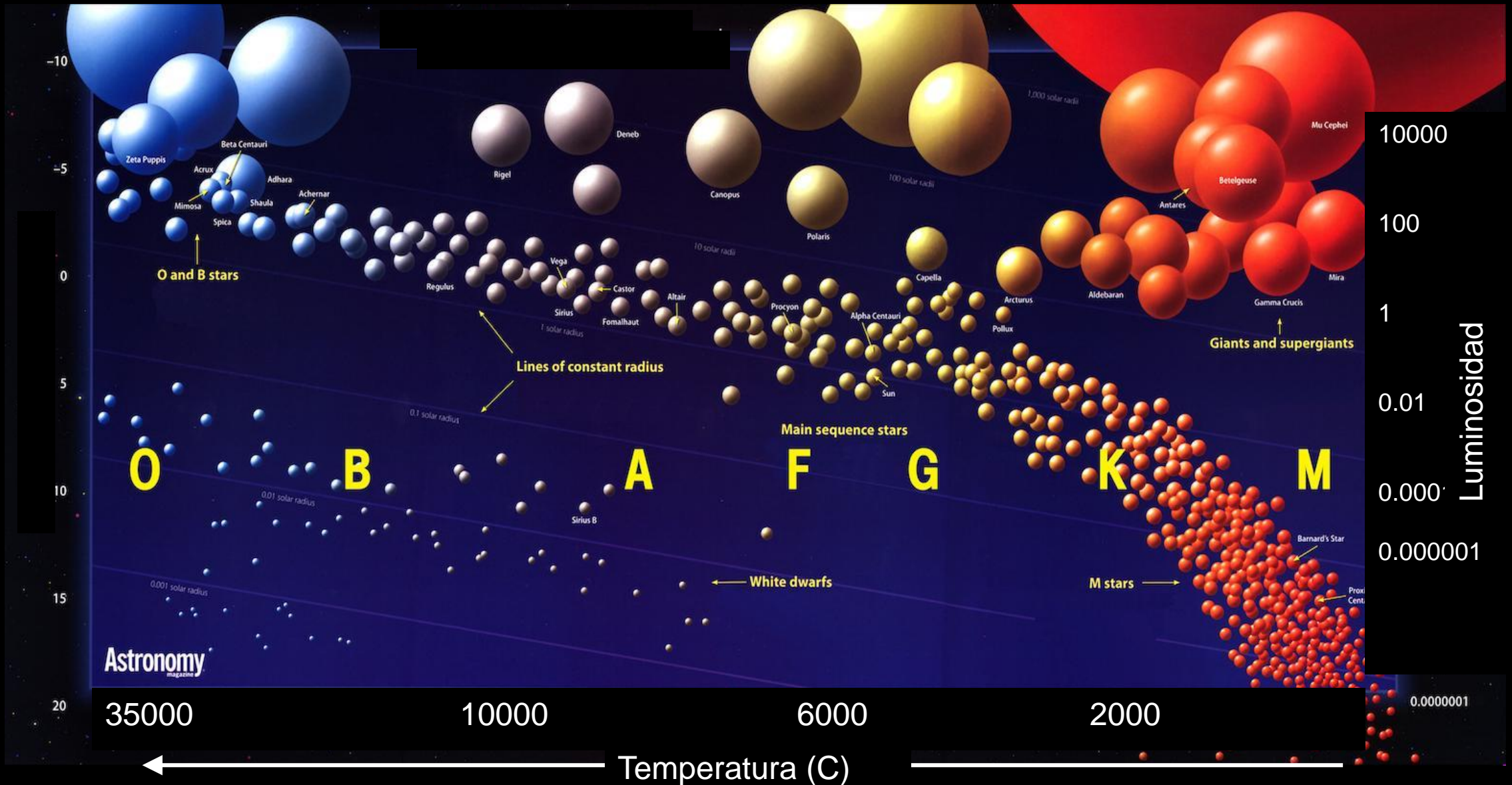




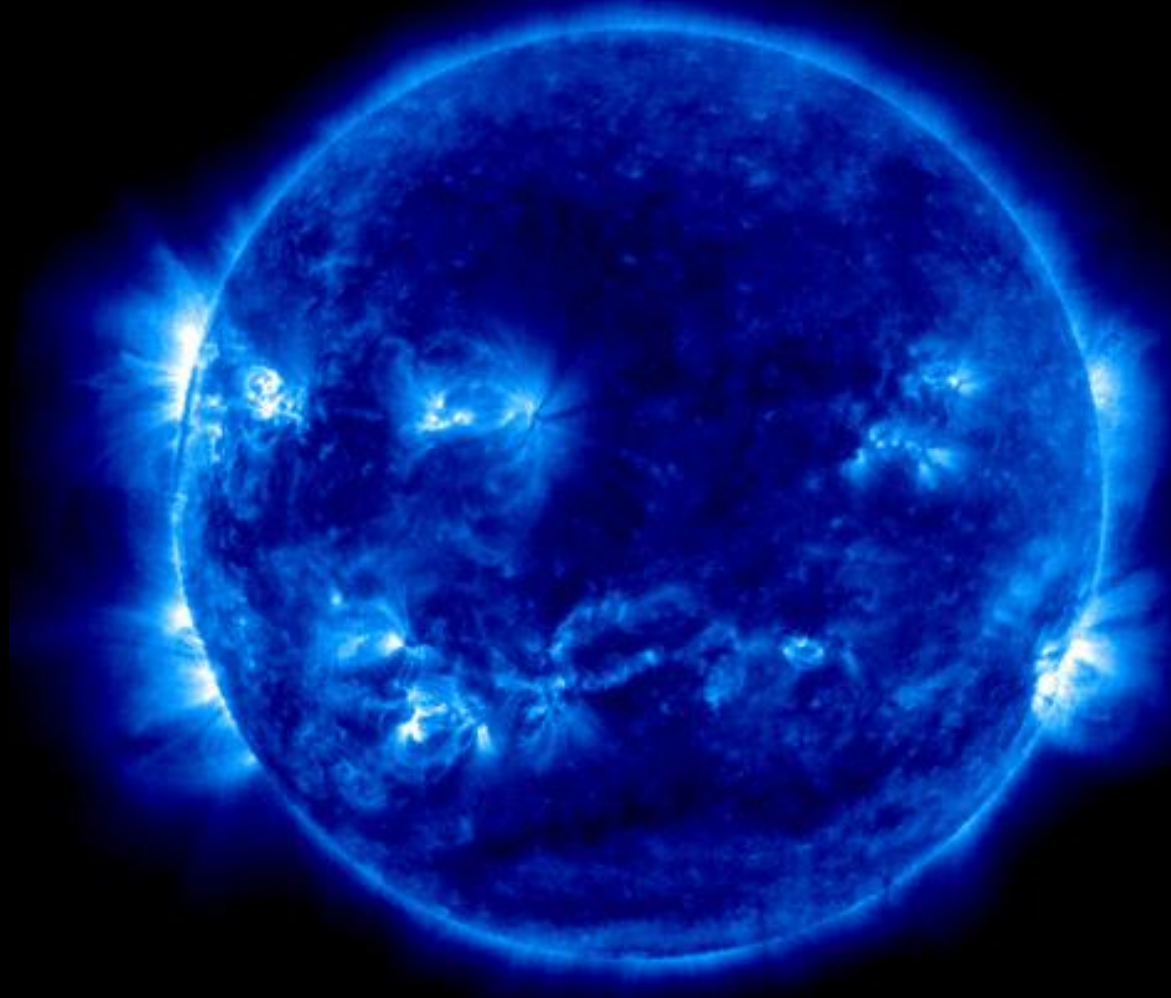
# Tipos espectrales (OBAFGKM)

Clase	Temperatura	Color	Masa	Radio	Luminosidad	Líneas de absorción
O	28 000 - 50 000 °C	Azul	60	15	1.400.000	Nitrógeno, carbono, helio y oxígeno
B	9 600 - 28 000 °C	Blanco azulado	18	7	20.000	Helio, hidrógeno
A	7 100 - 9 600 °C	Blanco	3,1	2,1	80	Hidrógeno
F	5 700 - 7 100 °C	Blanco amarillento	1,7	1,3	6	Metales: hierro, titanio, calcio, estroncio y magnesio
G	4 600 - 5 700 °C	Amarillo (como el Sol)	1,1	1,1	1,2	Calcio, helio, hidrógeno y metales
K	3 200 - 4 600 °C	Amarillo anaranjado	0,8	0,9	0,4	Metales y óxido de titanio
M	1 700 - 3 200 °C	Rojo	0,3	0,4	0,04	Metales y óxido de titanio

# El diagrama HR (Hertzprung-Russell)



¿Cómo es una estrella, por ejemplo, el Sol?

