



# ASTRO

Asociación Salvadoreña de Astronomía



# Nacimiento, vida y muerte del Sol

Ricardo Lewy Soler  
14 agosto 2023



**Una estrella es una esfera de gas caliente que brilla intensamente cuya energía es producida por un proceso interno de fusión nuclear.**

**El Sol es la estrella más cercana a nuestro planeta.  
149,600,000 de kilómetros (una unidad astronómica).**

**A su alrededor orbitan todos los planetas del Sistema Solar, así como cometas, asteroides y otros cuerpos menores.**



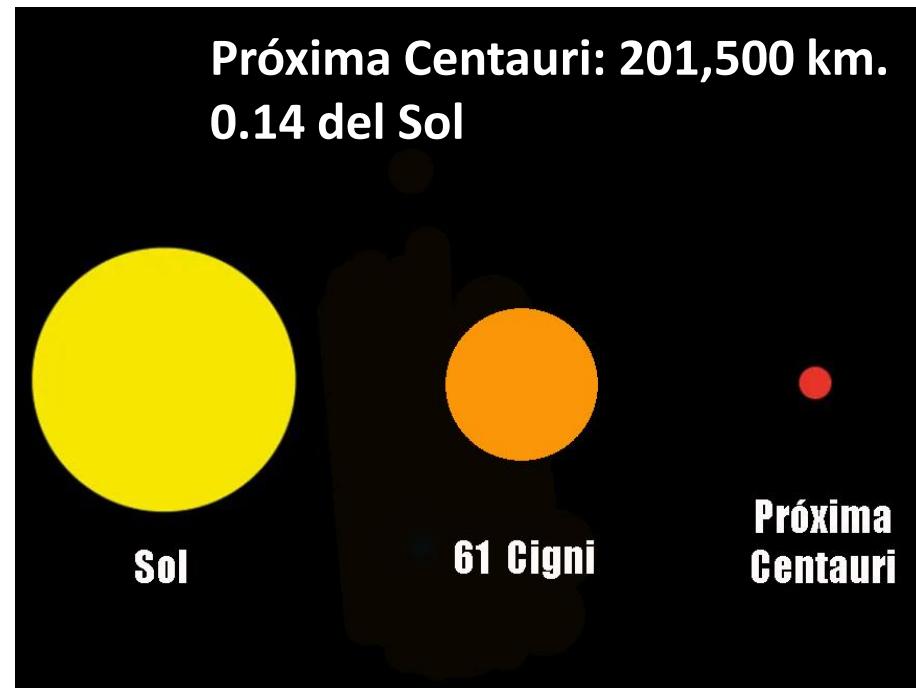
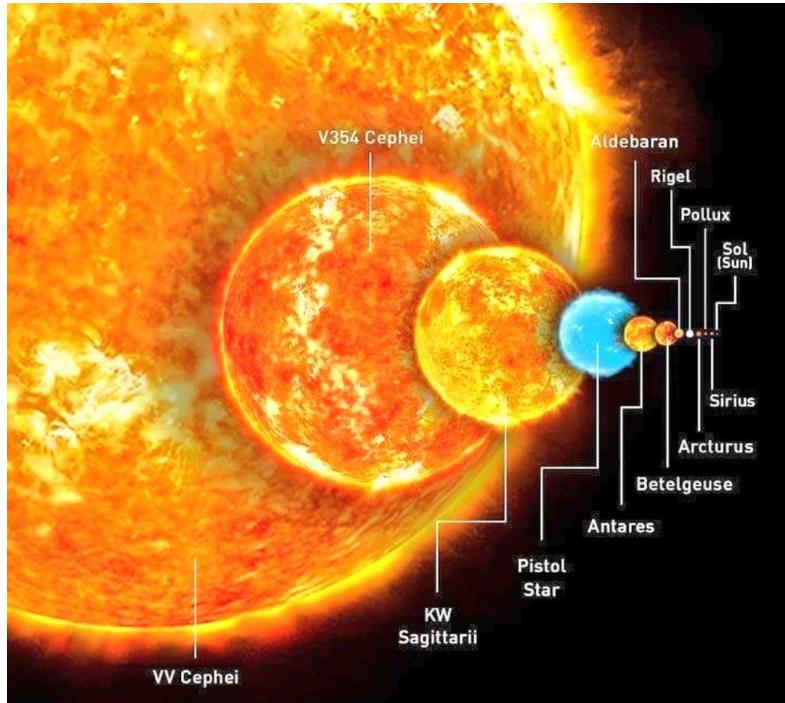
**Diámetro: 1,390,000 kilómetros.**

**El Sol es una estrella enana amarilla de tipo espectral G. No es muy grande, más bien pequeña, pero es especial para nosotros ya que proporciona luz, calor y energía a la Tierra, lo que permite la vida.**

**VV Cephei: radio aproximado de 1,900 veces el radio solar.**

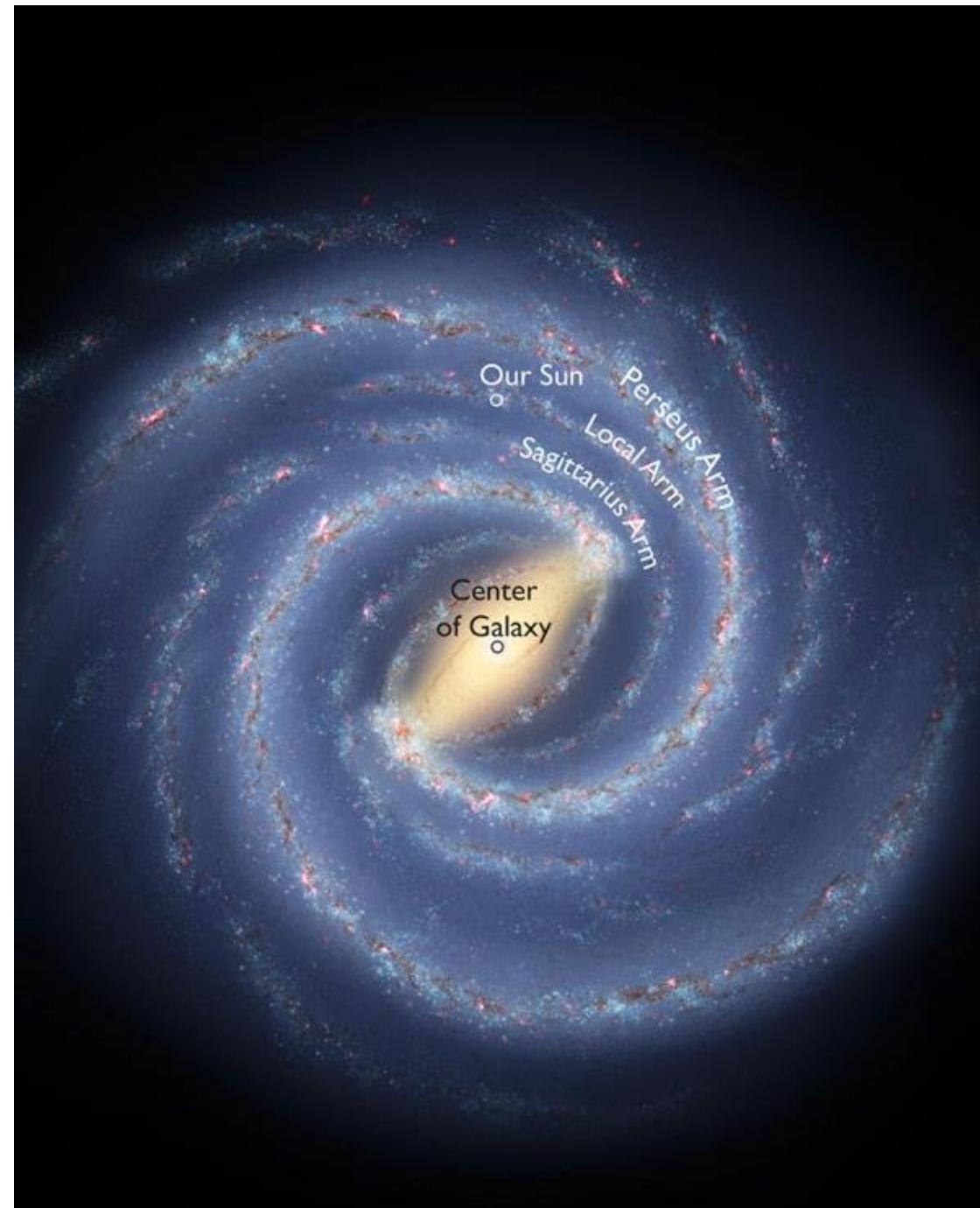
**10.4 UA: Si se encontrase en el lugar del Sol, su superficie se extendería más allá de la órbita de Saturno (9,54 UA).**

**El 75% de las estrellas de la Vía Láctea son enanas rojas.**



**El Sol está ubicado en el llamado «Brazo local», un ramal que se separa del brazo de Perseo.**

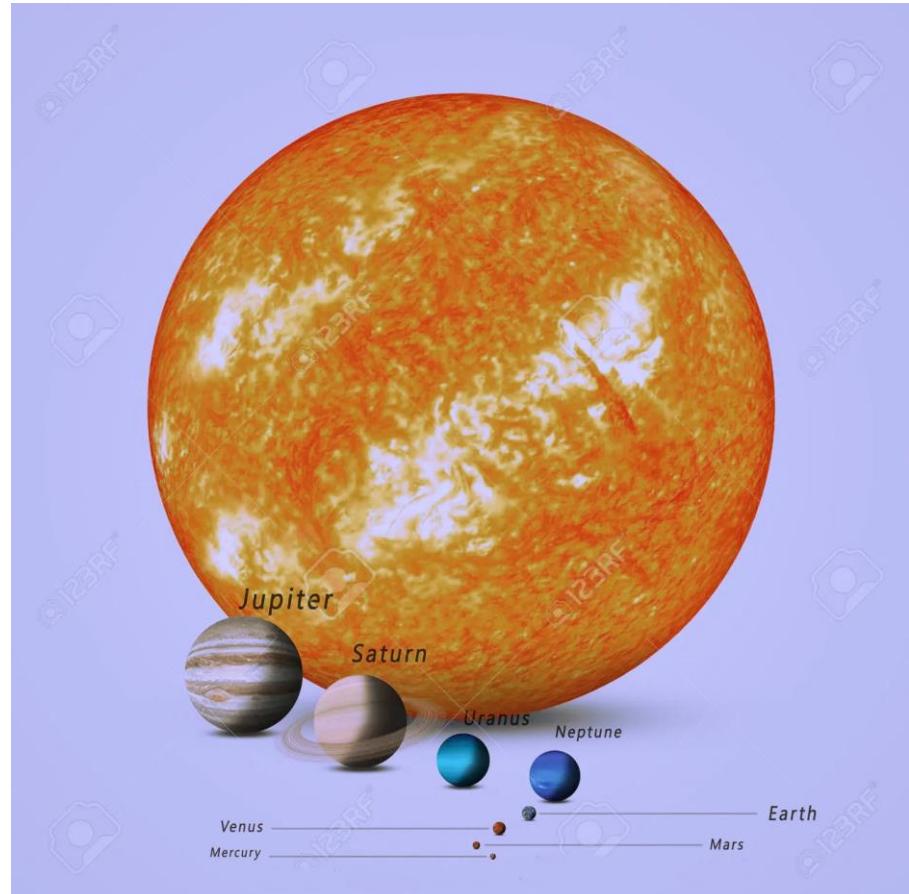
**Está a unos 26,000 años luz del centro de la Galaxia, en el borde interno del brazo local o brazo de Orión.**



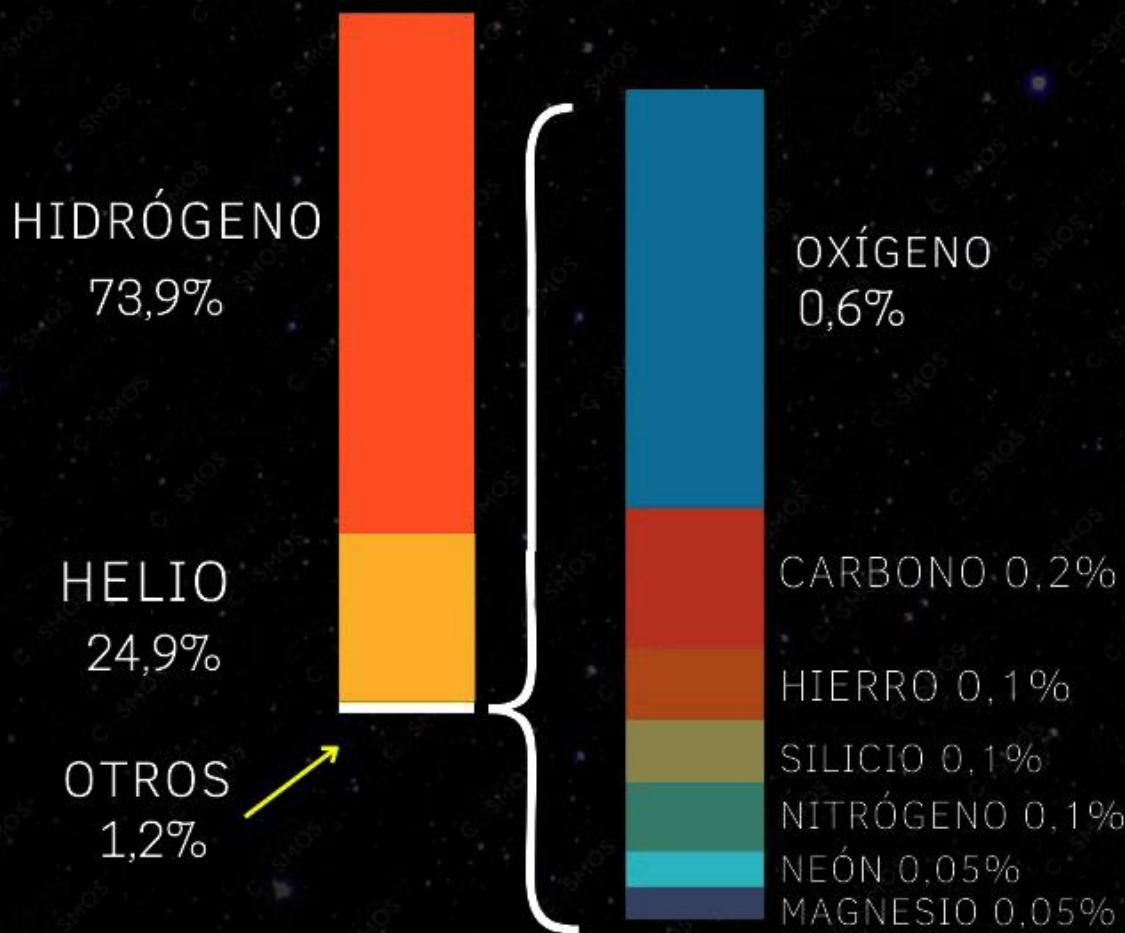
**Su masa representa el 99% de la del sistema solar.**

