

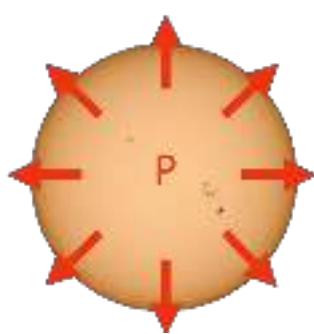
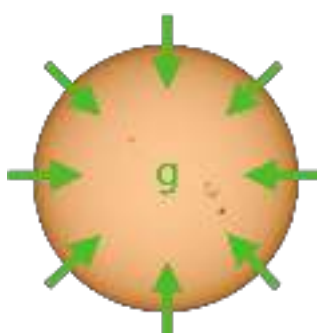
El Universo en mi bolsillo



La vida de las estrellas



Sylvia Ekström
Universidad de Ginebra

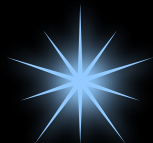


La gravedad (g) hace que la estrella se contraiga. El gas se calienta y genera una presión (P) que contrarresta la fuerza gravitatoria: es la fase de "equilibrio hidrostático".

El color de las estrellas indica su temperatura superficial. Las estrellas más calientes son azules, las más frías son rojas.

CALIENTE

FRÍO



25 000 K
Rigel



10 000 K
Sirius



6 000 K
Sol



4 000 K
Aldebaran



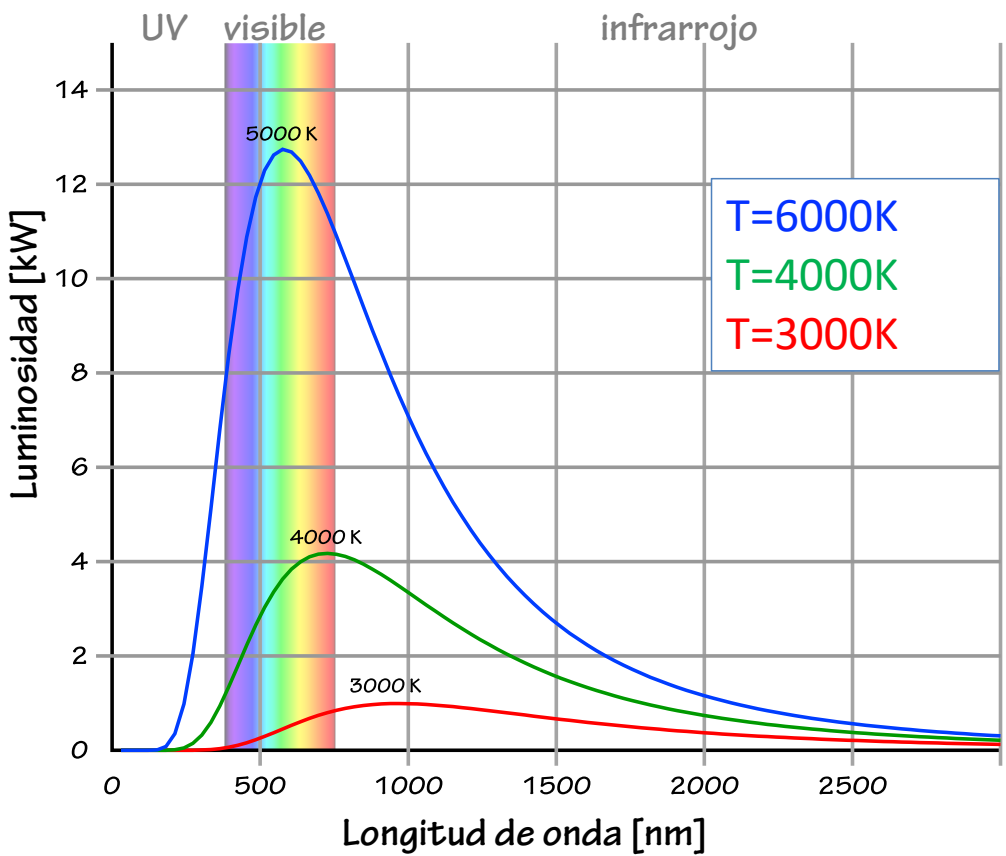
3 000 K
Antares

¿Qué es una estrella?

Es una **gran** bola de gas **caliente**.