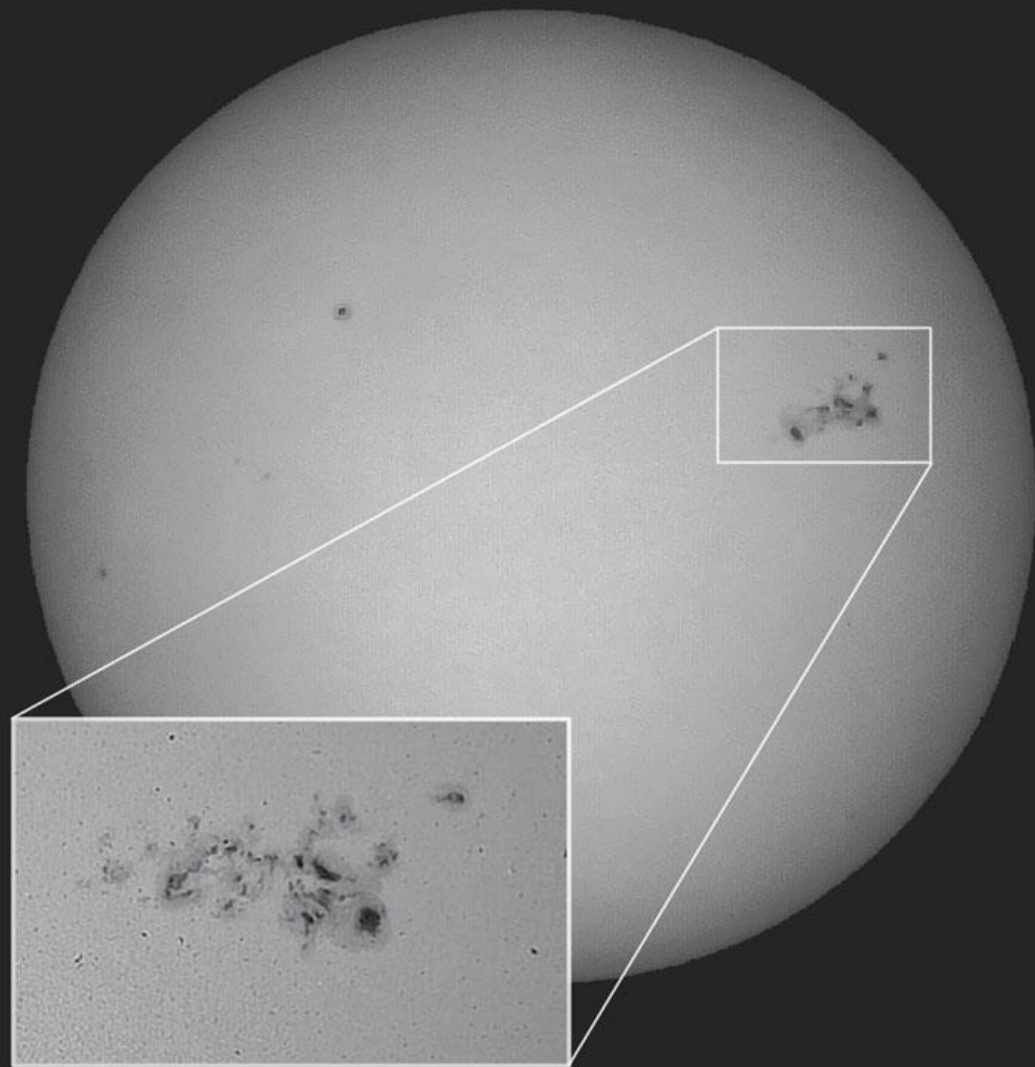


2012/11/10 01:00

ESA, NASA, SOHO team



Sole del 10 maggio 2024  
Regione AR3664







*Amery Durdyn Photography*

Marusz Durdyn



SDO/AIA 304 2011-02-24 07:27:08 UT

# Viento solar

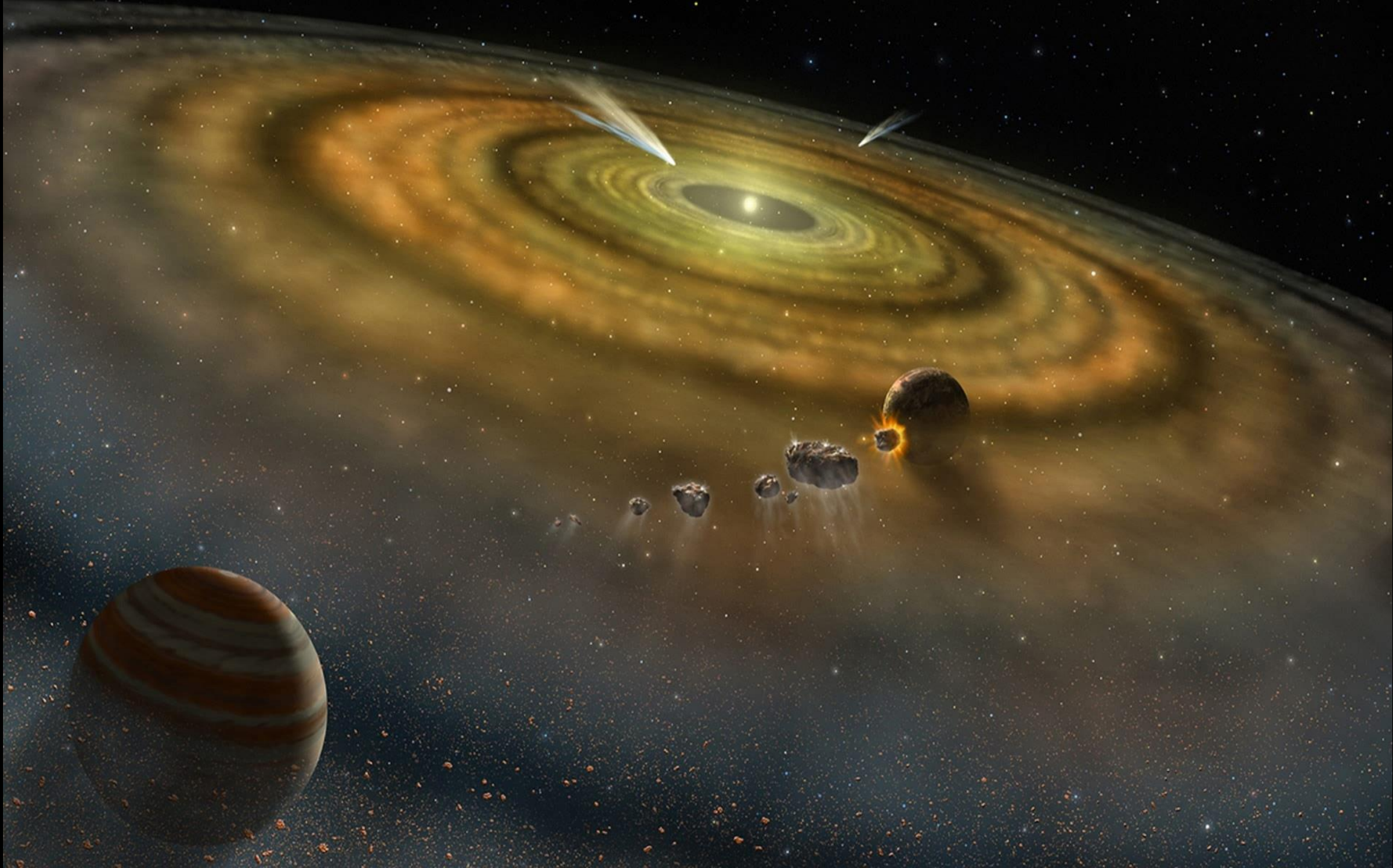




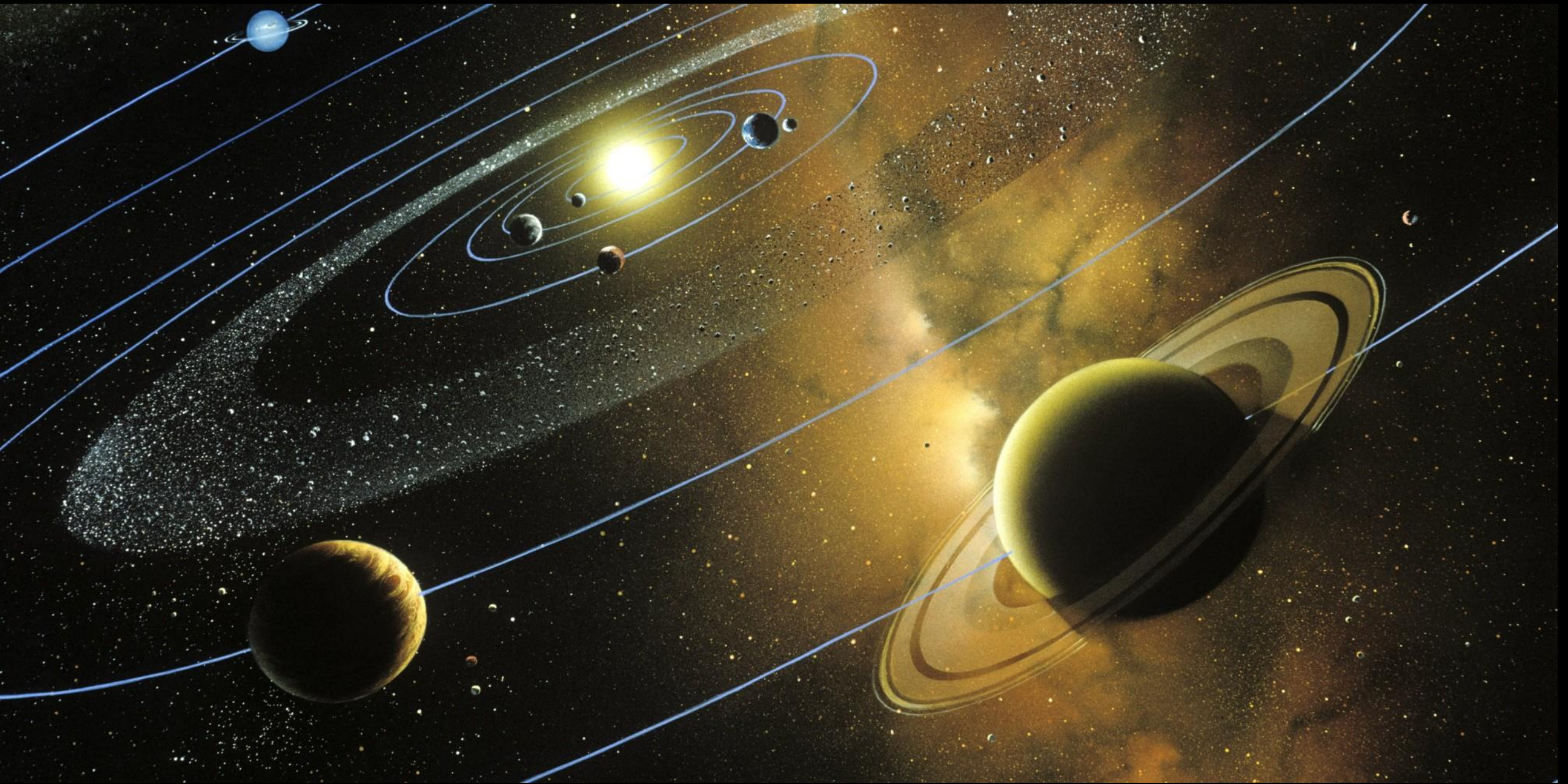
¿Cómo se formó el Sol? (y el sistema solar)