**743 veces la masa total de todos los objetos del Sistema Solar combinados.**

**En el Sol cabrían 1,300,000 Tierras.**



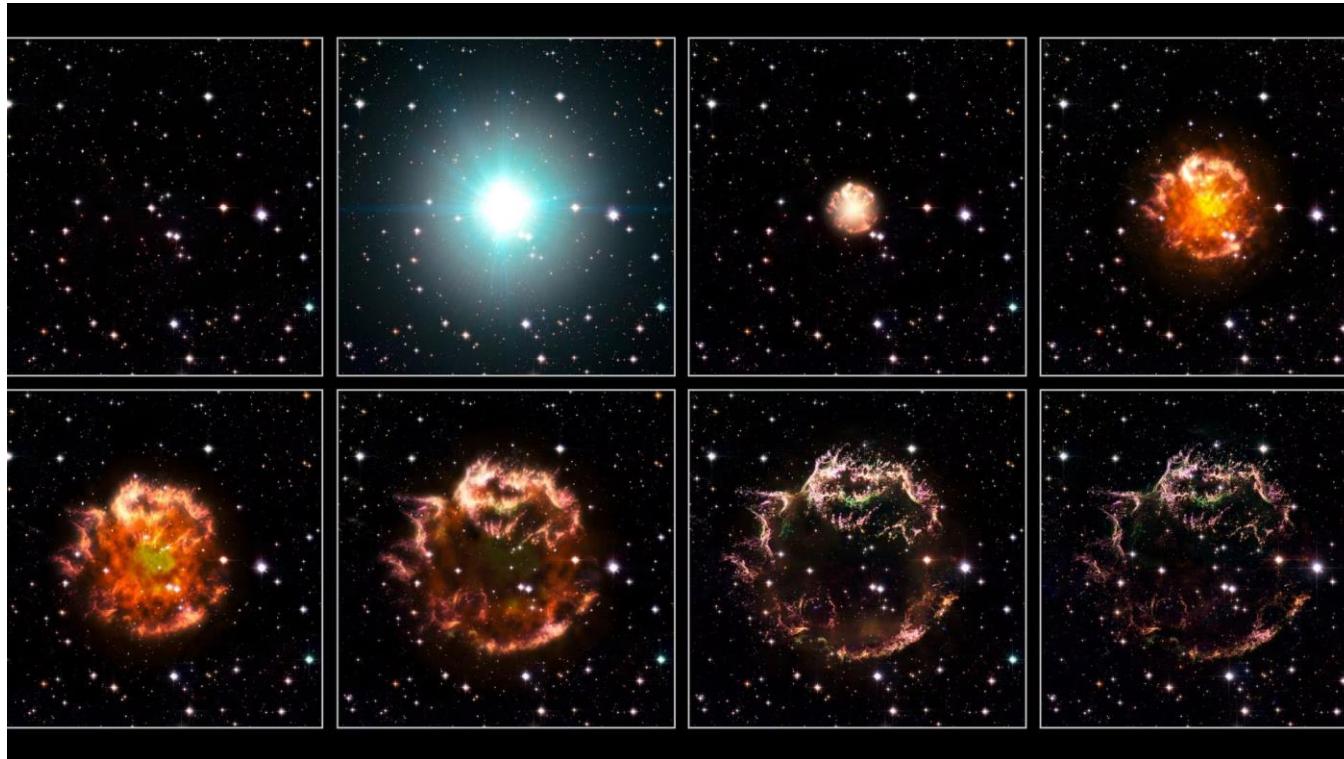
# COMPOSICIÓN DE NUESTRA ESTRELLA



**Su edad se calcula en 4,600 millones de años.**

**Es una estrella de tercera generación, nacida de los restos de supernovas que expulsaron elementos más pesados que el H y el He.**

**El Hidrógeno y el Helio son elementos primordiales que se formaron al inicio del universo.**



**La historia del Sol comienza en el vasto espacio,  
conocido como medio interestelar.**

**Este espacio, al parecer vacío, está lleno de átomos de  
hidrógeno, helio y polvo cósmico, .**

**74% Hidrógeno  
24% Helio  
2% Carbón, Oxígeno,  
Nitrógeno, Hierro,  
Arsénico, Plomo, Oro,  
etc.**

**En algunas regiones del espacio, este medio interestelar se vuelve relativamente denso formando las llamadas nubes moleculares.**



**Cabeza de caballo.**

**Complejo de Nubes Moleculares de Orión**

**Las nubes moleculares aparecen oscuras (Nebulosas Oscuras) por tener mucho polvo cósmico, y se hacen visibles cuando tapan la luz de estrellas más lejanas o el gas brillante detrás de ellas.**



**La nebulosa Saco de Carbón**

**Es una nebulosa oscura en la constelación de la Cruz del Sur.**

**Las nubes moleculares pueden pasar mucho tiempo en reposo hasta que un día algo las altera y se activa una cadena de eventos que llevan a desarrollar nuevas estrellas.**

**¿Qué las altera?**

**Podría ser la onda de choque de una supernova cercana, una colisión con otra nube molecular o simplemente un aumento de la presión interna en una zona de la nube.**

**Pero al final el resultado es el mismo: Algunas partes de la nube se vuelven muy densas y la gravedad comienza a operar y hace que esa zona de la nube colapse por su propia gravedad.**

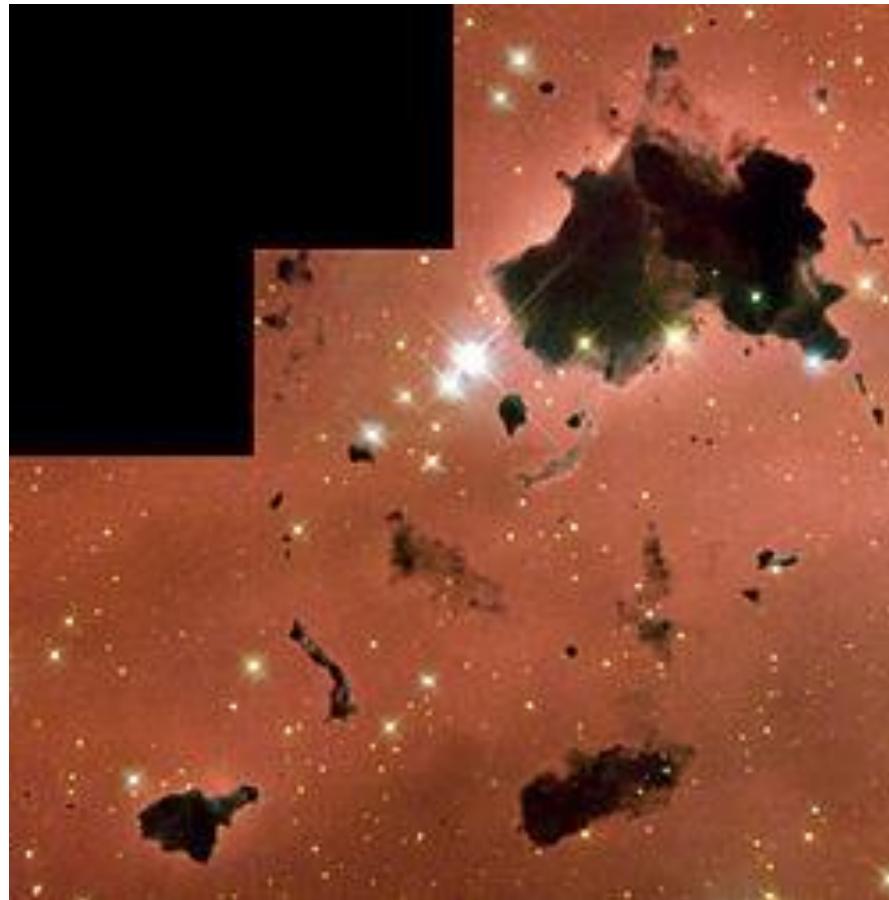


**Imagen del telescopio James Webb. Muestra el nacimiento de docenas de estrellas, en el complejo de nubes Rho Ophiuchi.**

**Cada región que colapsa puede contener suficiente material para crear cientos o miles de estrellas.**

**Tamaño: Cientos de años luz.**

**Algunas regiones se van haciendo más densas y forman los llamados Glóbulos de Bok.**



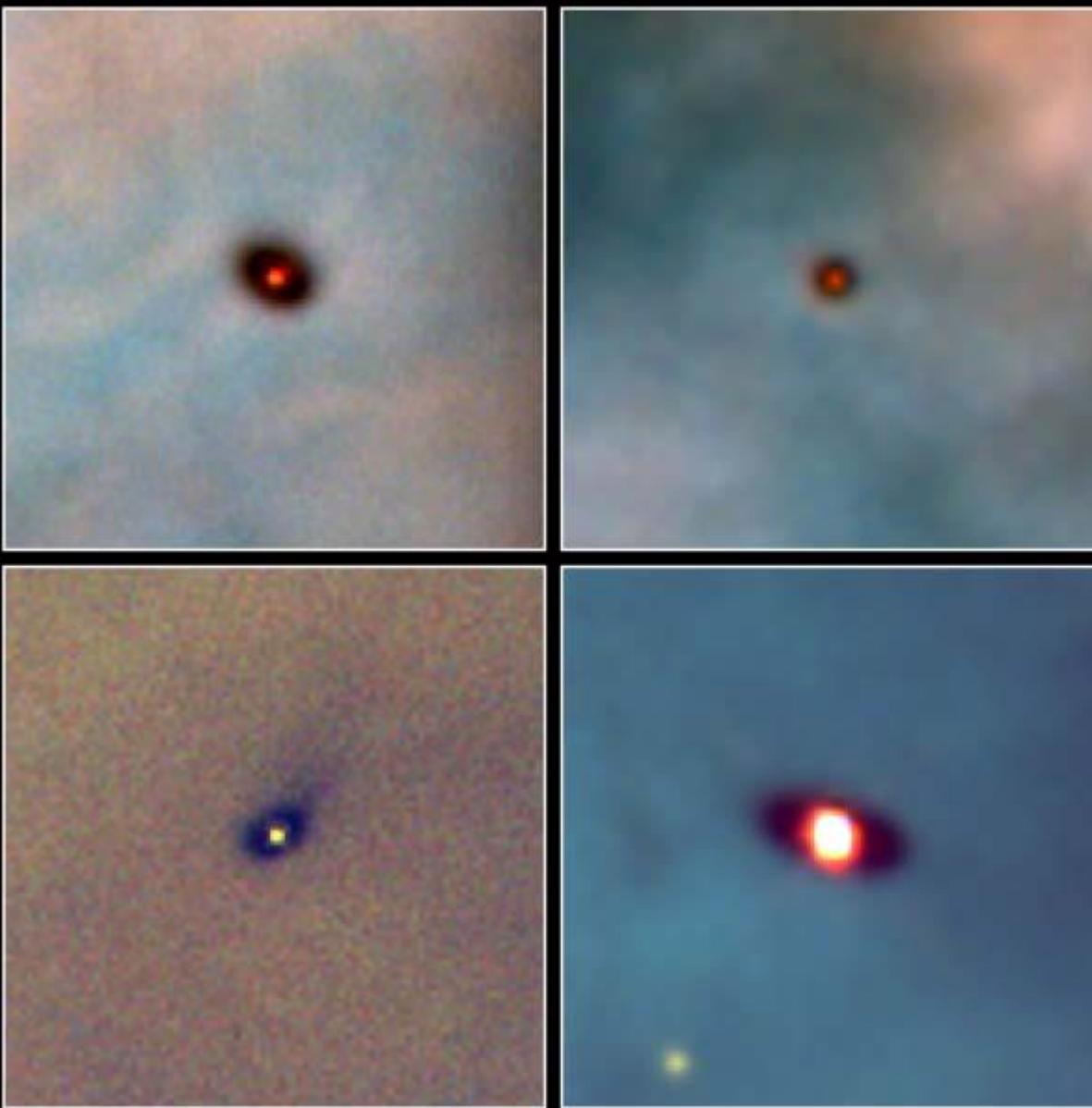
**En estos glóbulos la materia se va comprimiendo más.**

**Entre más densa la materia, mayor es la gravedad, la presión sube, y la temperatura aumenta.**

**Es el momento en que la estrella está en su etapa embrionaria y ya se diferencia la Protoestrella y el disco protoplanetario.**