Al ser tan masiva, la gravedad hace que se contraiga sobre sí misma, y esta compresión del gas la calienta: el gas reacciona agitando los átomos de la estrella, produciendo una presión que contrarresta la gravitación. Cuanto más masiva es la estrella, más fuerte es la gravedad y más caliente y brillante es la estrella.

Visualmente, una estrella más caliente **es azulada**, como la estrella Rigel en la constelación de Orión, mientras que una estrella más fría es **rojiza**, como Betelgeuse, también en Orión. Nuestra estrella, el Sol, a casi 6000°K , es amarilla.



Este diagrama muestra la luminosidad de un cuerpo en función de la longitud de onda. Cuanto más frío es el cuerpo, más se desplaza el pico de luminosidad hacia longitudes de onda más largas.



Foto de un gato tomada con una cámara térmica, sensible en el infrarrojo. Como la nariz está más fría, aparece menos luminosa.

Por qué brillan las estrellas

Hace tiempo que nos preguntamos qué hace brillar al Sol. ¿Quema carbón?

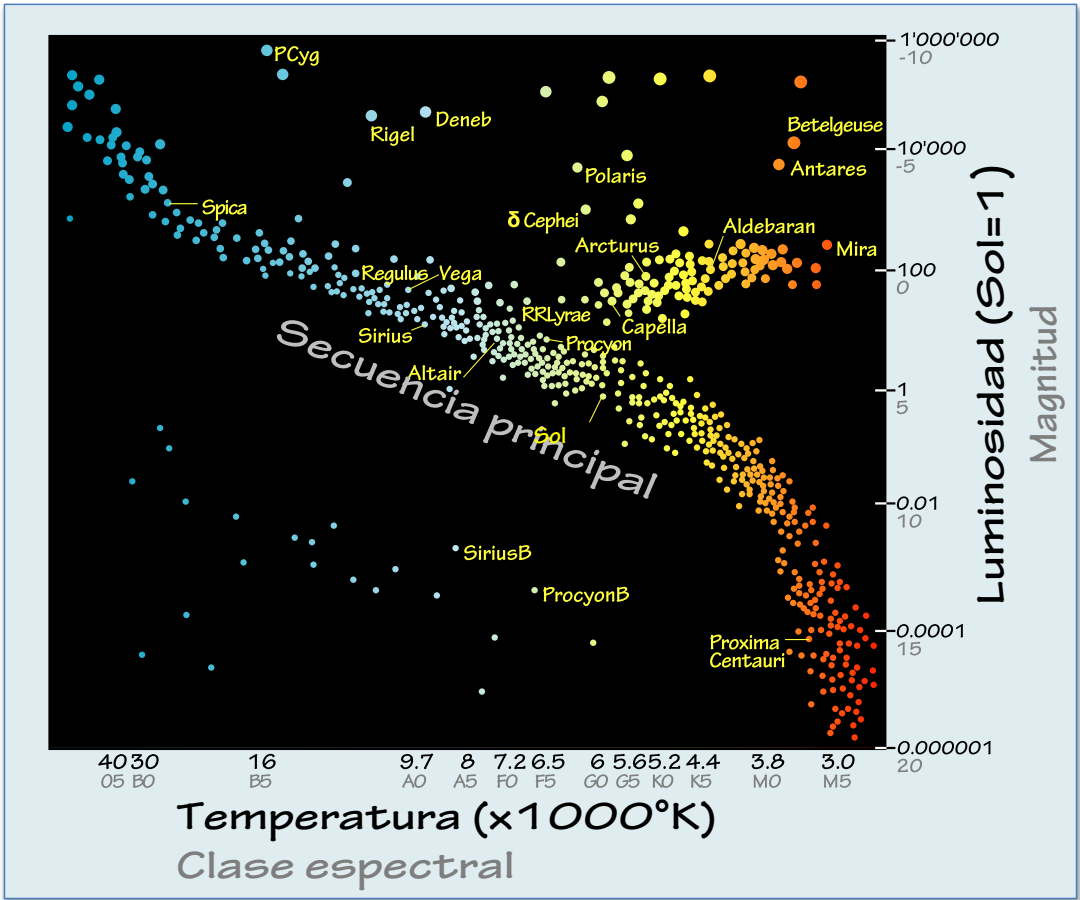
¿Sufre reacciones químicas?