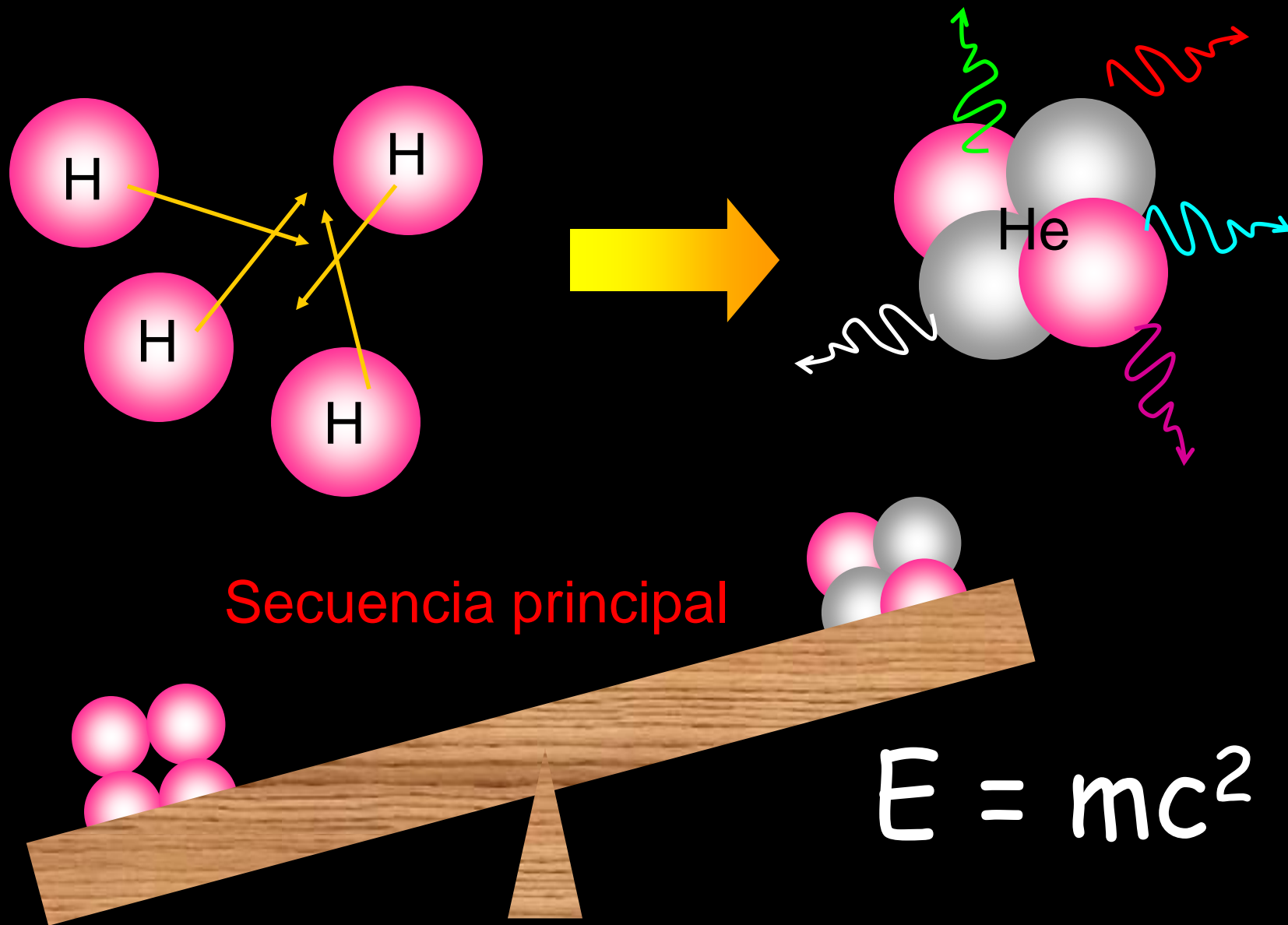








¿Qué sucede en el interior del Sol y de las estrellas durante la mayor parte de su vida?



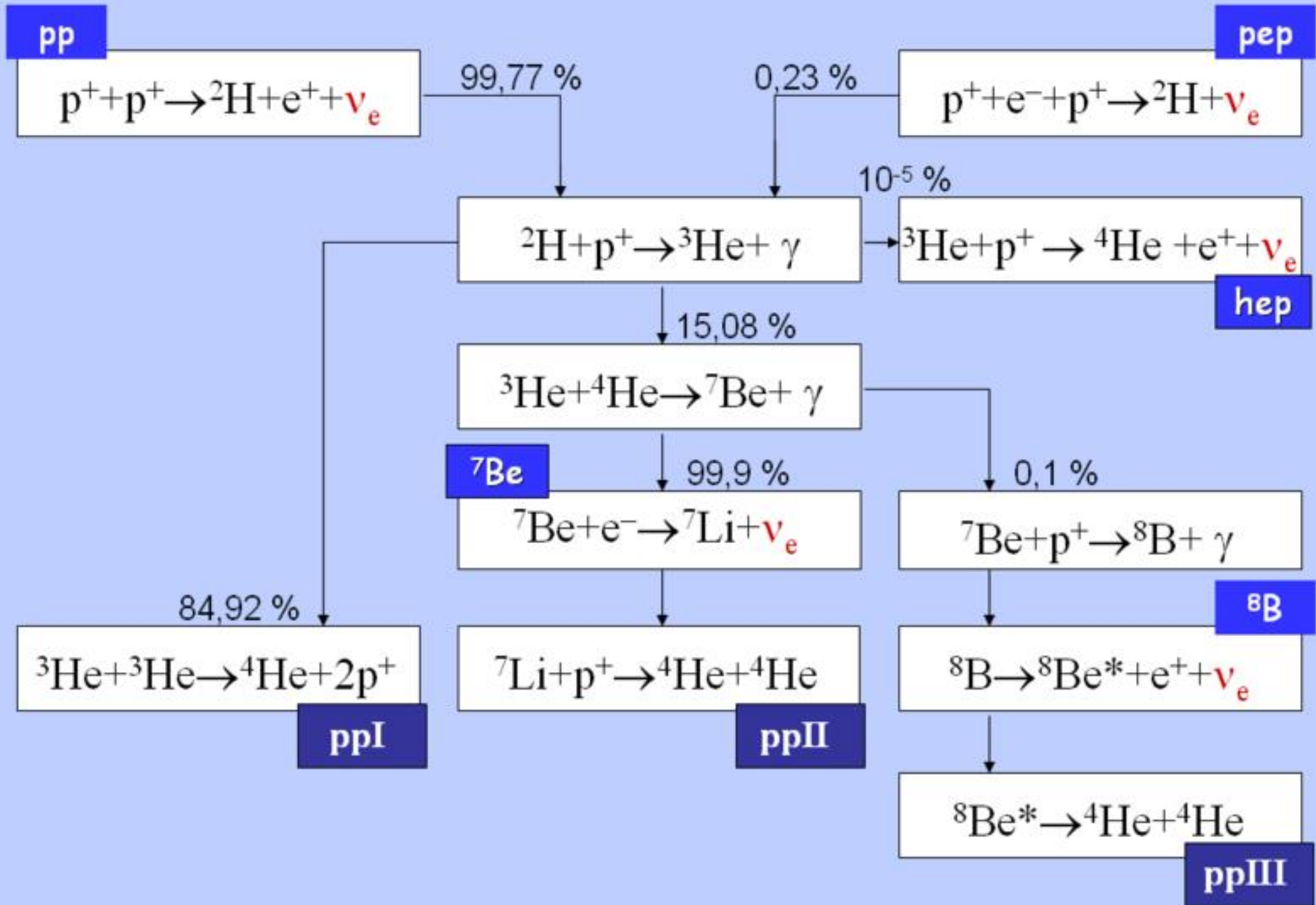
# Números “astronómicos”

92.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 (92 sextillones) de reacciones nucleares ocurren cada segundo en el Sol. En cada una de ellas el 0.7% de la masa se transforma en energía.