**Todo este proceso dura entre 10 y 15 millones de años.**





## Protoplanetary Disks Orion Nebula

HST • WFPC2

PRC95-45b • ST Scl OPO • November 20, 1995

M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

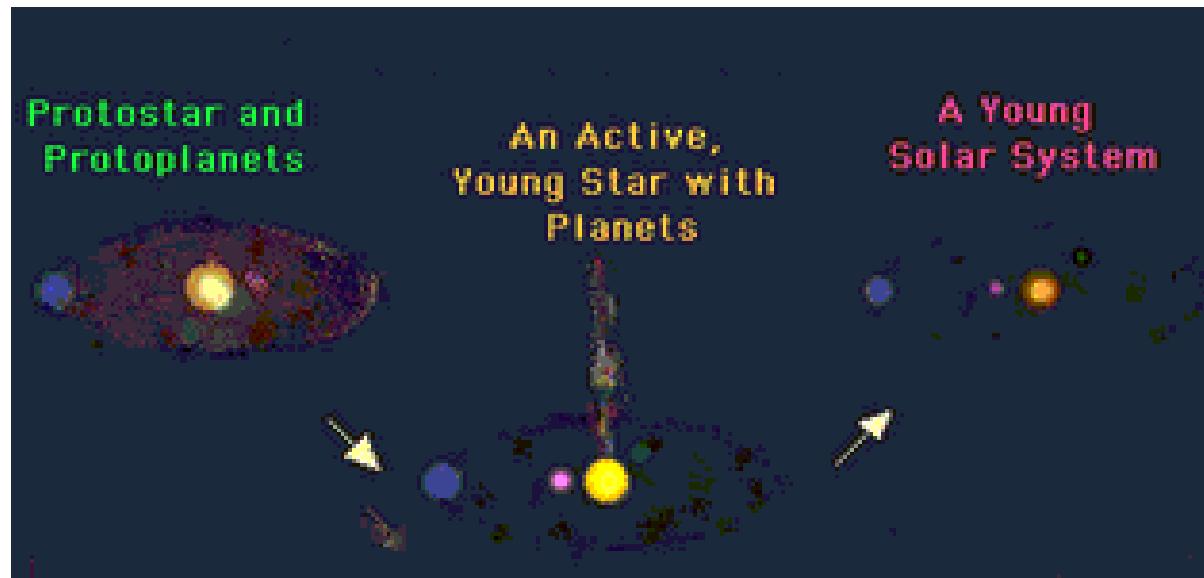
**Se alcanzan grandes presiones e inmensas temperaturas.**

**10 millones de grados: La fusión del hidrógeno da comienzo en la protoestrella, para formar el elemento más pesado, el helio.**

***Nace una nueva estrella.***

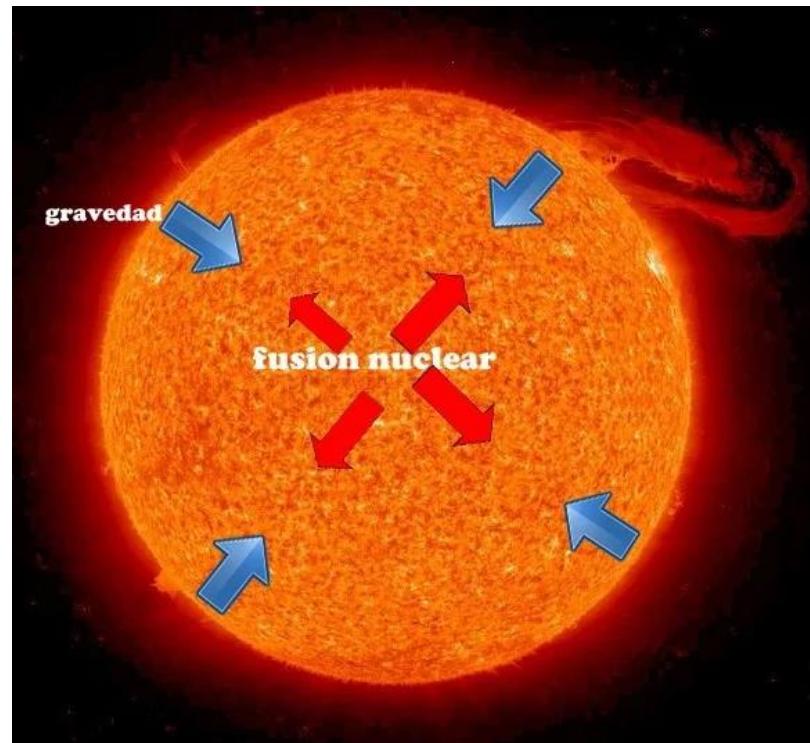
**En el disco se comienzan a formar Planetas.**

**El sistema estelar se completa y la estrella se estabiliza y vivirá por mucho tiempo.**



La energía producida genera una presión hacia el exterior de la estrella que es compensada por la fuerza gravitatoria que intenta colapsar la masa que compone dicha estrella.

Llega el momento en que se estabiliza emitiendo energía de forma estable y continua durante millones de años.



¿Qué hace brillar a las estrellas?

En la antigüedad, lo único que el hombre conocía en la Tierra que brillara con luz propia era el fuego. Así que, las estrellas "brillaban por fuego".

Anaxágoras (450 a.C.), creyó que el Sol y las estrellas eran piedras candentes.

En 1830 el filósofo francés Auguste Comte publicó su *Curso de Filosofía Positiva*, y señaló que "jamás sabremos de qué están hechas las estrellas, y por lo tanto la ciencia y la filosofía debían eliminar de sus objetivos algo que las enormes distancias nos impedirán saber jamás".

Hacia 1920, Arthur Eddington nos habló sobre el mecanismo de los procesos de fusión nuclear en las estrellas, en su artículo «La constitución interna de las estrellas» y especuló correctamente que la fuente era la fusión del hidrógeno en helio, liberando una enorme energía según la ecuación de Einstein.

$$E=mc^2$$

**El parámetro más relevante en la evolución de las estrellas es su masa.  
La masa de una estrella determina su tiempo de vida.**

**Las estrellas con poca masa convierten su hidrógeno en helio de una manera lenta y por eso viven mucho tiempo.**



**La mayoría de los átomos del Sol existen en forma de plasma (el plasma se puede caracterizar como un gas ionizado).**

**No posee material sólido por lo que no tiene un límite exterior definido.**

**Sin embargo, posee una estructura interna definida, con capas identificables, aunque sus límites son confusos.**



**Núcleo: Es la capa más interna del Sol.**

**Es plasma a una temperatura de unos 15 millones de grados Celsius.**

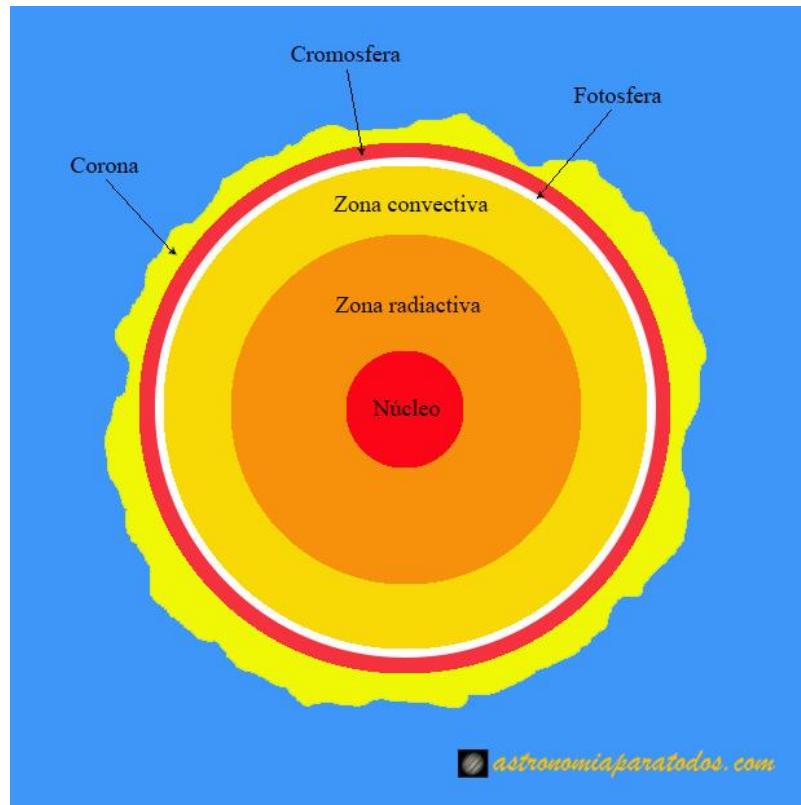


## Zona radiativa:

**Esta capa es la zona que rodea al núcleo.**

**La energía generada por el proceso de fusión nuclear en el núcleo aparece en forma de fotones de alta energía.**

**Estos fotones se desplazan hacia el exterior a través de un proceso radiativo.**



En la Fusión Nuclear, un determinado número de átomos se fusionan para dar lugar a otro elemento más pesado.

En este fenómeno hay una pérdida de masa, es decir, el hidrógeno consumido pesa más que el helio producido.

Se libera en el proceso una gran cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, que, al final, alcanza la superficie terrestre y la percibimos como luz y calor.

La energía liberada en forma de radiación es enorme y con ella se emiten unas partículas llamadas fotones.

$$\begin{aligned} U_{ef} &= \frac{U_m}{E-1} \frac{L-nw}{E-1} U = \frac{U_{AB}}{E-1} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{E-1} = \frac{1}{E-1} \frac{I_m}{I_m} = \omega L = \frac{2\pi f L}{I_m} F_g = \frac{m_1 m_2}{r^2} \mathcal{F} \\ B &= \mu_0 \frac{NI}{\sqrt{2}} \quad v = \frac{wh}{2\pi r m_e} \quad \Phi = \frac{\mu_0}{r^2} \frac{I}{r^2} \quad \Phi = \frac{Q}{r^2} \quad \Phi = \frac{Q}{(r_2+r_1)^2} \quad I_m = \frac{4\pi r_1 r_2}{(r_2+r_1)^2} \quad F_g = \frac{C}{r^2} \mathcal{F} \\ k &= \frac{P^2}{2m} \quad m_0 = \frac{M_m}{N_A} = \frac{M_r \cdot 10^{-3}}{N_A} \quad m = N \cdot m_0 = \frac{Q}{N_A} \quad M_m = \frac{Q}{N_A} \quad E = \frac{E_0}{2} \int_{-a/2}^{a/2} \sin(\omega t + \phi) dy \\ \lambda &= \frac{h}{\sqrt{2eU_m}} \quad R = \rho \frac{L}{S} \quad I = \frac{U_e}{R+R_i} \quad I = \frac{U_e}{R+R_i} \int_{-a/2}^{a/2} \frac{\sin(\omega t + \phi)}{t^2} dy = \frac{d}{f} \omega = 2\pi f \\ f_0 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8}{e}} \quad \gamma_0 = \sqrt{2/L} \sin \frac{n\pi x}{L} \quad E = mc^2 \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{w_2}{w_1} \quad v = \frac{1}{\sqrt{E_m \mu_1}} = \frac{c}{\sqrt{E_m \mu_1}} \\ \oint \vec{B} d\vec{l} &= \mu_0 \iint \vec{J} d\vec{S} \quad \vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B}) \quad \beta = \frac{\Delta I_c}{E} \quad \phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \frac{F_x}{x} = \frac{1}{2} \frac{C_0 P_0 L^2}{x^2} \quad \frac{F_x}{x} = \frac{m_1}{x} + \frac{m_2}{x'} = \frac{m_2 - m_1}{x} \\ C(s) &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT N_A}{M_m}} = \sqrt{\frac{3R_m T}{M_r \cdot 10^{-3}}} \quad E = \hbar k^2 \quad I_{PC} = \frac{1}{s} \quad \oint \vec{D} d\vec{S} = Q^* \\ V_K &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT N_A}{M_m}} = \sqrt{\frac{3R_m T}{M_r \cdot 10^{-3}}} \quad E = \hbar k^2 \quad I_{PC} = \frac{1}{s} \quad R = \frac{U}{I} \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad F_{in} \end{aligned}$$

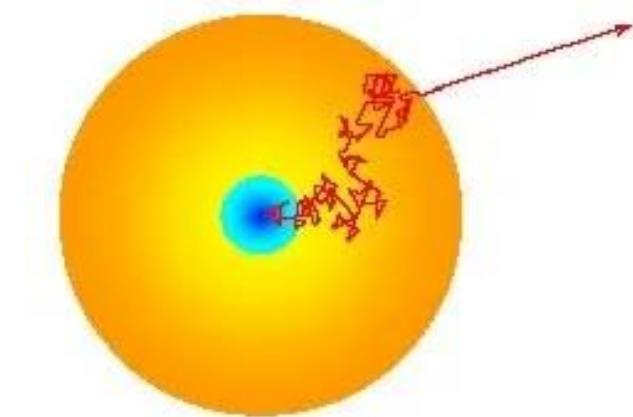
Desde que el fotón es emitido, recorre menos de un milímetro antes de ser absorbido rápidamente por cualquier núcleo atómico que lo rodea.

Se libera la energía que han absorbido esos fotones energéticos en forma de más fotones.

Desde que son emitidos en las reacciones de fusión de los núcleos estelares, los fotones sufren millones y millones de interacciones con núcleos atómicos, haciendo que el ascenso hacia las capas externas sea casi una misión imposible. Pero poco a poco, estos fotones consiguen salir de la zona radiativa.

A un fotón podría tomarle unos 50 millones de años atravesar la zona radiativa.

En cada interacción se emiten rayos X. Estos se depositan en el núcleo. Gracias a esto la energía en cada colisión se utiliza para mantener al Sol estable frente a la gravedad.