Finalmente nos dimos cuenta de que el Sol brilla simplemente porque está hecho de gas muy caliente, que es luminoso en luz visible.

Dependiendo de su temperatura, los cuerpos alcanzan su pico en luminosidad a distintas longitudes de onda. En el diagrama de al lado vemos la luminosidad en función de la longitud de onda. Las estrellas brillan más en la luz visible.

Los seres vivos también son luminosos, pero en el infrarrojo. Si comparamos la energía que emite un gato por unidad de masa, es 5.000 veces mayor que la que emite el Sol por unidad de masa, porque las reacciones químicas de nuestro metabolismo son más eficaces generando calor.

Diagrama de luminosidad frente a temperatura de estrellas en la vecindad del Sol.



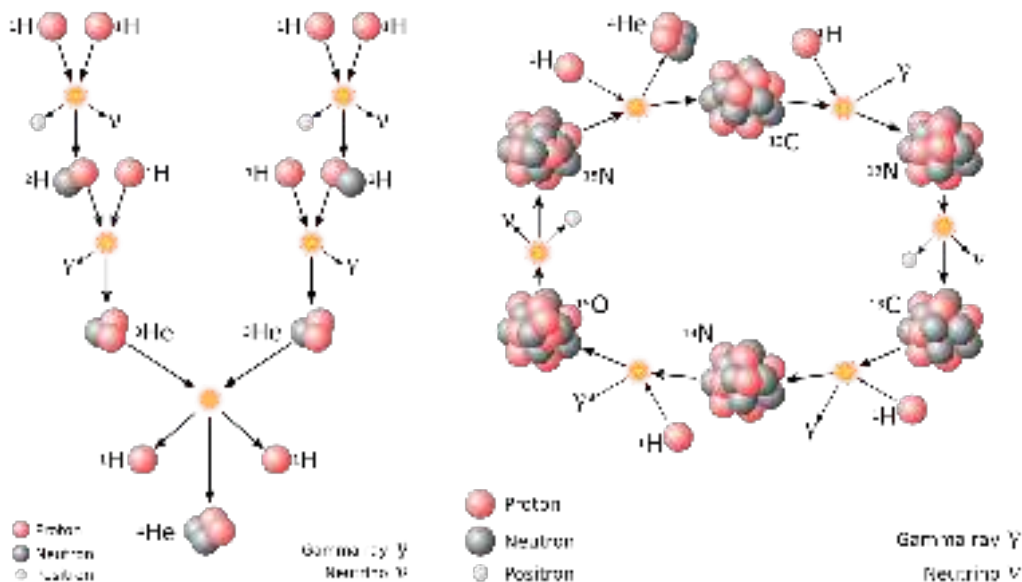
Durante su vida, las estrellas se mueven en este diagrama. En la secuencia principal es donde permanecen más tiempo.

Tipo espectral	Temperatura(°K)	% de estrellas
O	>30 000	0.05
B	9 700-30 000	0.13
A	7 200-9 700	0.6
F	6 000-7 200	3
G	5 200-6 000	7.6
K	3 800-5 200	12.1
M	2 500-3 800	76.5

La secuencia principal

Al representar las estrellas en un diagrama de luminosidad frente a la temperatura, vemos que el 90% de ellas se sitúan en una gran línea diagonal denominada **Secuencia Principal**. Esto indica que, para la mayoría de las estrellas, luminosidad y temperatura están relacionadas: las estrellas más luminosas son también las más calientes. Las estrellas se clasifican por su **tipo espectral**, según la presencia e intensidad de sus líneas espectrales (véase TUIMP 30), que dependen de su temperatura superficial (y, por tanto, de su color): **O**, **B**, **A**, **F**, **G**, **K**, **M**, del más caliente al más frío. Cada clase va de O a 9. Las estrellas **O** y **B** son las más raras: con más de 8 masas solares sólo representan el 0,18% de todas las estrellas. El Sol es de clase G2.

Formación de helio por cadenas protón-protón o ciclo CNO



Cuando la radiación ya no transporta bien la energía, la materia empieza a moverse, como el agua hirviendo en un caldero: es la **convección**.