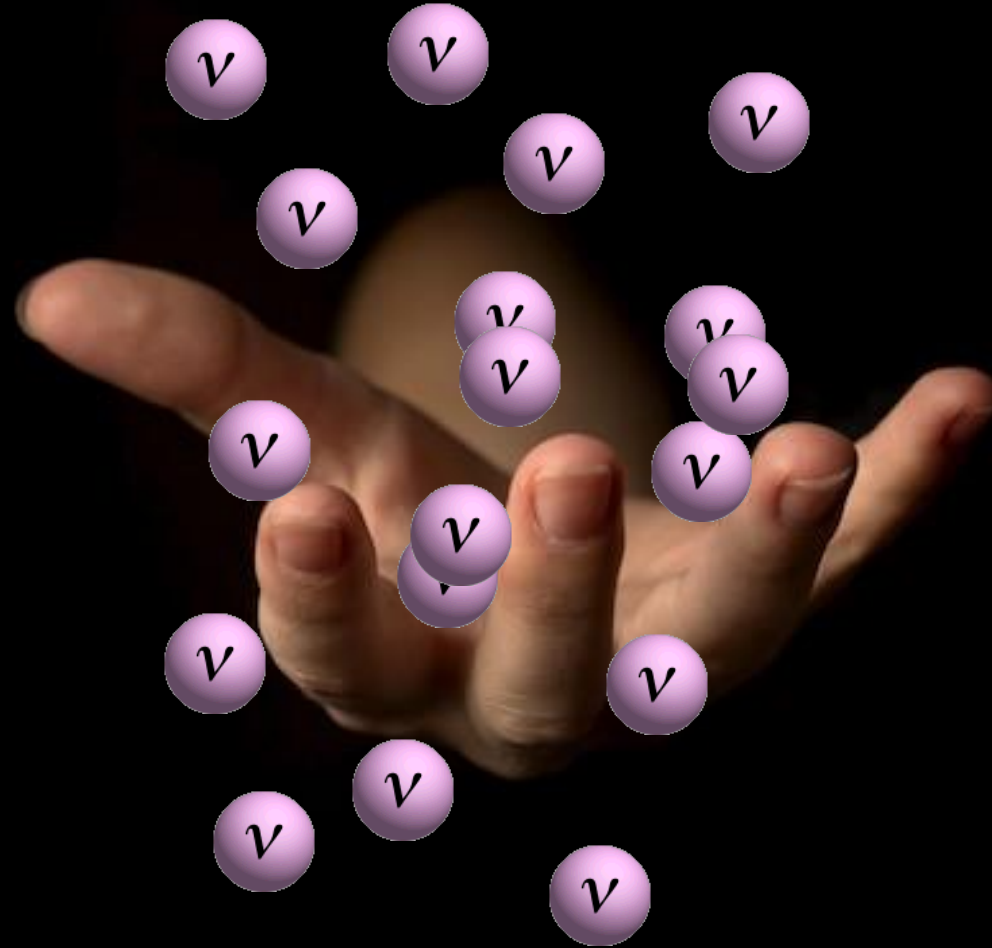


4 260 000 de toneladas de materia se convierten en cada segundo en energía suficiente para proporcionar electricidad a un hogar corriente durante 9500 billones de años.



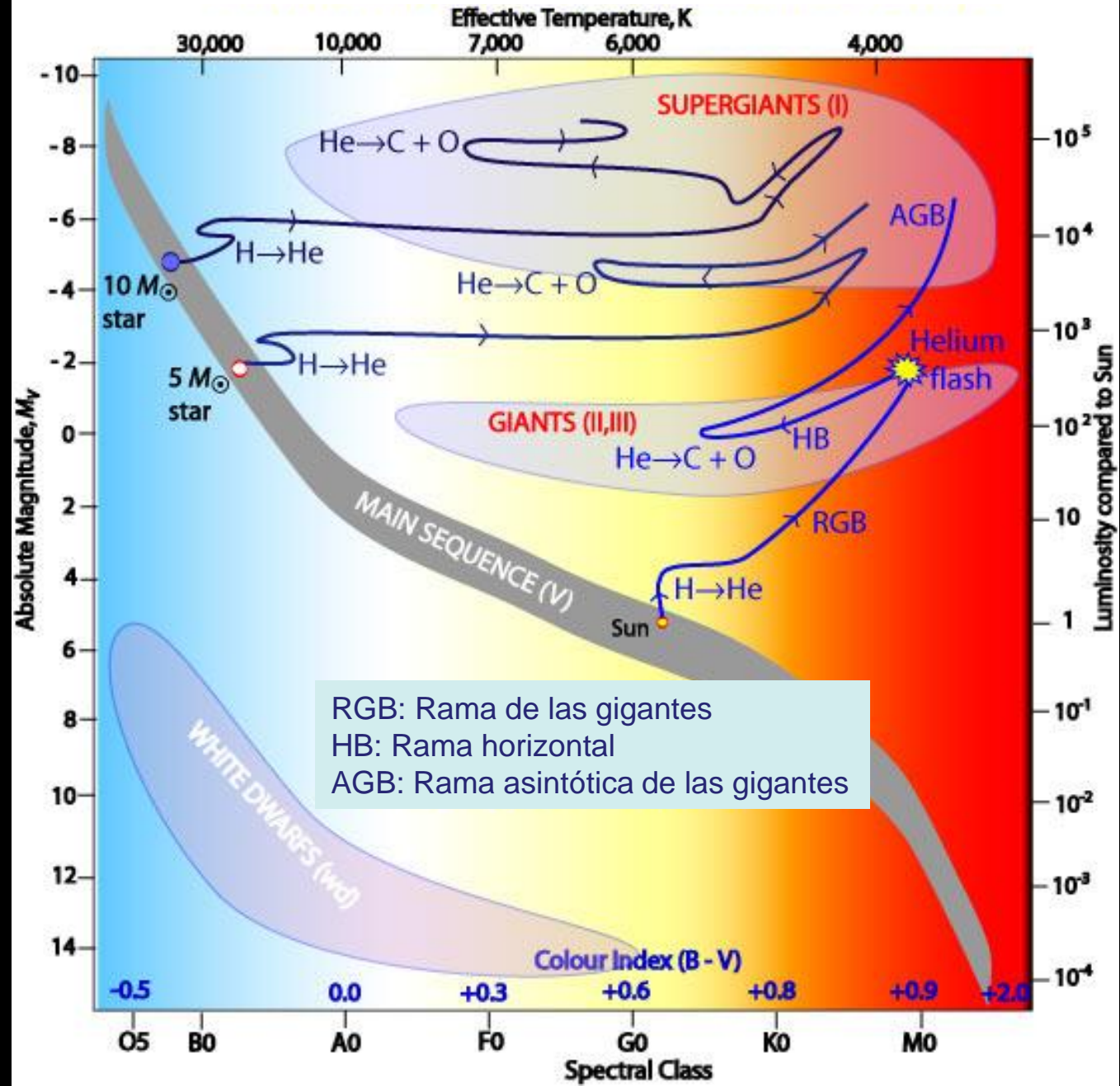


# Neutrinos solares



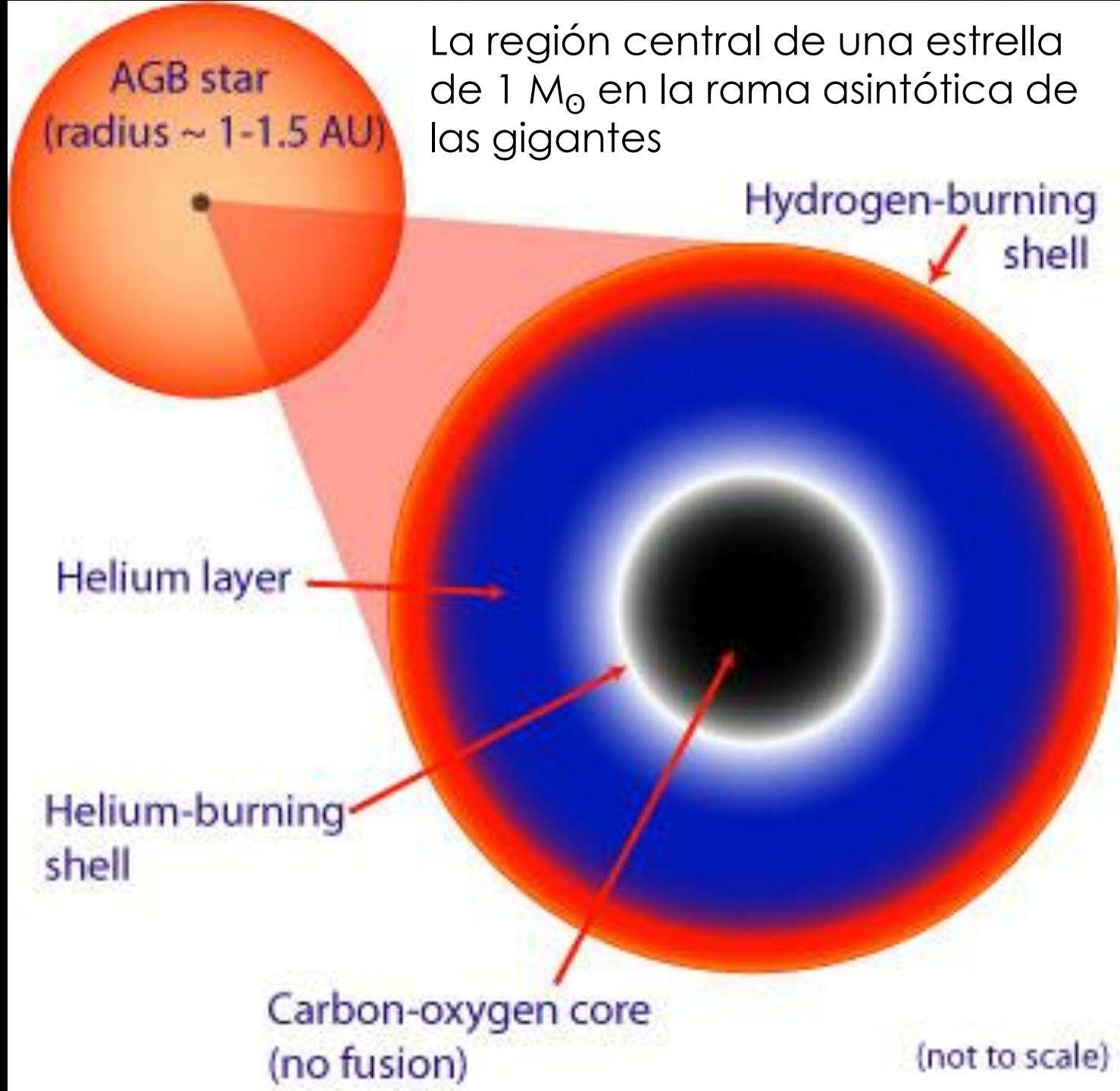
15.000.000.000.000 de neutrinos atraviesan la palma de tu mano cada segundo

# Evolución post-secuencia principal



RGB: Rama de las gigantes  
HB: Rama horizontal  
AGB: Rama asintótica de las gigantes