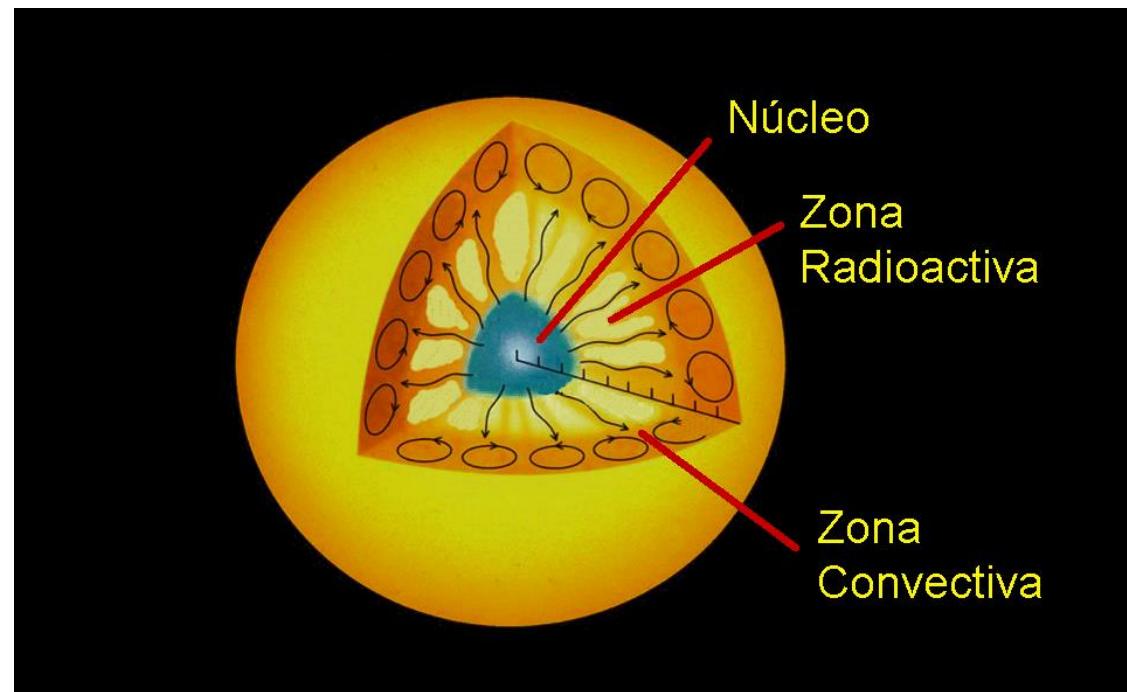


**Zona convectiva: Rodea la zona radiativa.**

**La energía se transfiere muy rápidamente en esta zona a través de la convección.**

**El gas más caliente de la zona de radiación se expande y asciende por la zona convectiva. Puede hacerlo porque la zona convectiva es más fría que la zona radiactiva y, por tanto, menos densa.**

**A medida que el gas asciende, también se enfriá y vuelve a descender. Al acercarse a la zona radiactiva, se calienta de nuevo y sube. Este proceso se repite, creando corrientes de convección.**



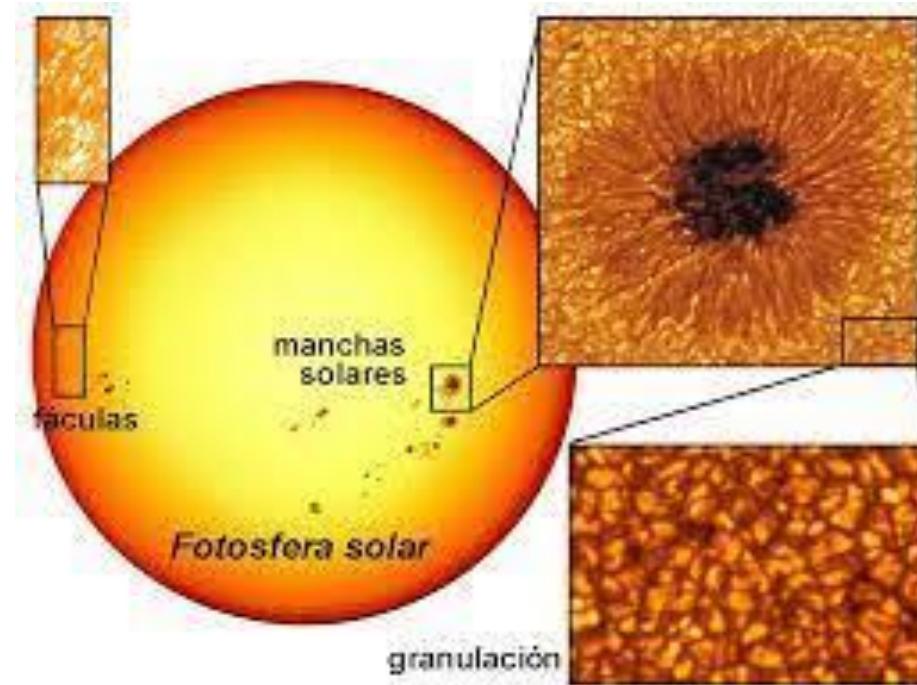
**Fotosfera:** Es una capa de plasma de aproximadamente 100 a 300 km de espesor, que emite la luz visible y el calor que recibimos.

Su temperatura es de unos 5,800 kelvin.

Vista con telescopios especiales, presenta una fina granulación.

Su superficie consiste en un fondo luminoso sobre el cual aparecen *fáculas* que, por hallarse a mayor temperatura, son aún más brillantes.

También se pueden observar las manchas solares, menos calientes, y por consiguiente, más oscuras en apariencia.

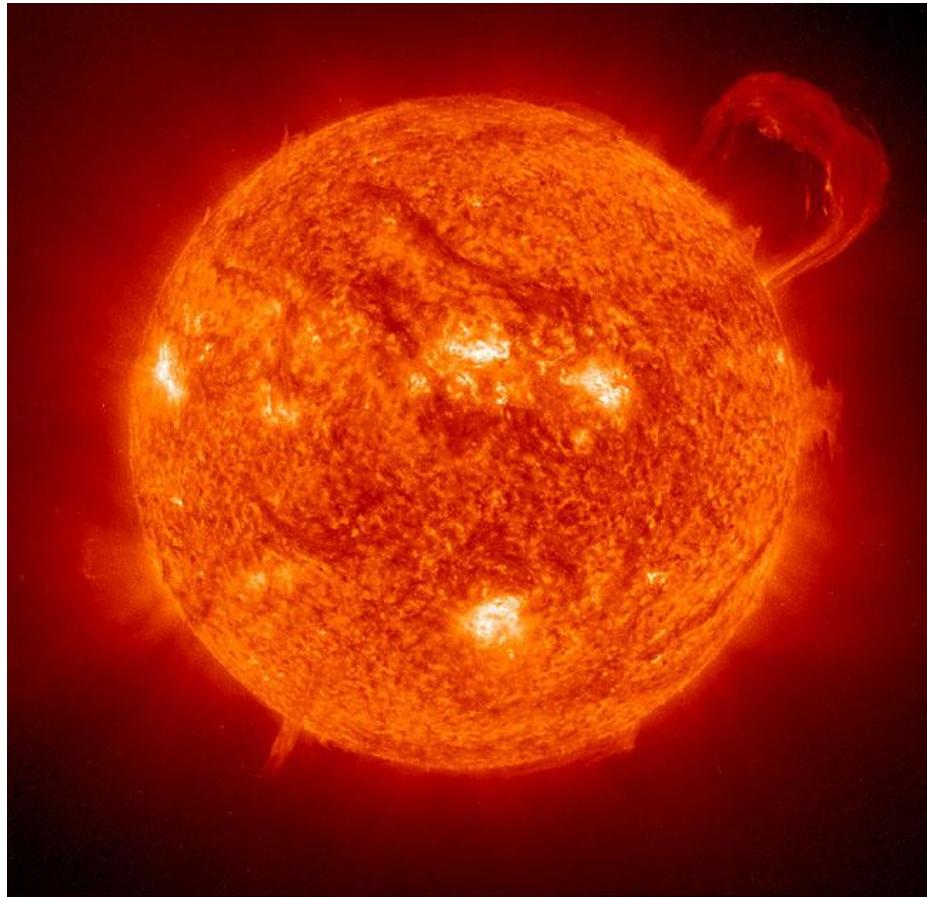


## Cromosfera:

**Es una capa situada por encima de la fotosfera y por debajo de la corona, entre los 2,200 y 10,000 kilómetros de espesor.**

**La temperatura llega hasta casi los 35,000 grados cuando está en el límite con la corona.**

**A medida que nos movemos hacia el centro del Sol la temperatura en la cromósfera disminuye, aún no se sabe el motivo. La hipótesis principal es que se debe a un fenómeno conocido como reconexión magnética.**

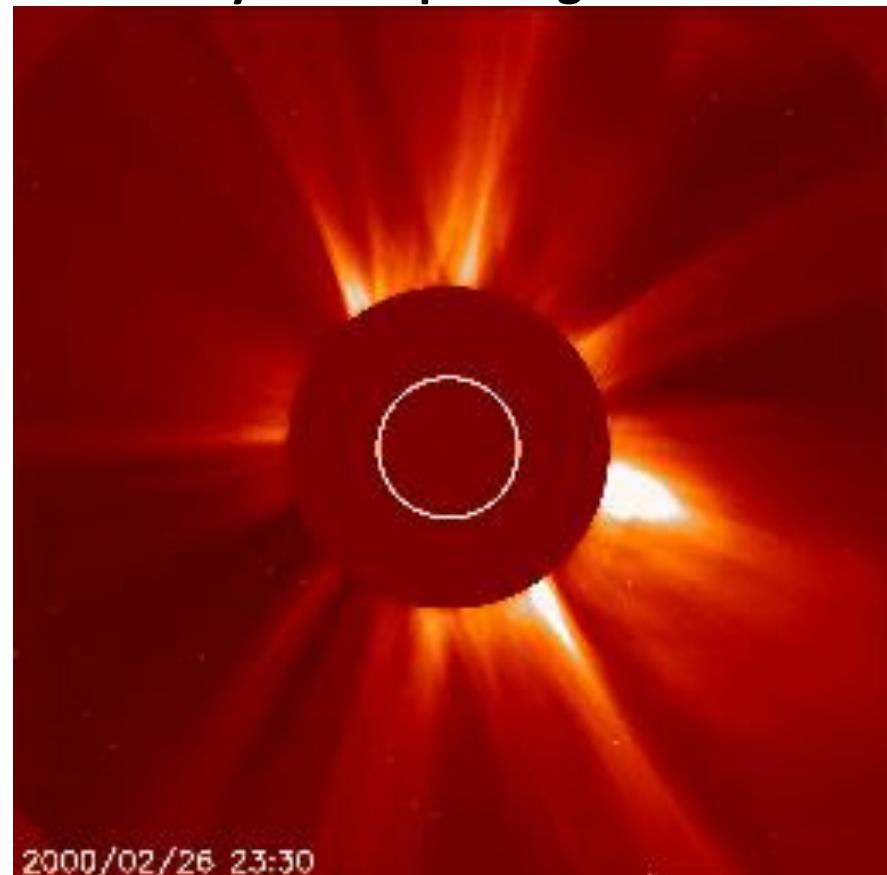


Desde la fotosfera se elevan las *protuberancias solares* formando uno de los fenómenos solares más espectaculares.

Algunas veces estos eventos van acompañados de una *eyeción de masa coronal*.

Una onda hecha de radiación y viento solar que se desprende del Sol con mayor frecuencia durante el período llamado Actividad Máxima Solar.

Esta onda es muy peligrosa ya que, si llega a la Tierra y su campo magnético está orientado a nosotros, puede hacer daño.



**Corona:** Es una capa tenue de plasma que rodea la superficie del Sol. Sólo se puede ver a simple vista durante un eclipse solar total.

Las temperaturas en la corona pueden acercarse al millón de kelvin.

La corona es aproximadamente 10 millones de veces menos densa que la superficie del Sol. Esta baja densidad hace que la corona sea mucho menos brillante que la superficie del Sol.



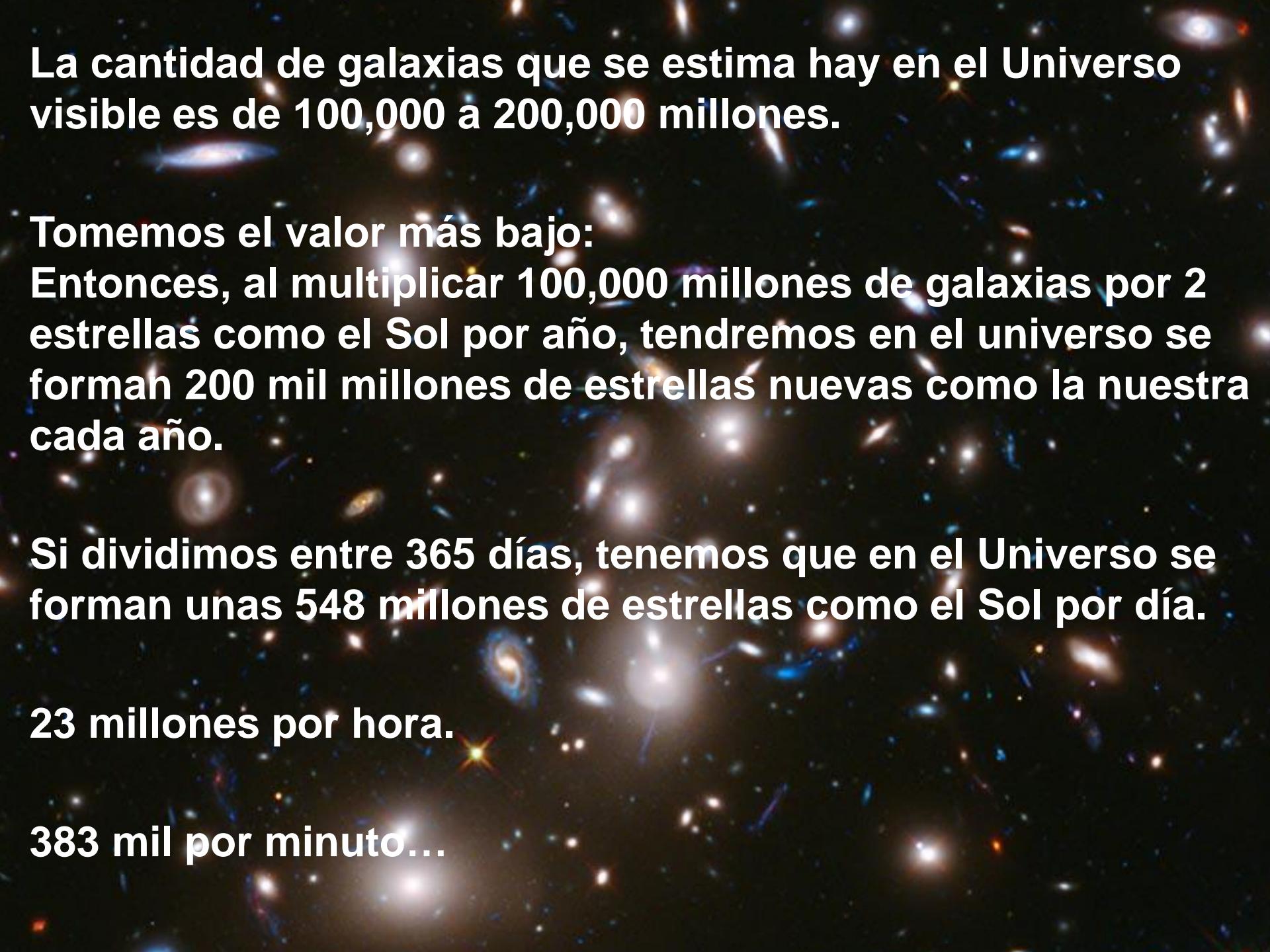
¿Cuántas estrellas nacen cada día?