Estrella de baja masa
($< 1,3$ masas del Sol)

Estrella de gran masa
($> 1,3$ masas del Sol)



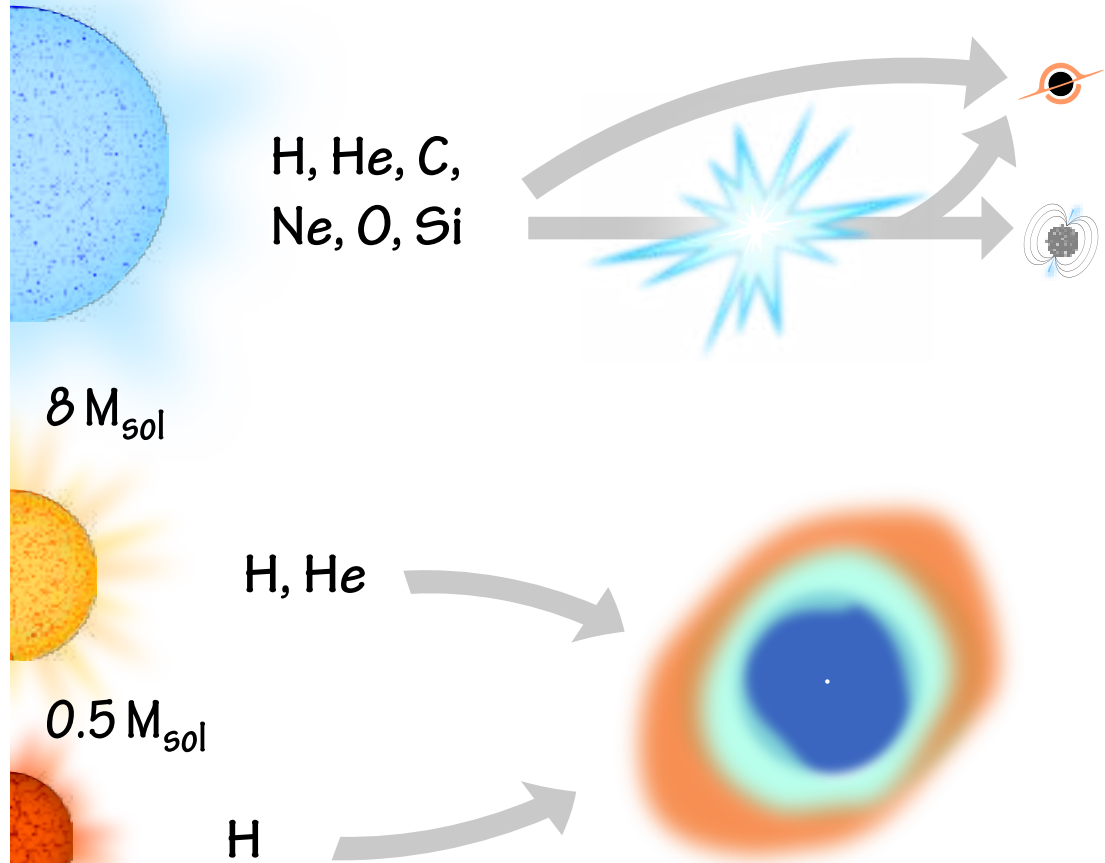
Debido a las diferentes intensidades de sus reacciones nucleares, las estrellas de baja masa tienen distinta estructura que las de alta masa: núcleo radiativo y envoltura convectiva para las primeras; núcleo convectivo y envoltura radiativa para las segundas.

Todo sucede en el núcleo

Observamos **la superficie de** las estrellas, pero todo lo que determina su evolución tiene lugar en su **núcleo**. Éste se calienta a varios millones de grados por la contracción gravitatoria, lo suficiente para desencadenar **reacciones nucleares**.

Estas reacciones sostienen a la estrella porque la energía que liberan genera una presión que contrarresta la gravedad. Durante el 90% de su vida, la estrella fusiona hidrógeno en helio (véase TUIMP 14). Las estrellas de menor masa fusionan protones para formar helio (**cadenas protón-protón**). Las estrellas de mayor masa usan núcleos de carbono, nitrógeno y oxígeno para facilitar la fusión (**ciclo CNO**), lo que les permite generar mucha más energía, pero a costa de una vida mucho más corta.

Gráfico de la evolución de las estrellas en función de su masa inicial



Las estrellas menos masivas solo queman hidrógeno. Las que tienen una masa entre 0,5 y 8 veces la del Sol queman también helio y terminan su vida como enanas blancas rodeadas de una nebulosa planetaria.