La región central de una estrella de  $1 M_{\odot}$  en la rama asintótica de las gigantes

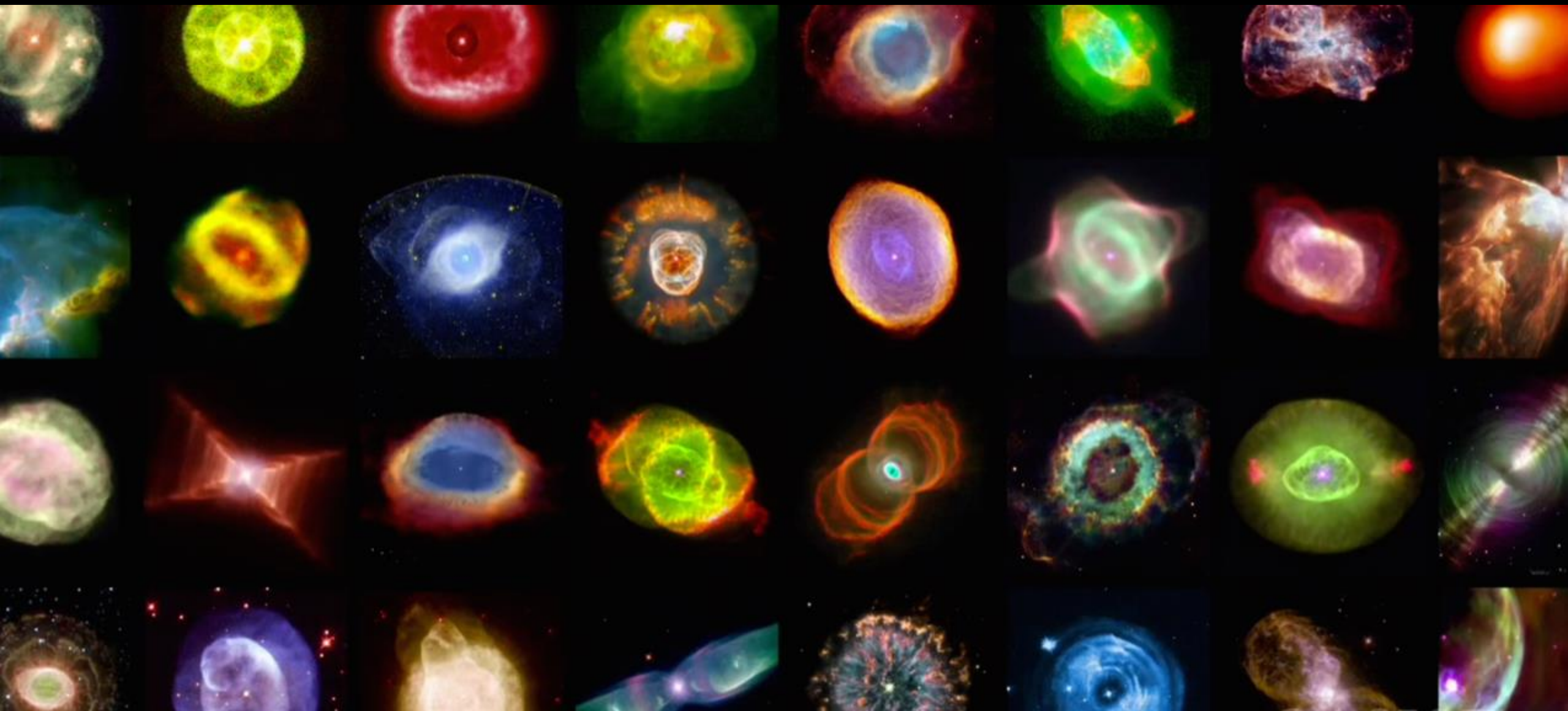




# El final del Sol (y de estrellas similares)



# “Nebulosas planetarias”



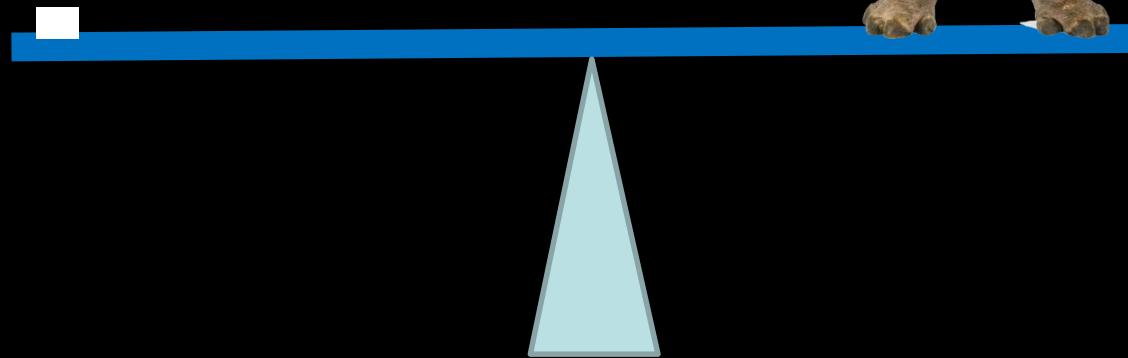
## Enanas blancas

Masa  $< 1.44 M_{\text{Sol}}$

Densidad  $\sim 1\,000\,000 \text{ g/cm}^3$

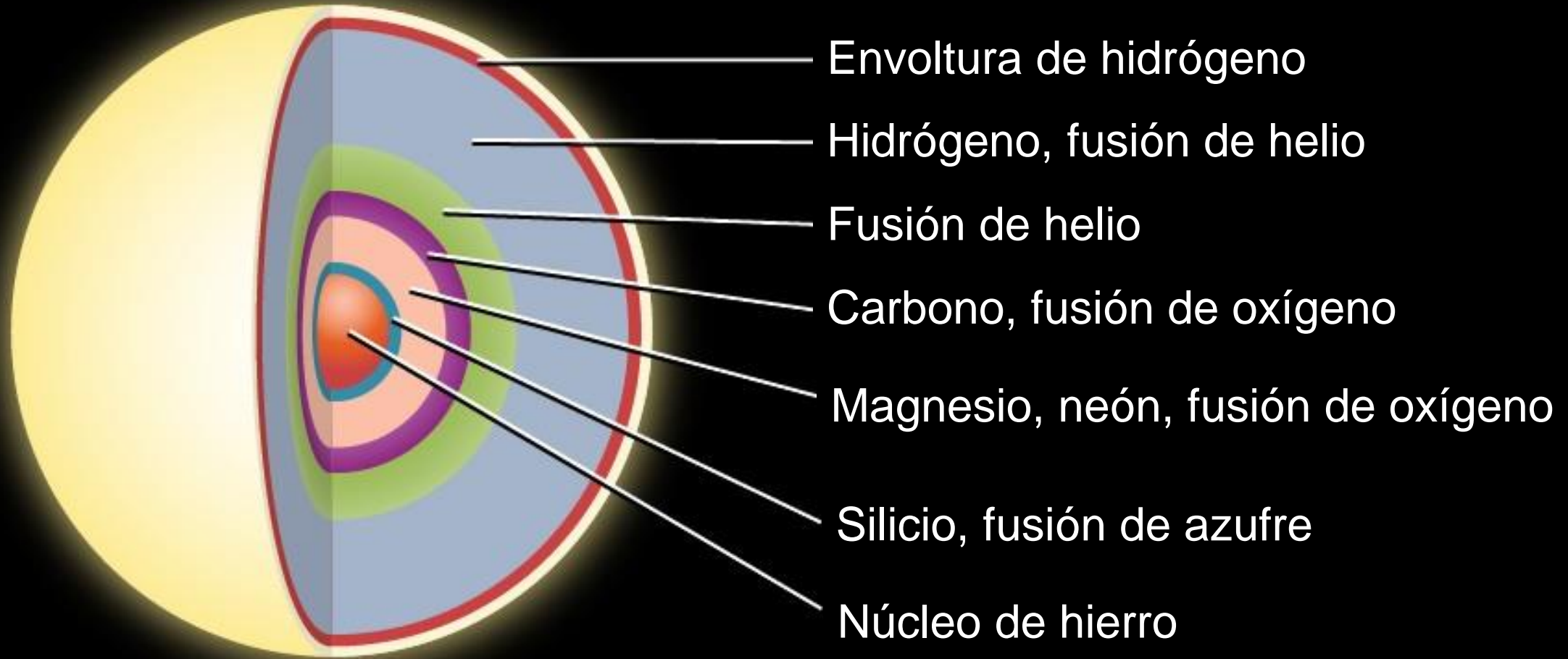
Radio  $\sim 1 R_{\text{Tierra}}$

Un "terrón de azúcar"  
de enana blanca





# Estrellas masivas ( $M > 8 M_{\text{Sol}}$ )







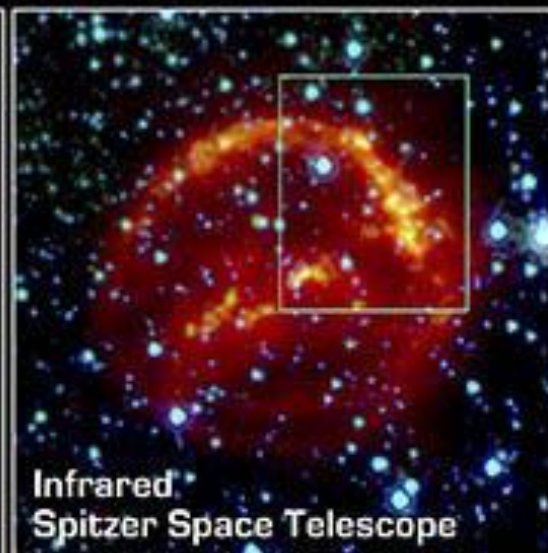




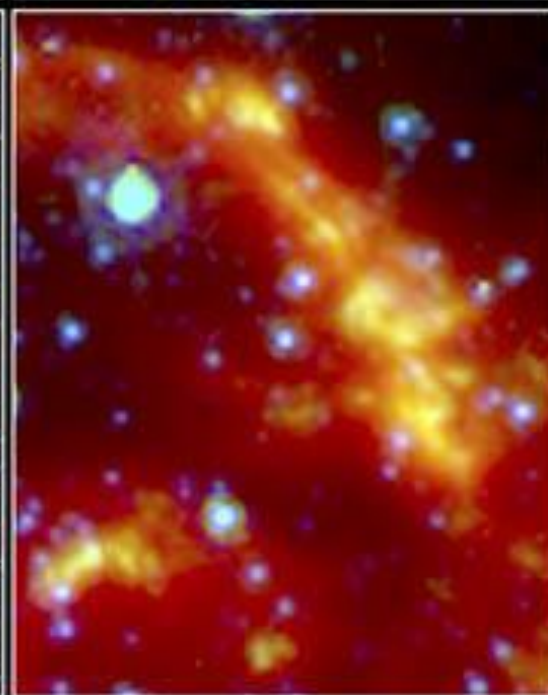
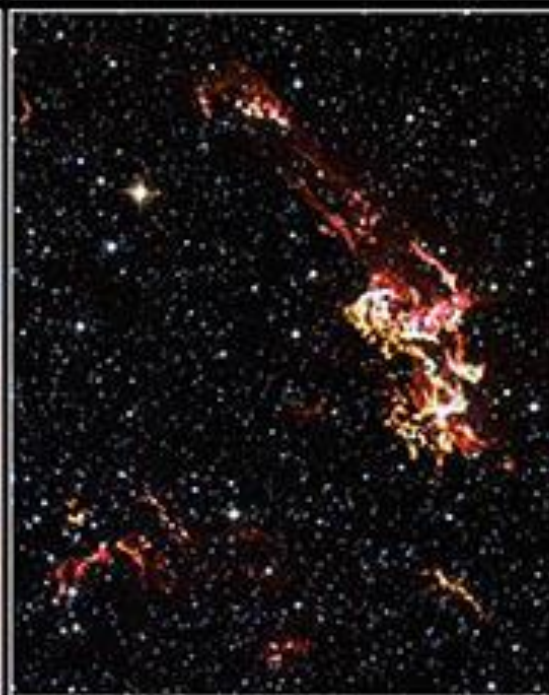
X-ray  
Chandra X-ray Observatory



Visible  
Hubble Space Telescope



Infrared  