Se calcula que la tasa de formación de estrellas en la Vía Láctea es de unas 2 masas solares por año.

Asimismo, se cree que 2 masas solares mueren por año; de esa manera, la masa de la Vía Láctea se mantiene balanceada.

Cuando nacen, las estrellas tienen una variedad grande de masas, desde las pequeñas y frías enanas rojas, hasta las enormes y masivas gigantes azules.

Pero supongamos que todas las estrellas formadas tienen la misma masa que el Sol, entonces la Vía Láctea produce alrededor de 2 nuevos soles por año.



La cantidad de galaxias que se estima hay en el Universo visible es de 100,000 a 200,000 millones.

Tomemos el valor más bajo:

Entonces, al multiplicar 100,000 millones de galaxias por 2 estrellas como el Sol por año, tendremos en el universo se forman 200 mil millones de estrellas nuevas como la nuestra cada año.

Si dividimos entre 365 días, tenemos que en el Universo se forman unas 548 millones de estrellas como el Sol por día.

23 millones por hora.

383 mil por minuto...

Ya dijimos que las estrellas se forman en grandes nubes de gas y polvo denominadas *nubes moleculares*. Cuando el Sol se formó, otras muchas estrellas tuvieron que formarse también.

¿Entonces, cuántas estrellas nacieron junto al Sol?

El Sol podría tener cientos, o incluso miles de hermanas.

Juntas formaron durante un tiempo un cúmulo abierto.

No todas las hermanas del Sol serían como nuestra estrella. Algunas fueron mucho más masivas y explotaron como supernovas.

En el presente, las posibles hermanas del Sol estarían repartidas por diferentes lugares de la galaxia.

**Llega el momento en que el cúmulo estelar se rompe, las estrellas que lo componen se mueven aproximadamente en la misma dirección en el espacio.**

**Y se convierten en una *asociación estelar*.**

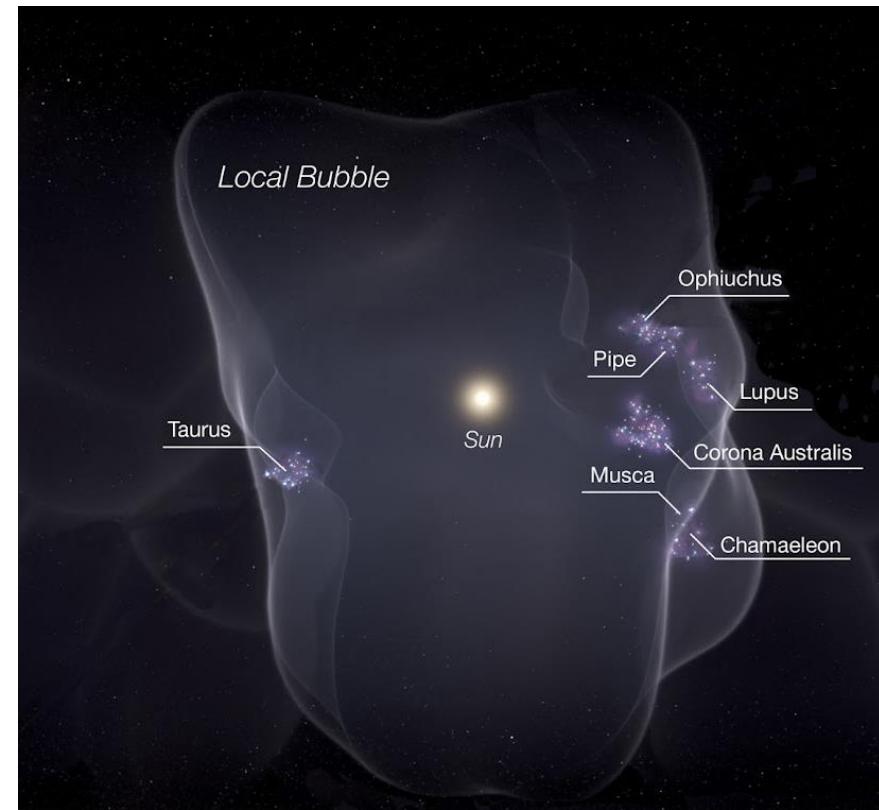


**Asociación estelar OB1 en Orión**

**La abundancia química de ciertos isótopos radioactivos, indica que nuestro Sol estuvo cerca de una o varias explosiones de supernova en el cúmulo, originándose zonas de formación de estrellas.**

**El Sol se encuentra dentro de una burbuja de supernova de unos 1,000 años luz de diámetro.**

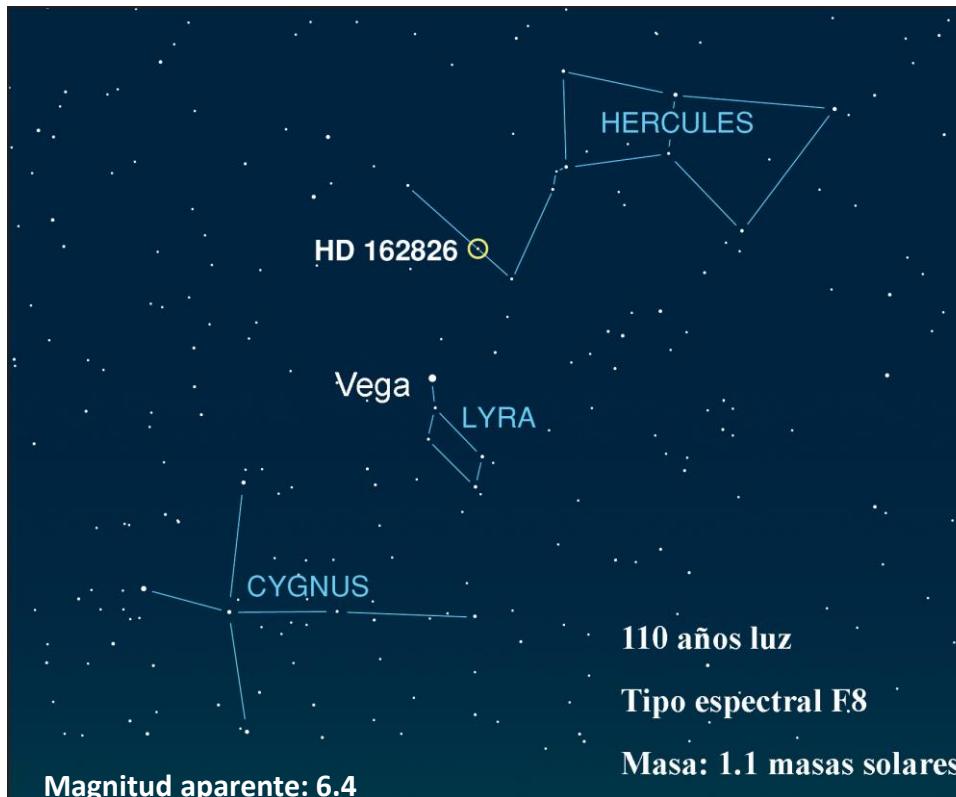
**Como resultado, hoy se conocen siete nubes moleculares o regiones de formación de estrellas en su superficie: Ophiuchus, Pipe o Pipa, Corona Australis, Musca, Chamaeleon, Luples y Taurus.**



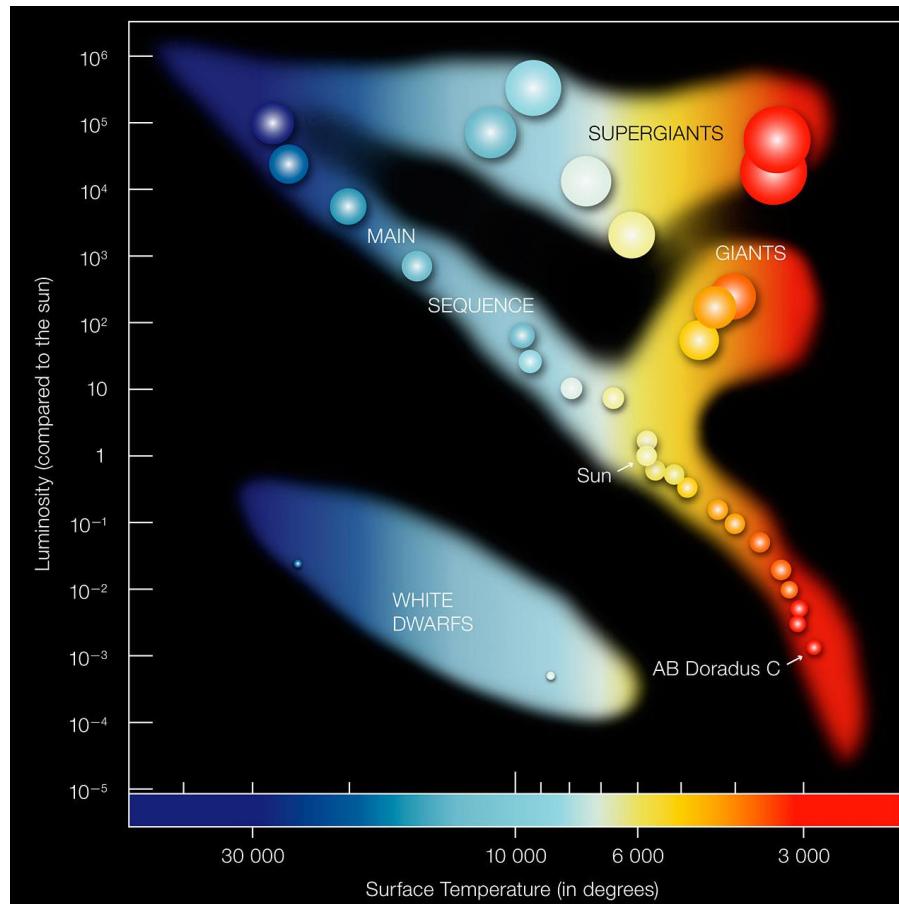
En 2014 se descubrió la primera hermana del Sol. Es una de las que podrían ser cientos o miles de "hermanas" del Sol, que emergieron de la misma guardería estelar hace unos 4,600 millones de años

Esta estrella es HD 162826.

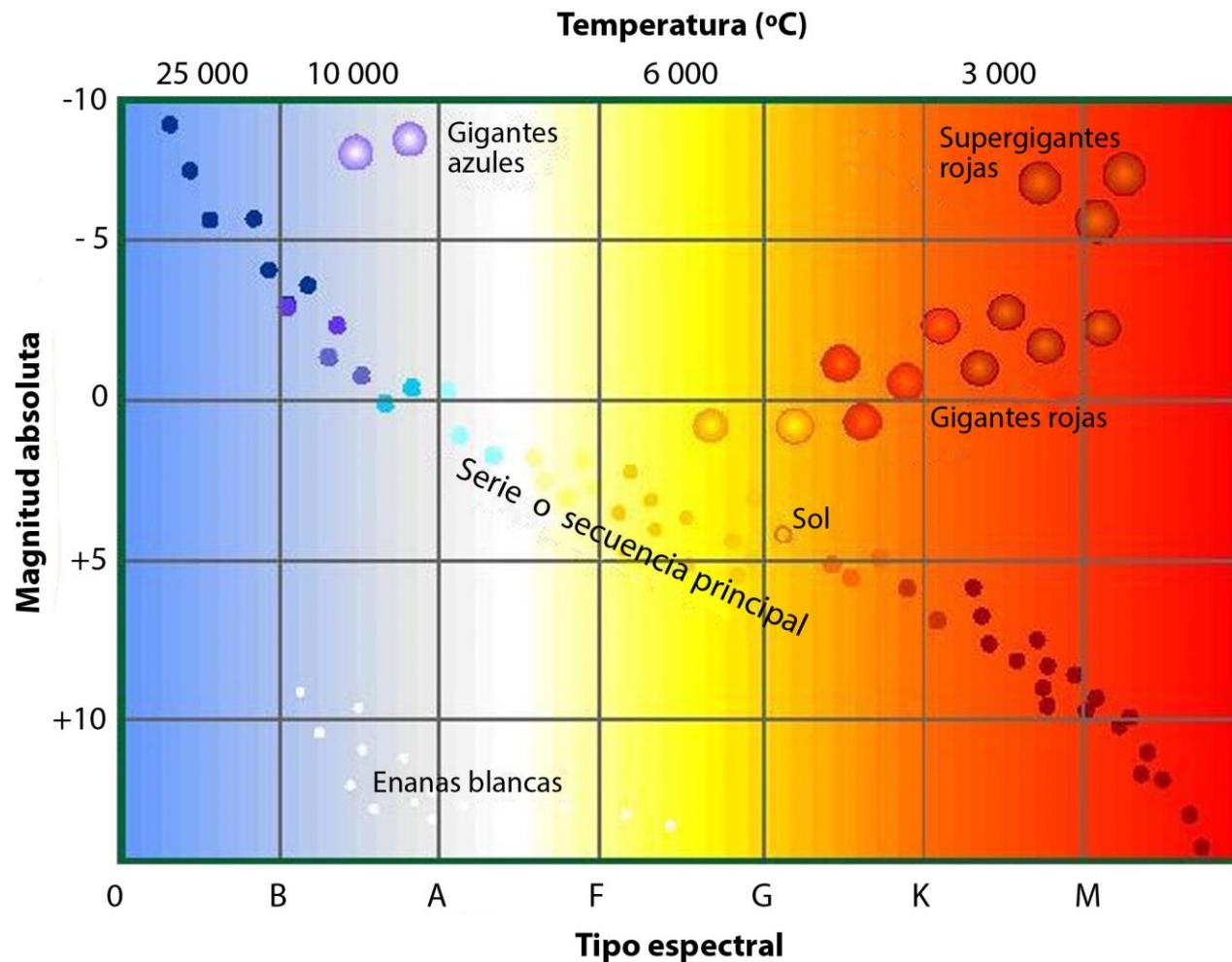
Los investigadores la identificaron por su metalicidad y sus características, ya que tiene la misma composición química que el Sol, incluyendo elementos raros como el bario y el itrio.



