

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.

Big Bang

Explosión

12

Diagrama de la evolución del universo desde el Big Bang hasta el presente, mostrando la formación de los elementos y la expansión del universo.

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).

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.

Por qué brillan las estrellas

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

Formación de helio por cadenas protón-protón o ciclo CNO

Todo sucede en el núcleo

Observamos la superficie de las estrellas, pero todo lo que determina su evolución tiene lugar en su núcleo. Este 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 TUNIP 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.

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 **neutrones**, 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 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.

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.

El Universo en mi bolsillo

La vida de las estrellas

Sylvia Ekström

Universidad de Ginebra

TUNIP

Nº 29

THE UNIVERSE IN MY POCKET

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?

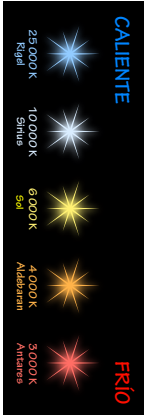
2) ¿Cuáles son las masas de estas estrellas?

3) ¿Cuáles no han terminado de quemar todo el hidrógeno de su núcleo?

4) ¿Qué estrellas serán supernovas?

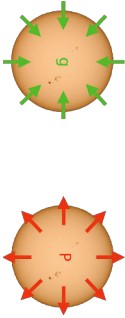
5) ¿Qué estrella vivirá más tiempo?

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.



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

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".



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 TUMIP 3O), 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 δ masas solares sólo representan el 0,18% de todas las estrellas.

El Sol es de clase G2.

- 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.

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

Respuestas

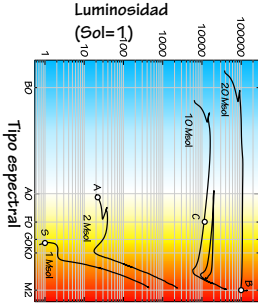
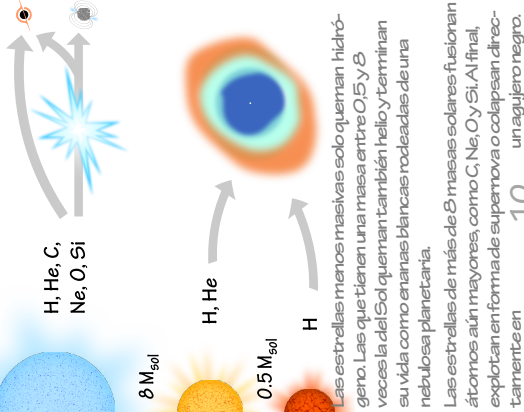


Gráfico de la evolución de las estrellas en función de su masa inicial



Traducción: Jorge García Rojas
TUMIP Creative Commons



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 (Wikipedia Commons) y la foto del gato (<https://www.flickr.com/photos/24767171490417777/>).

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

El Universo en mi bolsillo nº 29

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 δ 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 TUMIP 3G).

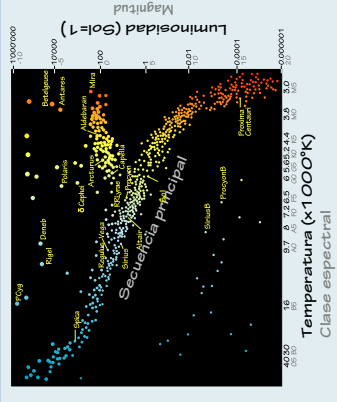
En cambio, las estrellas masivas, llegan a temperaturas muy altas en sus núcleos y pasan por varias fases de fusión y contracción. La evolución de las estrellas masivas termina con la explosión de una **supernova** o el colapso directo en un **agujero negro**.

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

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.

¿Qué es una estrella?

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.

Clase 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	7,7
K	3.800-5.200	12,1
M	2.500-3.800	76,5