Spitzer Space Telescope



**Kepler's Supernova Remnant • SN 1604**

NASA, ESA / JPL-Caltech / R. Sankrit & W. Blair (Johns Hopkins University)

ssc2004-15b

## Estrellas de neutrones

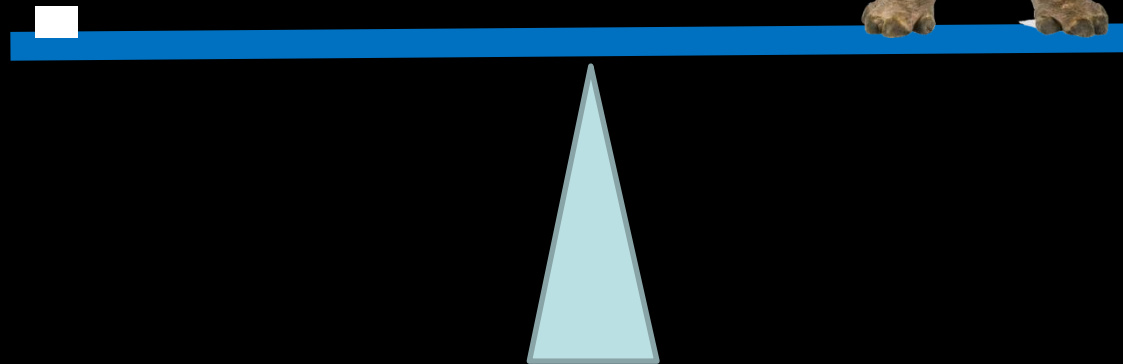
$$1.44 M_{\text{Sol}} < \text{Masa} < 3 M_{\text{Sol}}$$

$$\text{Densidad} \sim 10^{14} \text{ g/cm}^3$$

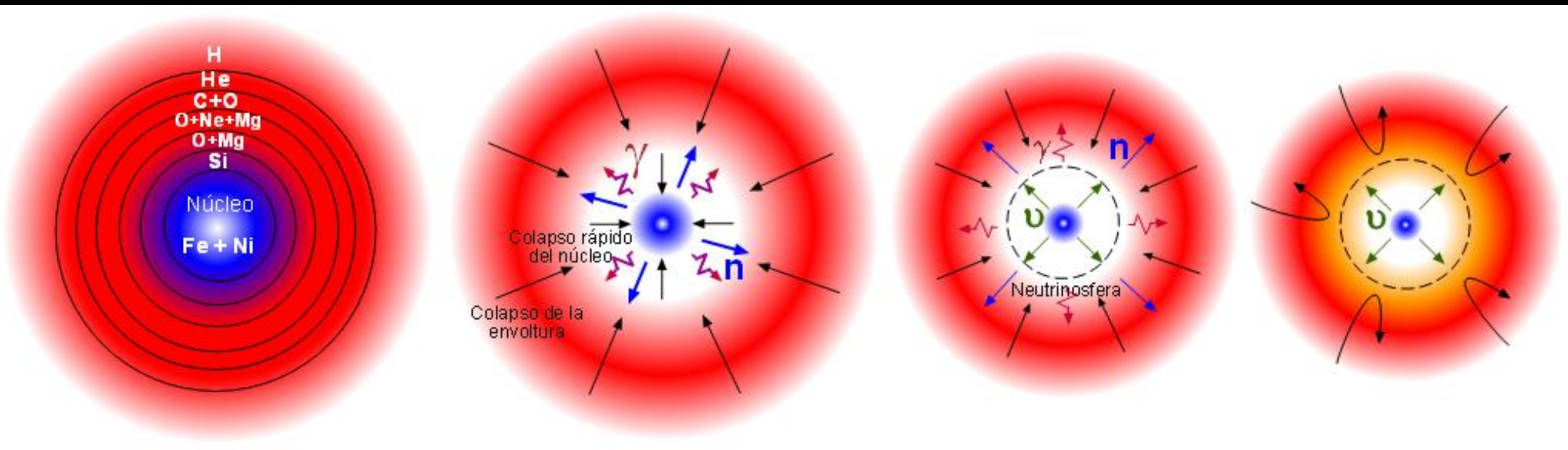
$$\text{Radio} \sim 30 \text{ km}$$

10.000.000

Un "terrón de azúcar"  
de estrella de neutrones



# Diseminando material “procesado” al espacio



# La tabla periódica 20 minutos después del Big Bang

H

1

He

2

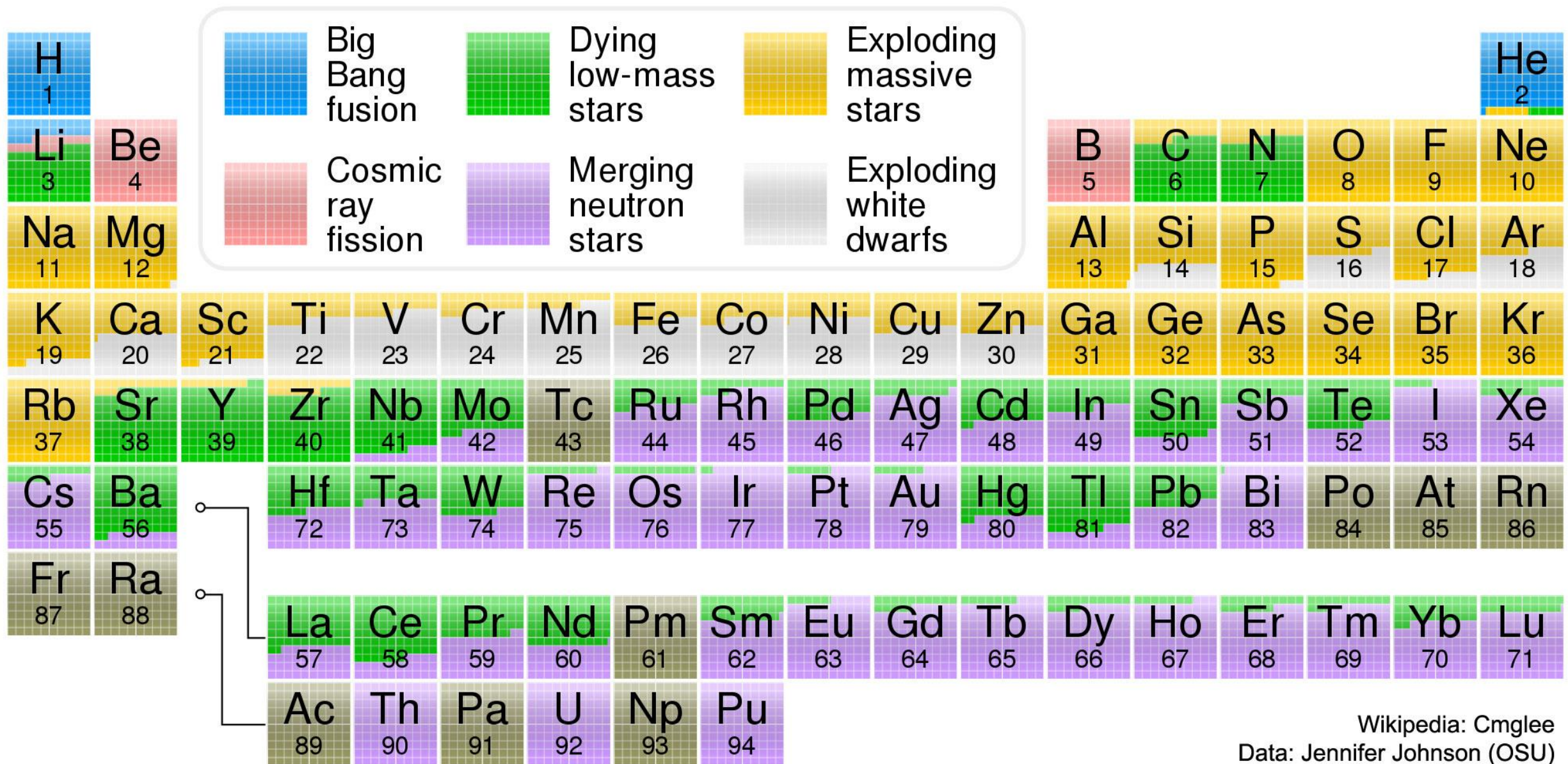
Li

3

+pequeñas cantidades de  
 $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  y  $^7\text{Be}$