**El Sol, así como la mayoría de las estrellas, pasa el 90% de su vida en una etapa bastante estable, llamada “Secuencia Principal”**



**El diagrama HR relaciona la luminosidad y la temperatura de una estrella con su color o tipo espectral.**



# La temperatura determina el color de la estrella (Tipo Espectral)

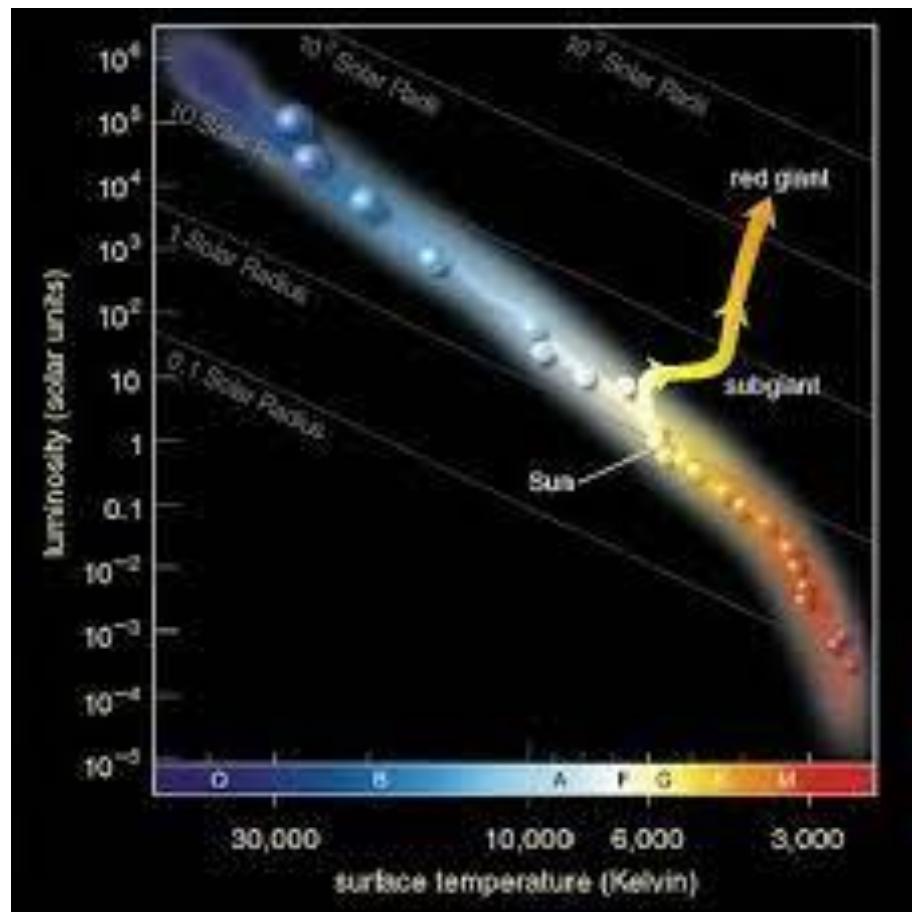
CLASES:	TEMPERATURA:	COLOR:
O	28.000 a 50.000° K	azul violeta
B	10.000 a 28.000° K	azul
A	7.500 a 10.000° K	azul - blanco
F	6.000 a 7.500° K	blanco
G	5.000 a 6.000° K	blanco - amarillo
K	3.500 a 5.000° K	naranja
M	2.500 a 3.500° K	rojo

**Cuando al Sol le quede ya poco hidrógeno, porque lo habrá convertido en helio, desaparecerá el equilibrio de fuerzas que lo ha mantenido estable.**

**Es el comienzo de su muerte.**

**Dejará la Secuencia Principal.**

**Dentro de unos 5,000 millones de años, se convertirá en una Gigante Roja.**



**Sol**

**1/100 ua**

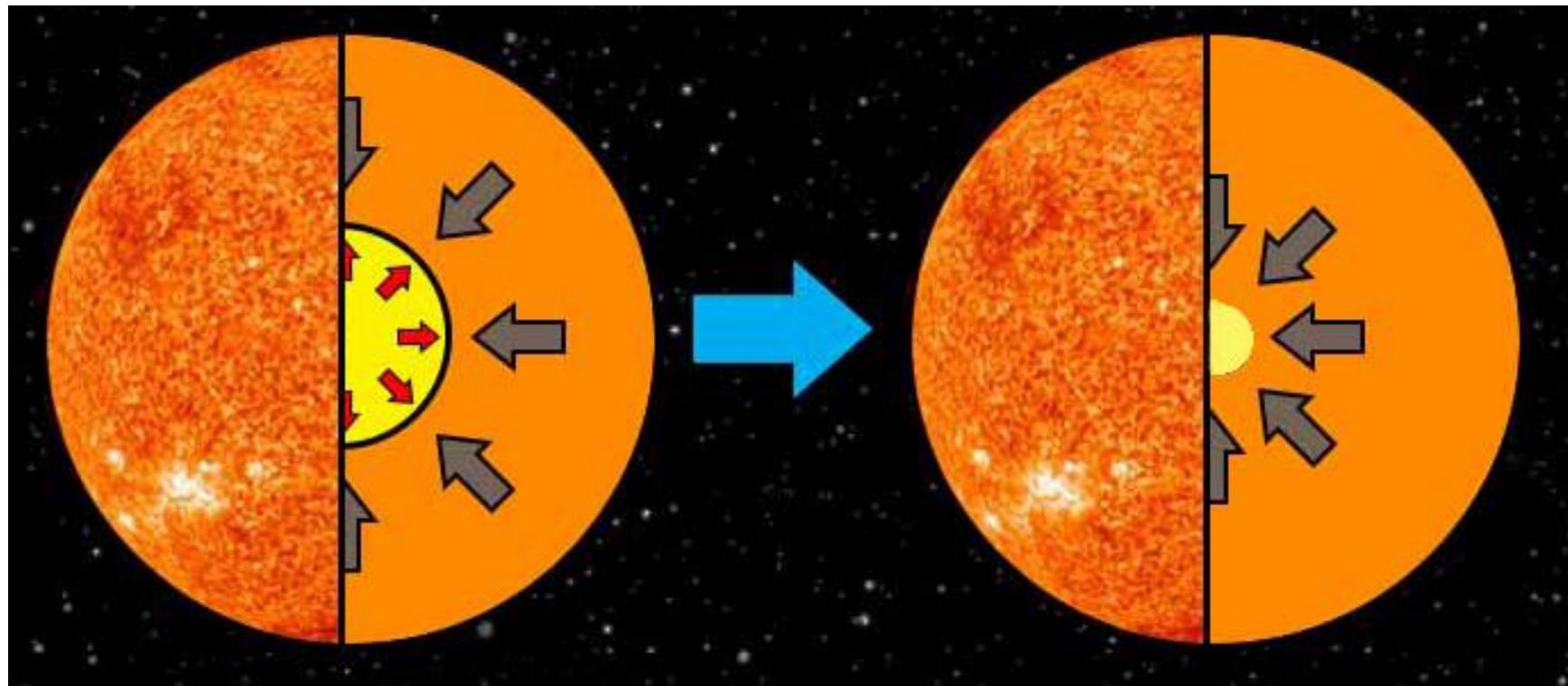


A diagram illustrating the Sun as a red giant star. A large, solid red circle represents the Sun, with a small yellow sphere representing Earth positioned to its left. A white line extends from the center of the Sun to the center of the Earth, representing the orbital path. The text is overlaid on the red circle.

**El Sol como gigante roja:**  
**1.2 ua**

Como ya no habrá esa enorme presión saliendo del núcleo, la estrella se contraerá porque ganará la fuerza de gravedad.

El núcleo se contraerá cada vez más y se hará cada vez más pequeño.

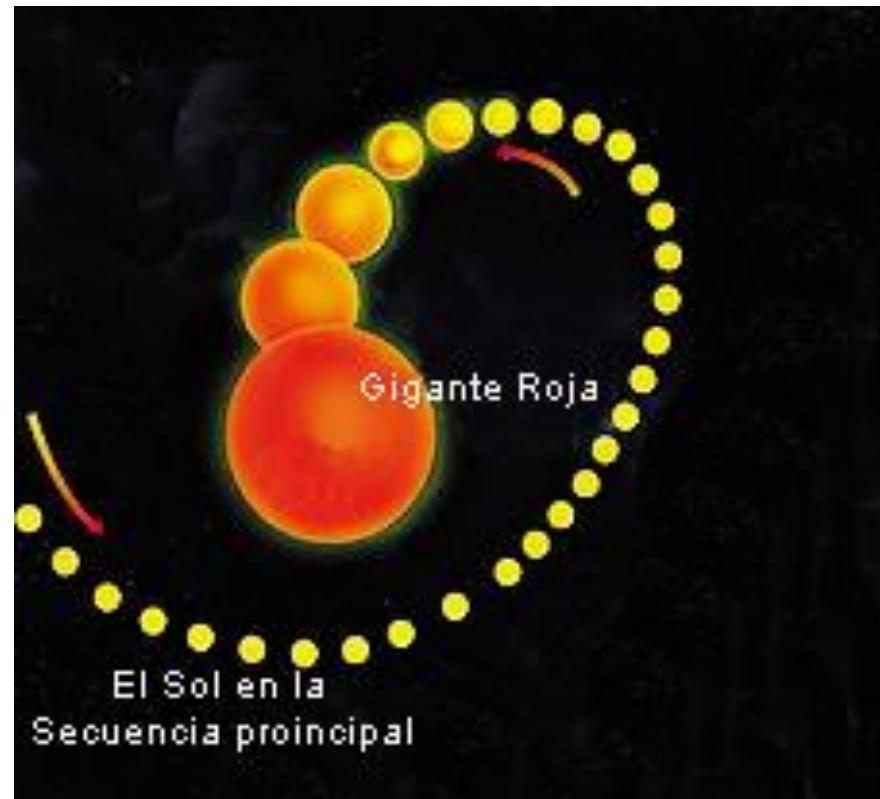


Por el contrario, las capas exteriores del núcleo del Sol, en las que no hay helio, seguirán fusionando el hidrógeno que quede y eso hará que se expandan muchísimo porque estarán muy calientes.

La expansión causará que se enfríe un poco y de ahí que irá adquiriendo un color rojizo.

Entonces, el Sol tendrá un tamaño gigantesco y será de color rojizo.

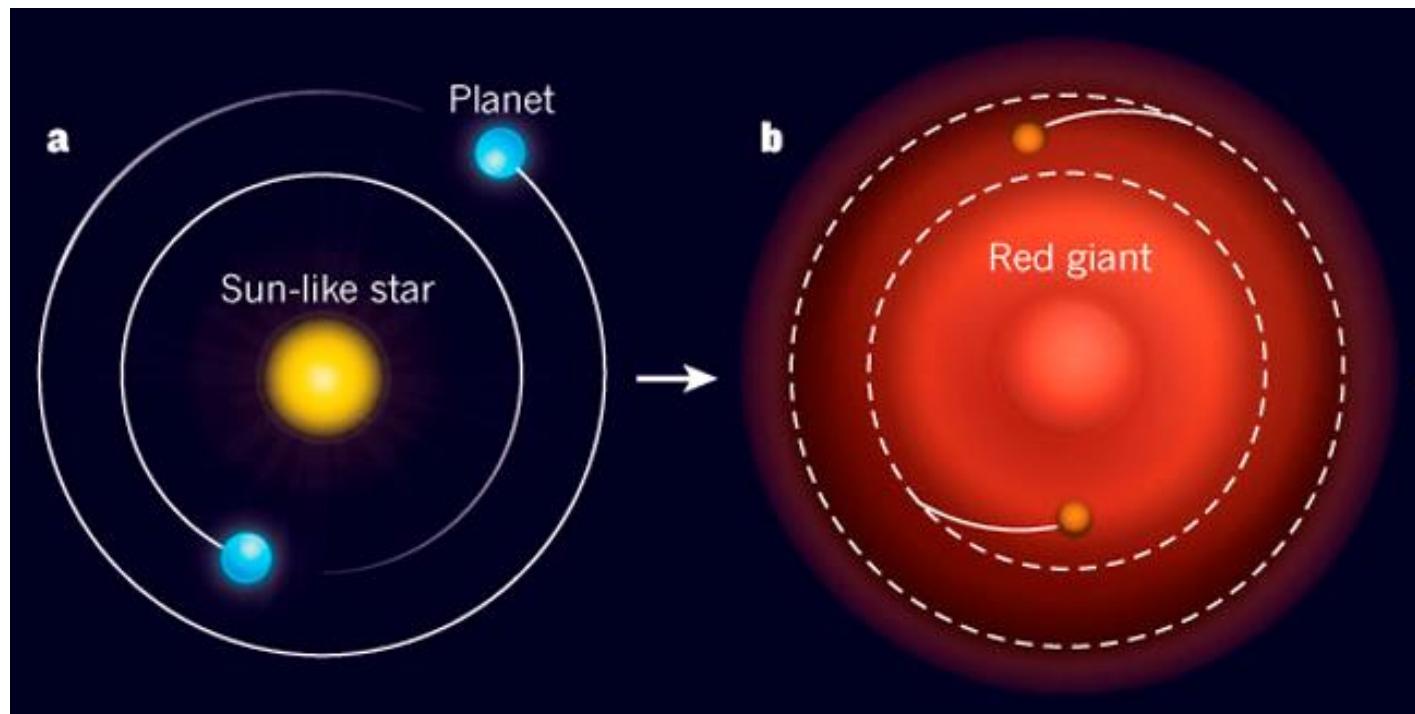
Esta etapa es la de gigante roja



**Se estima que el Sol permanecerá en su fase de gigante roja por alrededor de cien millones de años.**

**Podría alcanzar un diámetro alrededor de 120 veces más grande que el que tiene ahora, unas 1.2 UA, y una luminosidad de más de 2,300 veces respecto a la actual.**

**Absorberá a Mercurio y Venus.**



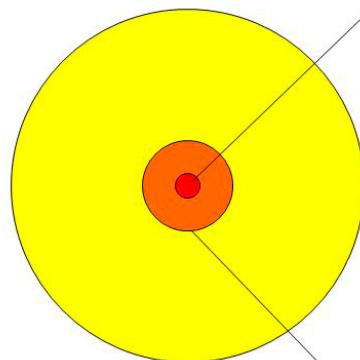
Cuando la temperatura del núcleo del Sol alcance unos 300 millones de grados, se producirá una cosa que tiene un nombre muy curioso: un Flash de Helio.