Las estrellas de más de 8 masas solares fusionan átomos aún mayores, como C, Ne, O y Si. Al final, explotan en forma de supernova o colapsan directamente en **10** un agujero negro.

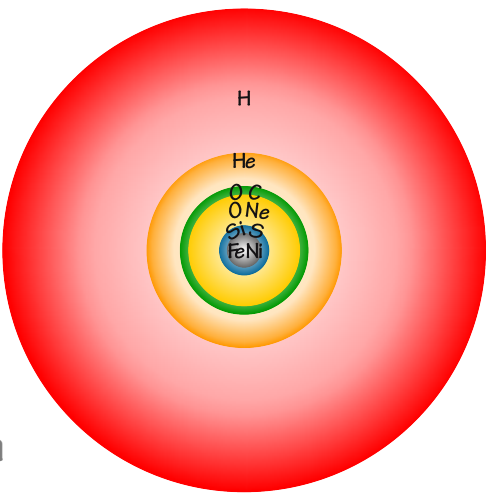
Cómo evolucionan las estrellas

Cuando el hidrógeno del núcleo se agota, éste se contrae, y su temperatura sube hasta iniciar la fusión del helio. Esta contracción libera energía gravitatoria, hinchando la envoltura y transformando la estrella en una **gigante roja**. Al agotarse el helio, el núcleo vuelve a contraerse.

Para las estrellas de menos de 8 masas solares, aquí acaba su evolución. Su núcleo se convierte en **una enana blanca** y deja de evolucionar. Se enfría lentamente, mientras que la atmósfera se convierte en una **nebulosa planetaria** (véase TUIMP 36).

En cambio, las estrellas masivas, llegan a temperaturas muy altas en sus núcleos y pasan por varias fases de fusión y contracción. La evolución de las estrellas masivas termina con la explosión de **una supernova** o el colapso directo en un **agujero negro**.

En las estrellas masivas, las reacciones nucleares de las sucesivas fases ocurren cada vez más profundo en los núcleos. Al final de su evolución, las estrellas presentan una estructura con múltiples capas, similar a una cebolla.

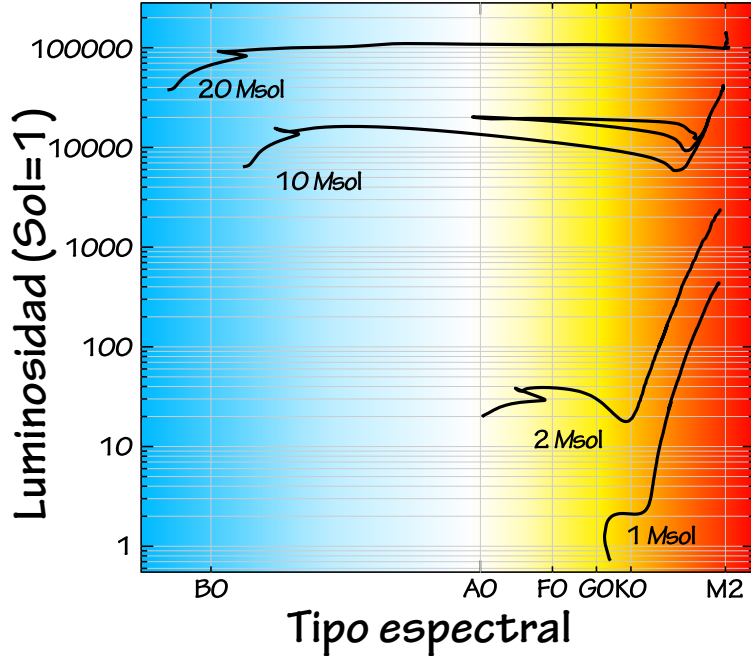


Todos los elementos más pesados que el H se forman en las estrellas. Esta tabla muestra en qué tipo de estrella (según C. Kobayashi 2020).