# La tabla periódica actual



Wikipedia: Cmglee  
Data: Jennifer Johnson (OSU)

Los elementos químicos que nos componen, y que componen todo lo que nos rodea, **ya estaban aquí** cuando se formó el Sistema Solar.

calcio



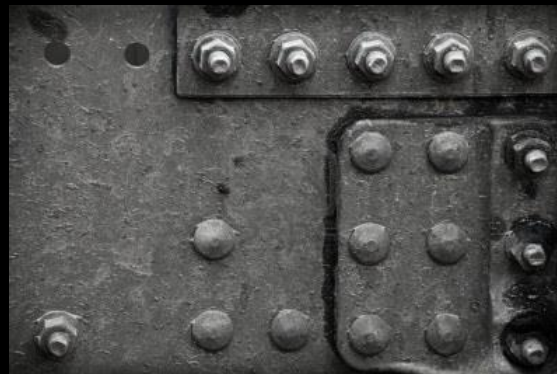
fósforo



oro



hierro



carbono, nitrógeno,  
oxígeno, azufre...

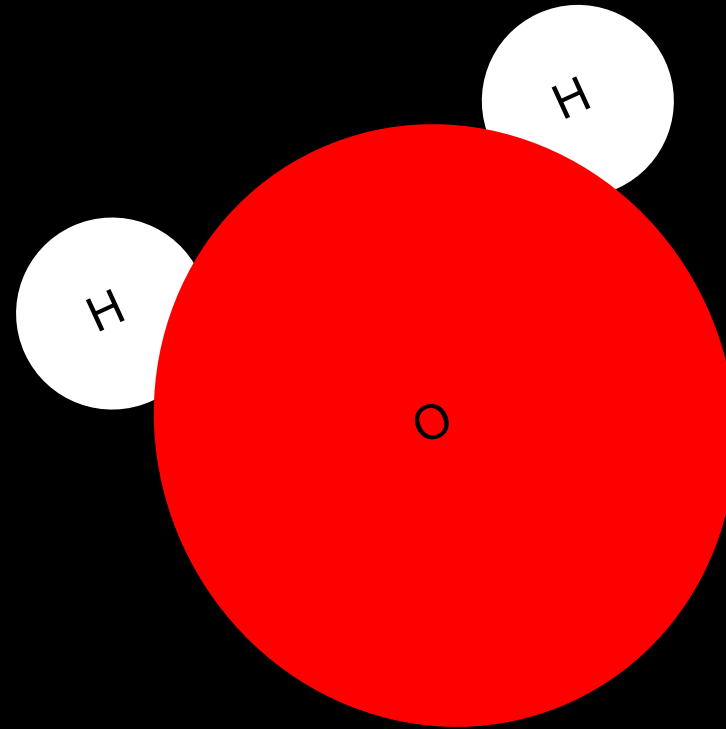


wolframio





El hidrógeno (H), se creó mucho antes, hace 13.800 millones de años, en el *Big Bang*, la “gran explosión” que dió origen al universo



¿Y los agujeros negros?