Se desencadena el llamado proceso *triple alfa*, es decir, la fusión de tres núcleos de helio-4 en uno solo de carbono.

Esto ocurre en muy poco tiempo, del orden de segundos.

Y así acabará la fase de gigante roja

## *Flash del Helio*



- *Núcleo de Helio*

El núcleo se hace lo suficientemente caliente para fusionar helio en carbono.

La temperatura llega a 300 millones de grados y se produce un destello cuando gran parte del Helio se convierte en Carbono

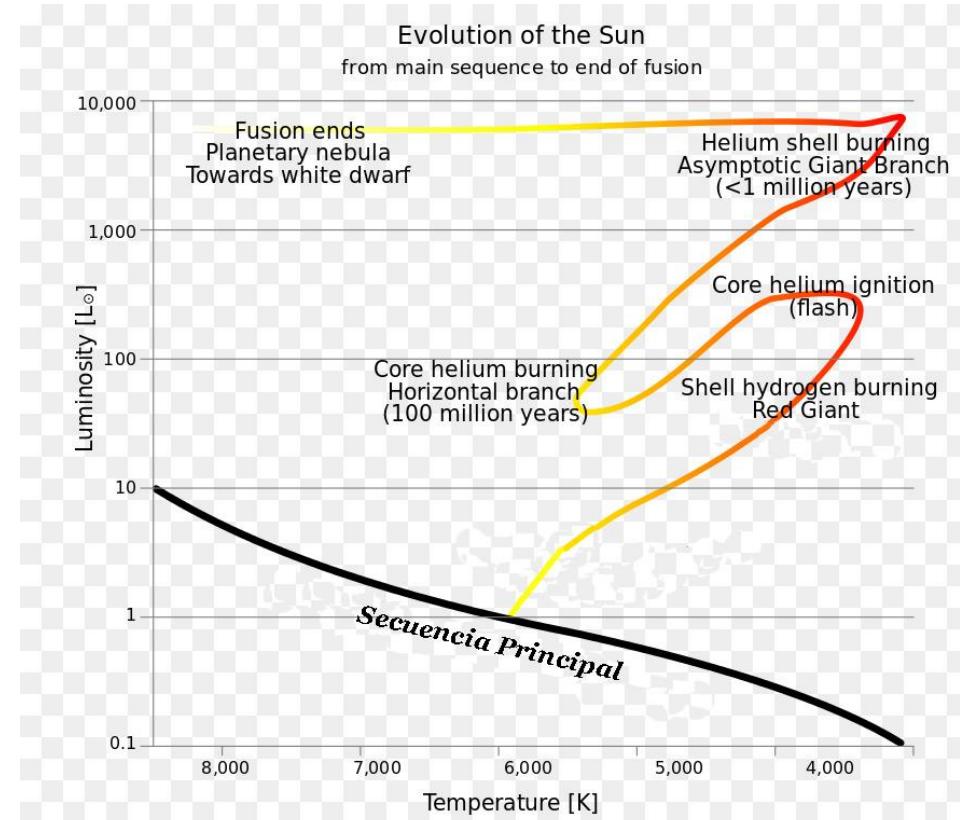
El destello no se mira porque sucede en el interior del Sol.

- *Capa de Hidrógeno*

- *Envoltura*

**El Flash de Helio: El Sol se encogerá a un tamaño alrededor de 10 veces menor que su radio original y su luminosidad descenderá de manera brusca, al disminuir la fuente de energía de su núcleo.**

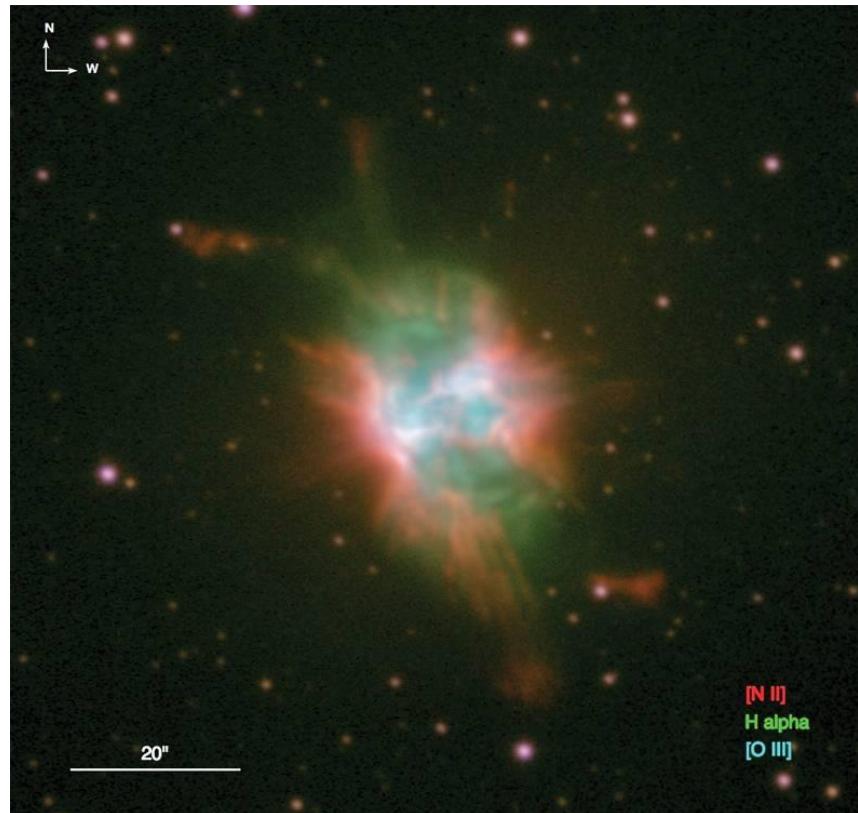
**Finalmente, recurrirá de nuevo a sus reservas en las capas exteriores de su núcleo y recuperará su forma de gigante roja convirtiéndose en una estrella de la rama asintótica gigante, siendo entonces aún mayor y más luminosa que en su época de gigante roja (hasta más de 200 veces mayor y más de 5,000 veces más brillante).**



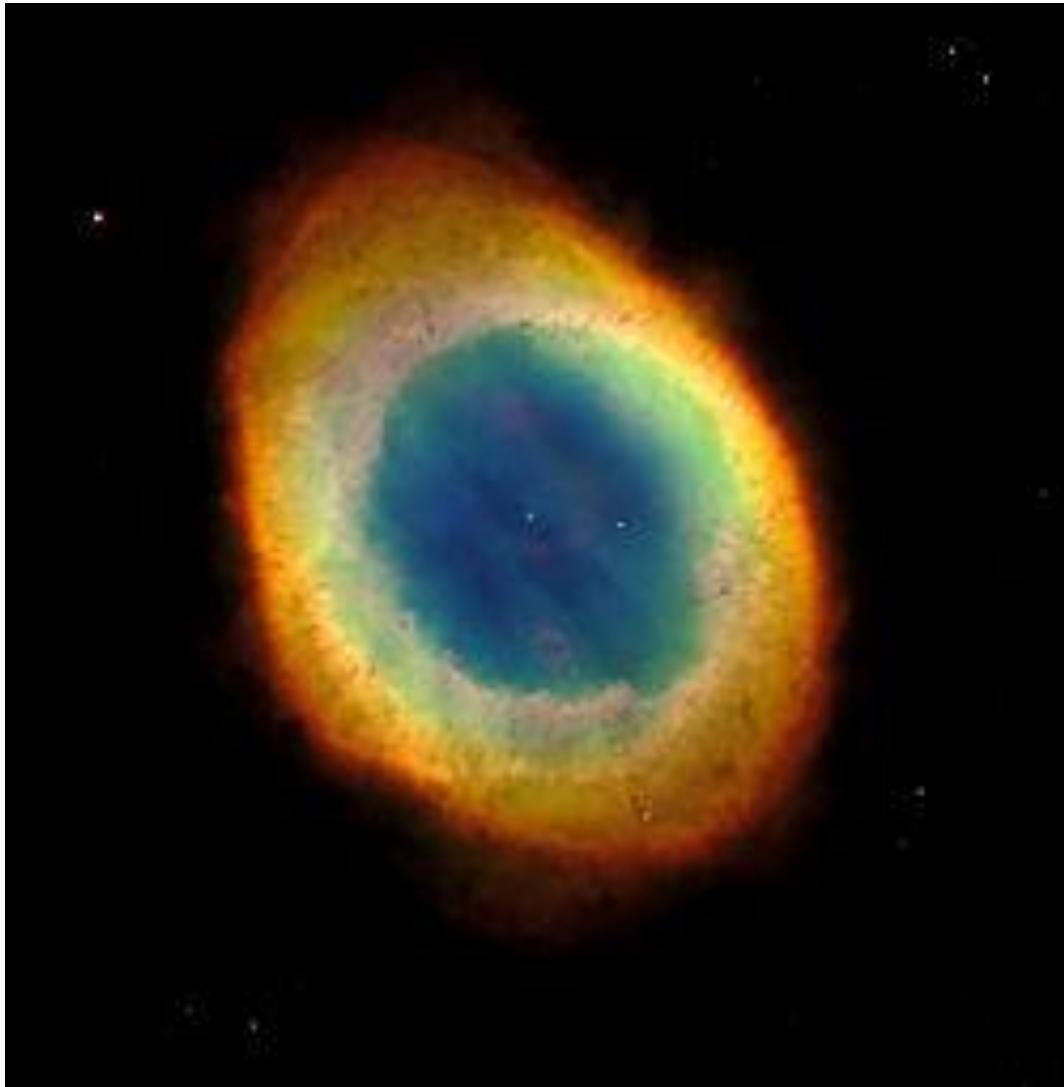
Esta fase dura otros 100 millones de años.

Luego, en un proceso que dura unos 100,000 años, las capas exteriores del Sol desaparecerán, expulsando gran cantidad de materia al espacio y formando un halo conocido como una nebulosa planetaria.

Este es un evento relativamente pacífico; nada parecido a una supernova, ya que nuestro Sol es demasiado pequeño como provocarla.