1 H	Big Bang 										Espalación 						2 He																		
3 Li	4 Be	Supernova y estrellas de neutrones 										Estrellas masivas 						5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne												
11 Na	12 Mg	Estrellas de pequeña masa 										Explosión de enanas blancas 						13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar												
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 -71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																		
87 Fr	88 Ra	89 -92																																	
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu																		
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U																													
12																																			

Las estrellas: fábricas de elementos

Tras quemar hidrógeno y luego helio en sus núcleos, las estrellas más masivas usan sucesivamente **carbono**, **neón**, **oxígeno** y **silicio** como combustible, formando elementos cada vez más pesados y a mayor profundidad en sus núcleos. La evolución se acelera a medida que la estrella produce cada vez más **neutrinos**, que se llevan la energía generada en el núcleo sin calentar la estrella. El carbono se quema en unos pocos miles de años, mientras que el silicio se quema en ¡sólo unos pocos días! Algunos de los elementos producidos en los núcleos estelares son expulsados al medio interestelar por nebulosas planetarias o supernovas. Otros quedan atrapados para siempre en enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros, sin contribuir a la evolución química del Universo.

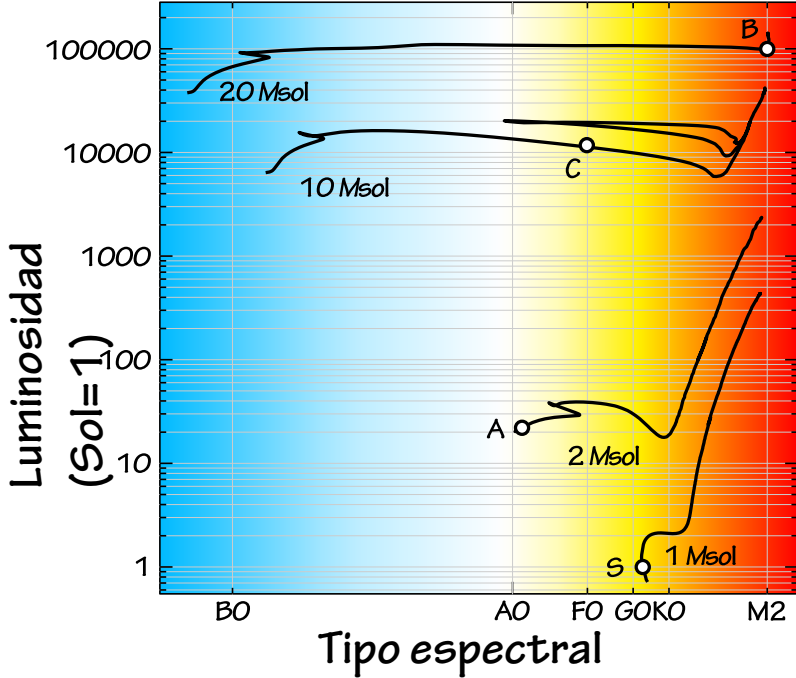


Test

Este diagrama muestra la evolución de estrellas de 1, 2, 10 y 20 masas solares. Coloca las siguientes estrellas:

	Luminosidad	Tipo espectral
Sol	1	G2
Sirio A	25	A1
Canopus	13600	F0
Betelgeuse	105000	M2

- 1) ¿Qué estrella es la más fría? ¿Y la más caliente?
- 2) ¿Cuáles son las masas de estas estrellas?
- 3) ¿Cuáles no han terminado de quemar todo el hidrógeno de su núcleo?
- 4) ¿Qué estrellas serán supernovas?
- 5) ¿Qué estrella vivirá más tiempo?



Respuestas

En el diagrama las posiciones del Sol, Sirio A, Betelgeuse y Canopus están representados por las letras S, A, B y C.

Respuestas a las preguntas:

- 1) Betelgeuse. Sirio A.
- 2) 1, 2, 10, 20 masas solares.
- 3) El Sol y Sirio A.
- 4) Betelgeuse y Canopus.
- 5) El Sol.

El Universo en mi bolsillo n° 29

Sylvia Ekström, del Observatorio de Ginebra, es la autora de este librito, escrito en 2025. El librito ha sido revisado por Grażyna Stasińska, del Observatorio de París, y Stan Kurtz, del IRyA (Morelia, México).

Imagen de portada: Un vistazo al interior del Sol. El núcleo sobrecalentado genera energía mediante reacciones nucleares. La envoltura se agita por convección como el agua hirviendo. Todas las imágenes de este folleto son de Sylvia Ekström, excepto las cadenas de reacción de la página 8 (Wikimedia Commons) y la foto del gato (<https://www.facebook.com/FLIR/posts/happy-internationalcatday/2476717149041777/>).



Para más información sobre esta serie y los temas tratados en este librito visite <http://www.tuimp.org>.

Traducción:: Jorge García Rojas
TUIMP Creative Commons