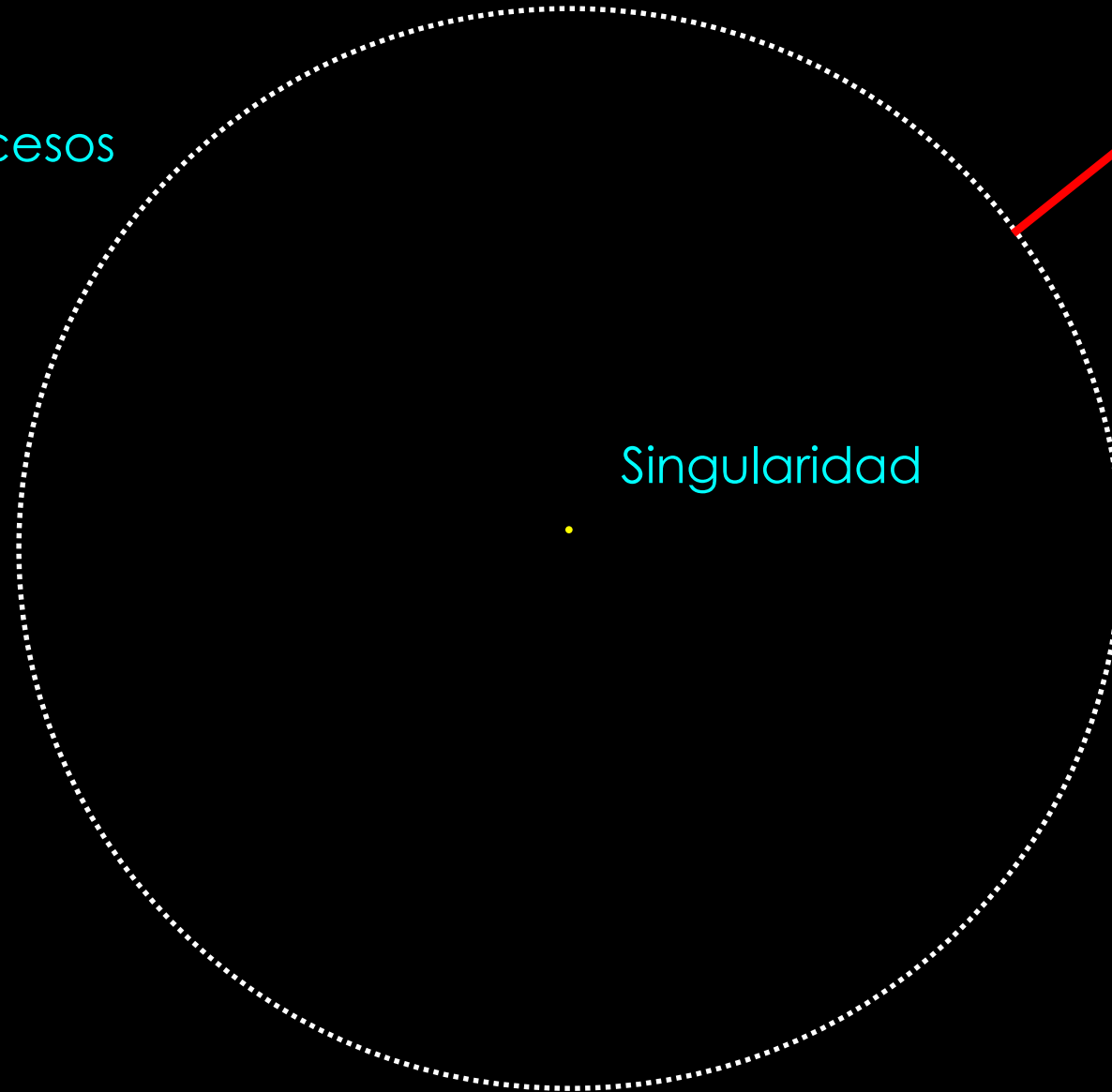


# Agujeros negros estelares

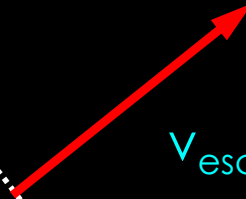


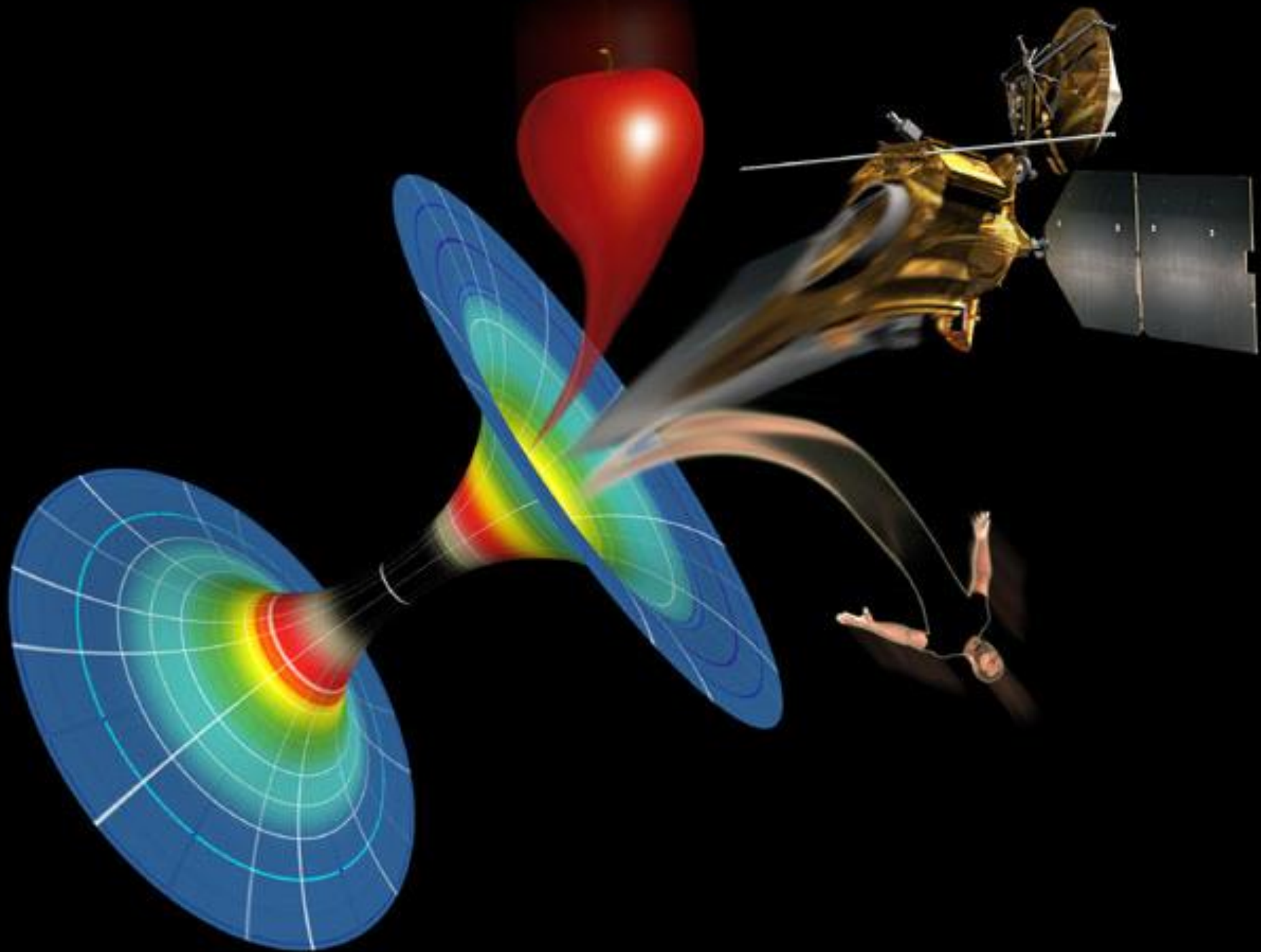
# ¿Qué es un agujero negro?

Horizonte de sucesos

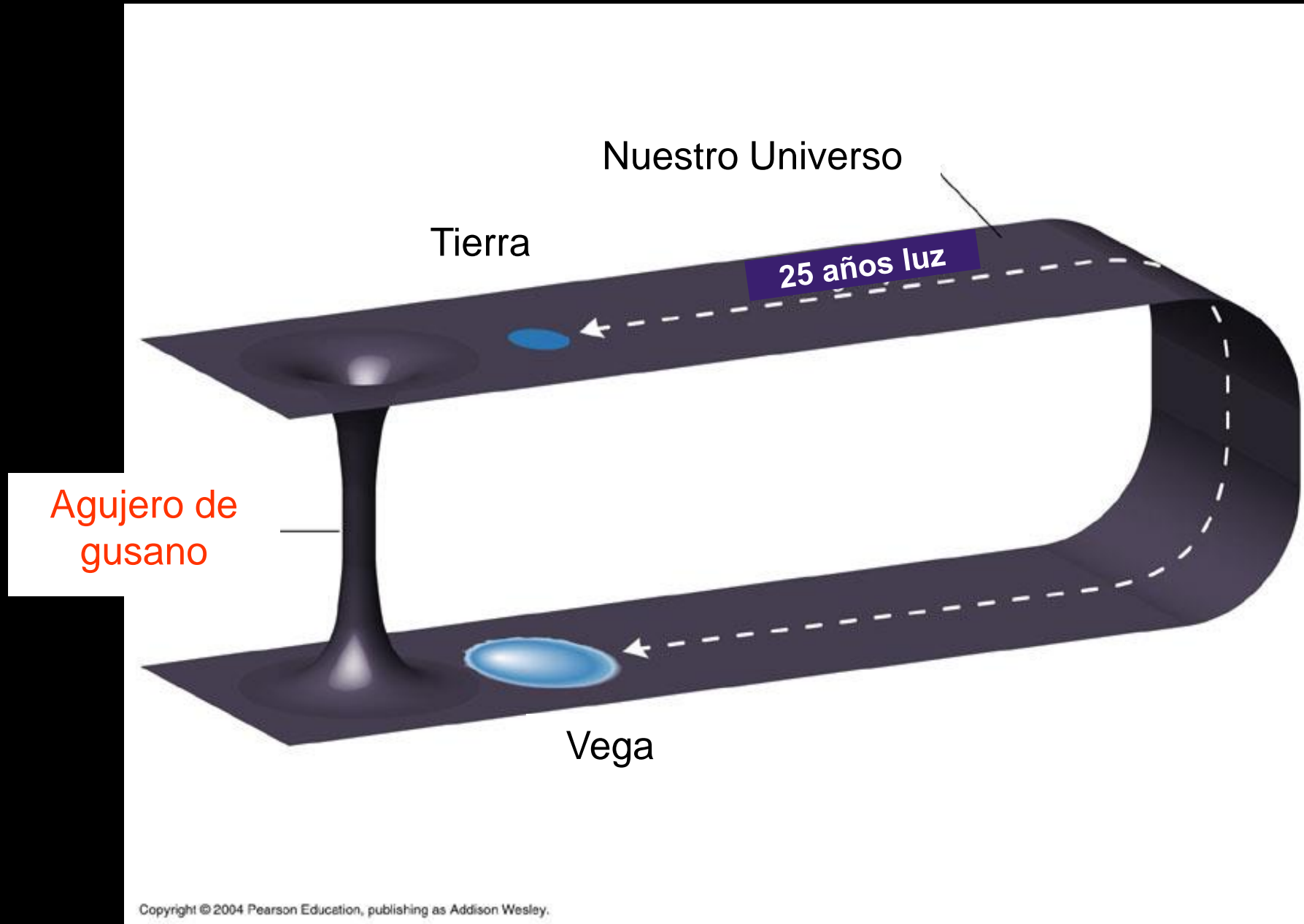


$v_{\text{escape}} = c$



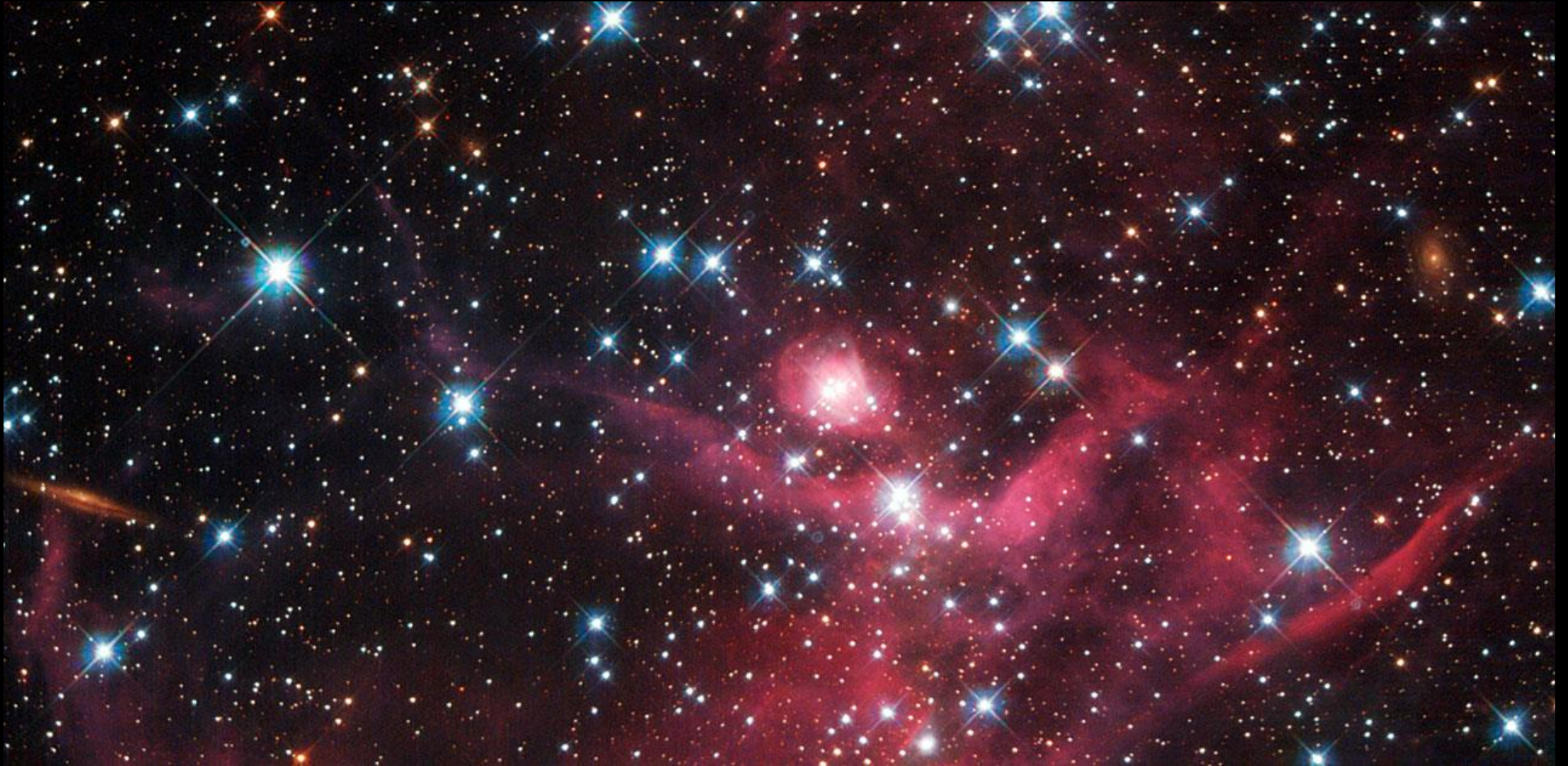


# ¿Agujeros de gusano?





Disfrutad de este curso...



...y del cielo. Muchas gracias