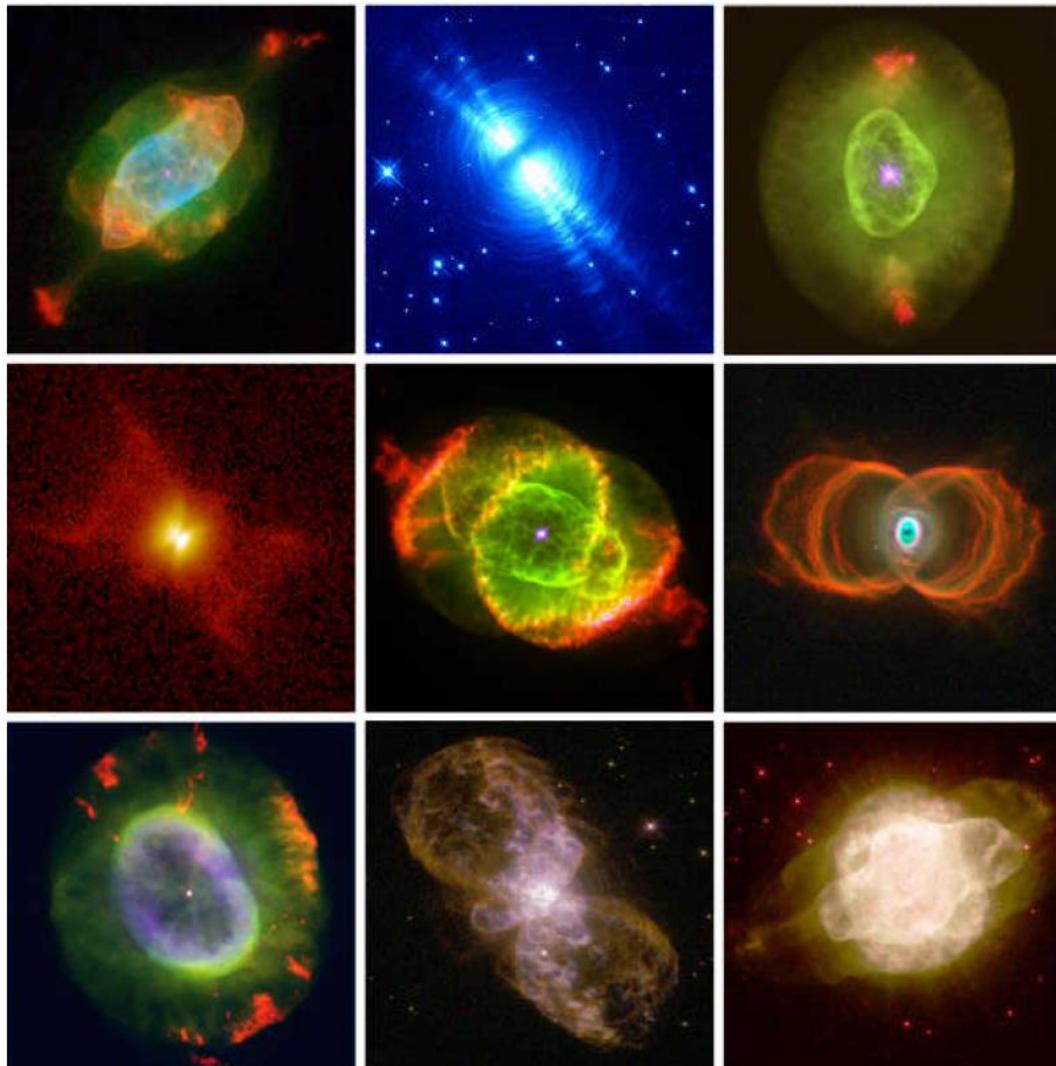


**Cuando el núcleo queda finalmente expuesto, su energía ioniza el gas de la envoltura y esta comienza a brillar.**

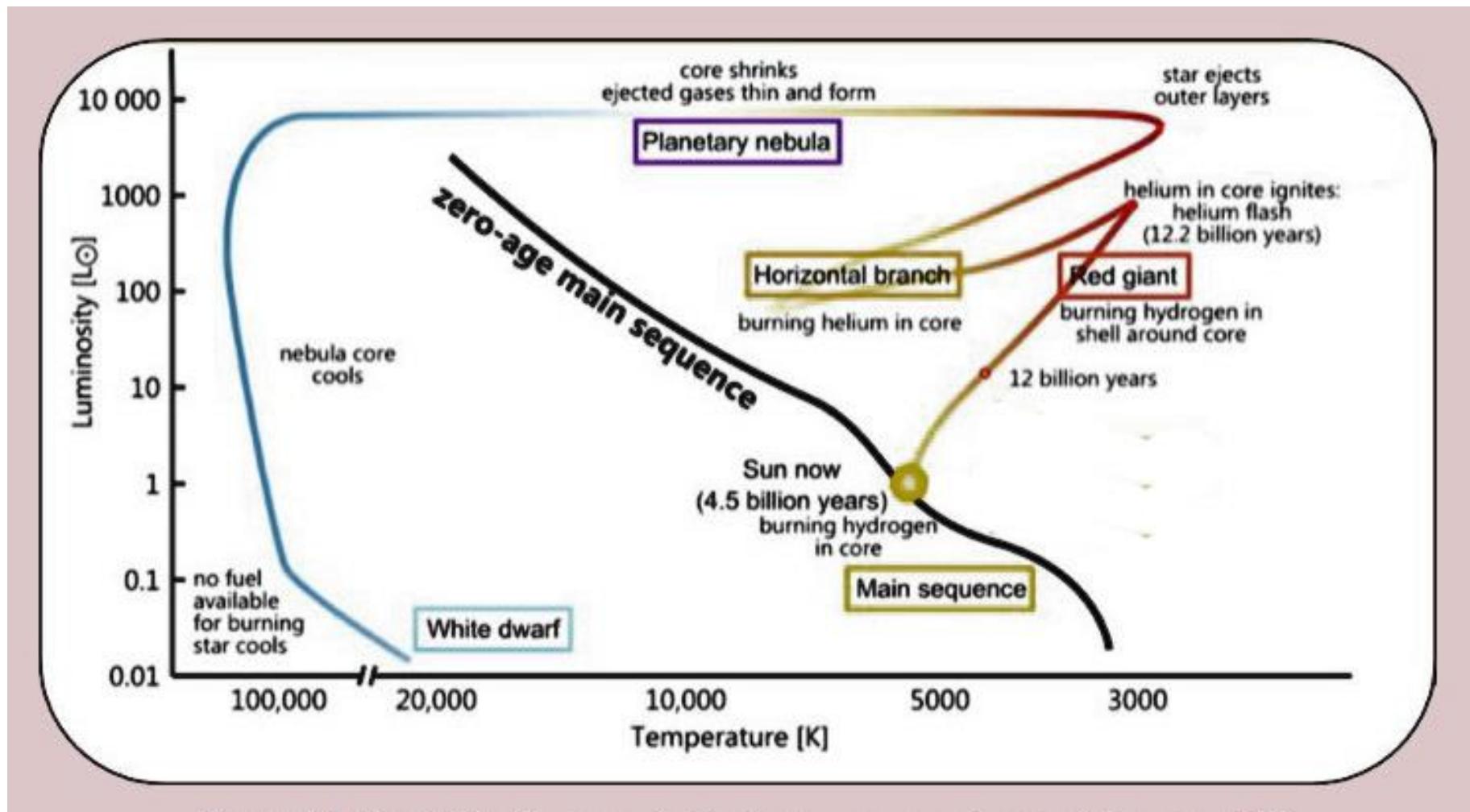


**Nebulosa del anillo**

**La interacción del viento estelar que emana del núcleo, determinará la forma que finalmente presentará la nebulosa.**



**Finalmente, todo lo que quedará del Sol será una Enana Blanca.**

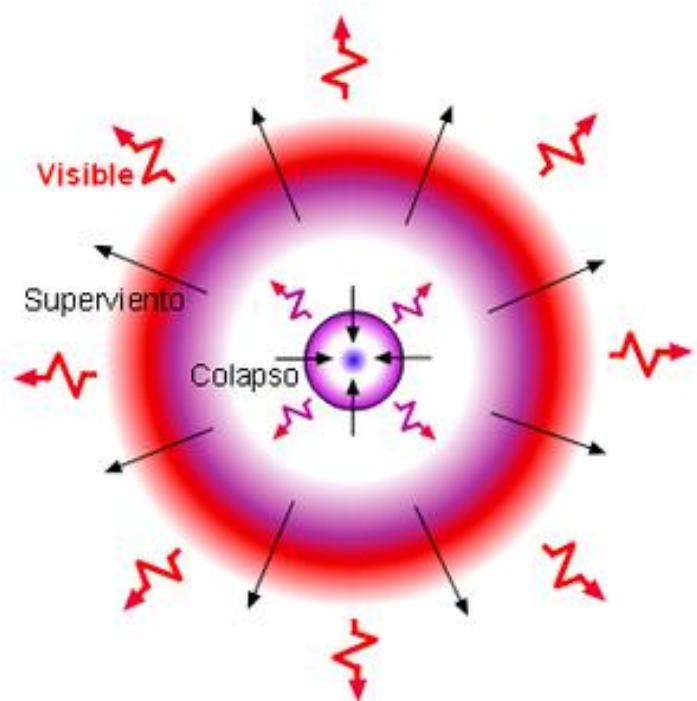


**No tiene ya ninguna fuente de energía que equilibre el colapso gravitatorio, por lo que la enana blanca se va comprimiendo sobre sí misma debido a su propio peso.**

**La Enana Blanca resultante es un núcleo degenerado que ha quemado todo su Hidrógeno y Helio hasta llegar a formar carbono y oxígeno.**

**Ya no se producen reacciones nucleares.**

**El Sol ya no existe.**

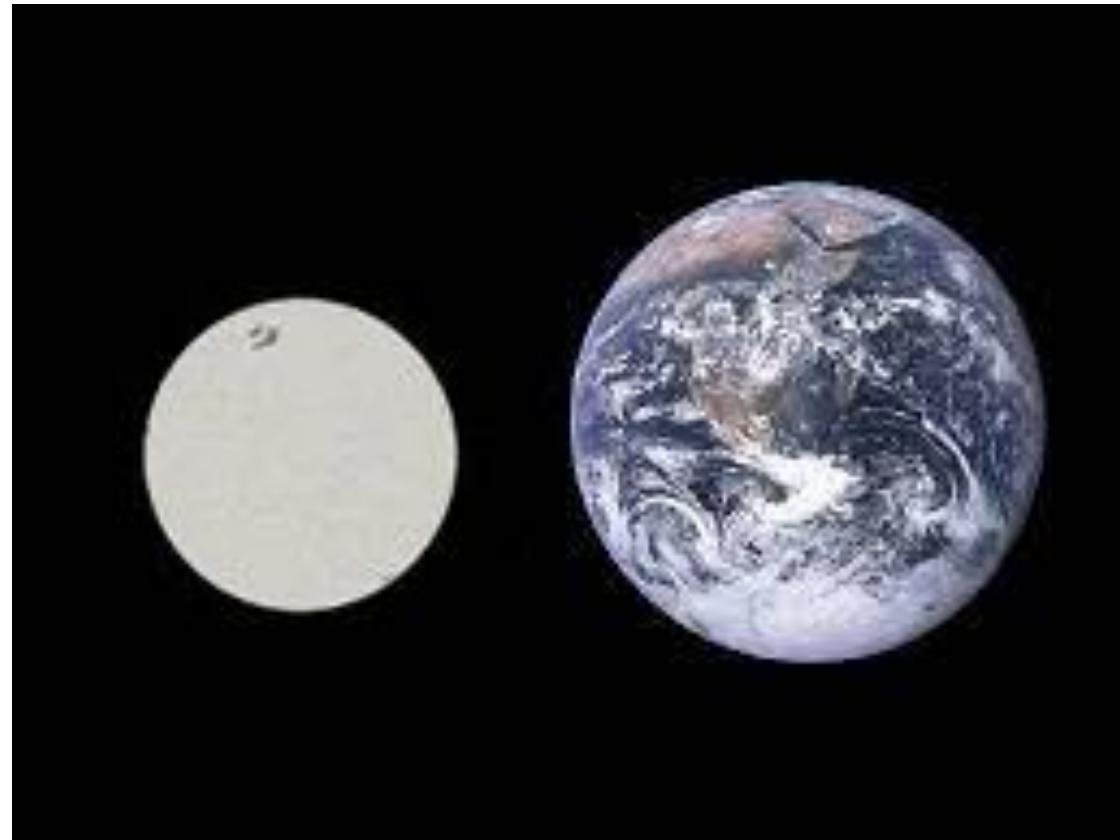


**Una Enana Blanca ya no es una estrella.**

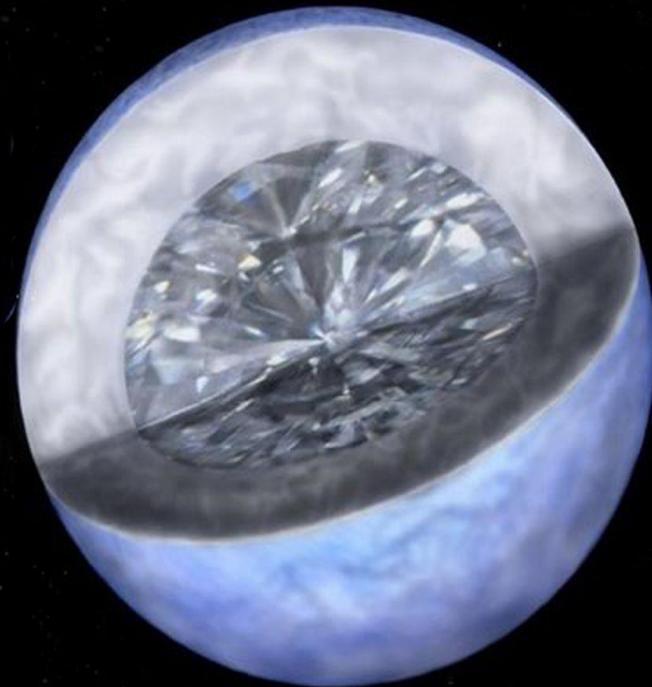
**Es un objeto caliente, muy brillante y extraordinariamente denso.**

**Una cucharada de la materia proveniente de una enana blanca pesaría hasta 100 toneladas.**

**Tendría la mitad de la masa original del Sol, pero con sólo la mitad del tamaño de la Tierra.**



**En un proceso muy lento, dos mil millones de años más tarde, el carbono en el núcleo se cristalizará, transformándose en un diamante gigante.**



**Y, finalmente, la enana blanca seguirá enfriándose hasta que esta deja de irradiar, se desvanecerá y morirá por fin, cesando de brillar completamente, y convirtiéndose en una enana negra.**

**Una enana negra será completamente invisible debido a que no emite luz.**

**El tiempo estimado para que el Sol se enfríe lo suficiente como para convertirse en una enana negra es de aproximadamente mil billones de años.**

**El universo todavía no tiene la suficiente edad para que conozcamos uno de estos objetos.**

**Todo este proceso tendrá consecuencias dramáticas para la Tierra.**

**Toda la atmósfera se perderá en el espacio debido a un potente viento solar.**

**La temperatura de la superficie terrestre sobrepasaría los 2,000°C**

**La Luna se irá acercando, y cuando esté alrededor de 18,000 kilómetros (límite de Roche), la gravedad terrestre la destruirá convirtiéndola en unos anillos similares a los de Saturno.**

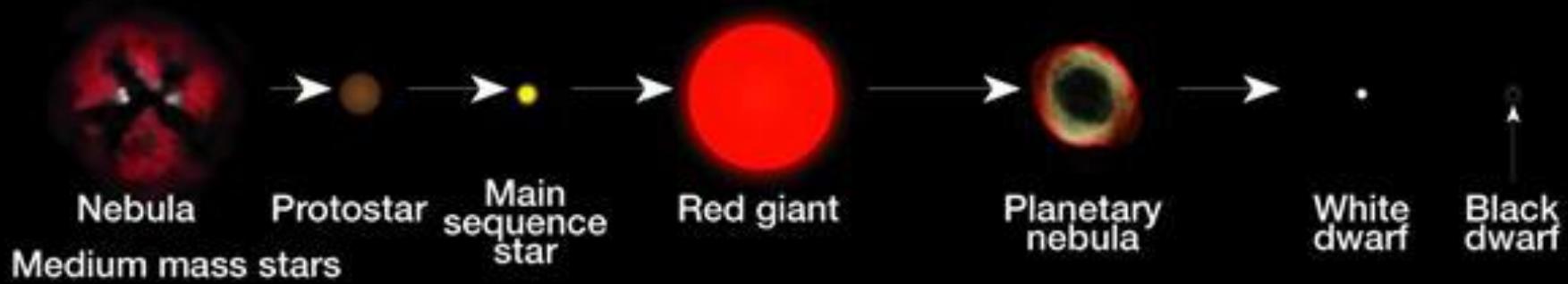
**La Tierra irá cayendo en espiral hacia el Sol, vaporizándose completamente en un proceso que llevará apenas 200 años.**



**Todos los planetas más lejanos, cometas y asteroides, si es que todavía existen, continuarán orbitando su estrella, pero debido a su mayor distancia del Sol y a la reducida gravedad del mismo, se irán alejando, poco a poco hacia el espacio.**

**Al morir el Sol, todo el material expulsado formará nuevamente parte del medio interestelar, que en el futuro dará origen a otras estrellas.**





# GRACIAS

Apaga las luces, mira hacia el  
cielo,  
y el universo te mostrará toda su  
belleza y sus secretos.

